



А. Я. Микитченко

## РАЗРАБОТКА ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО СИСТЕМЕ НПЧ-АД ДЛЯ МАШИН ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Данная статья посвящена научно-производственным связям Оренбургского государственного университета в области практического электропривода горных машин, анализу технической целесообразности использования различных типов преобразователей частоты в асинхронном электроприводе с тормозными режимами, сравнительному анализу их по стоимости и весогабаритным показателям на примере частотно-регулируемых электроприводов для экскаватора ЭКГ-8И.

Рекламные проспекты и прайс-листы известных иностранных фирм, специализирующихся в области создания современных систем электроприводов, таких как «ABB», «SCHNEIDER GROUPE», «HITACHI», «DANFOSS», а вслед за ними и отечественных, например, «Триол-СП» - изобилуют предложениями продаж и поставок преобразователей частоты и комплектных электроприводов переменного тока с частотным управлением. Это изобилие отражает современные тенденции в области развития регулируемого электропривода. Однако предлагаемые решения в большинстве своем не отличаются разнообразием. Обычно это автономные инверторы напряжения с широтно-импульсной модуляцией и неуправляемым выпрямителем. Эти преобразователи имеют высокие энергетические показатели, призваны решать проблемы энергопотребления, и используются в основном в механизмах со спокойным характером нагрузки, таких, как насосы, вентиляторы, воздуходувки.

В то же время в горнодобывающей промышленности имеется большое количество машин, работающих в интенсивном повторно-кратковременном режиме с резкопеременной нагрузкой, с перегрузками вплоть до стопорных - это одноковшовые экскаваторы, краны, буровые станки. Примеров использования частотно-управляемых электроприводов для них мало. Проблема состоит как в недостаточном количестве разработок электроприводов, так и в отсутствии объектно-ориентированной базы.

Общее состояние электроприводов машин, работающих на открытых разработках и обогатительных фабриках, требует вложения средств с целью расширения их технологических возможностей, достижения более высокой производительности, уменьшения

износа механического оборудования, энергосбережения. Однако перспектива развития этого вопроса за счет разработки новых машин или приобретения импортной техники для большинства горных предприятий, которые преобразовались в последнее время из государственных в акционерные общества, маловероятна из-за ограниченных объемов материальных средств. Поэтому рентабельным путем совершенствования техники, в условиях дефицита средств на эти цели, является модернизация. Модернизация, не решая глобальным образом всех проблем развивающейся технологии, позволяет, тем не менее, за счет замены части оборудования, путем привлечения ограниченных средств, снять острые из них и обеспечить в конечном итоге увеличение эффективности производства.

Такие подходы являются столь очевидными, что с успехом применяются даже в оборонных отраслях промышленности России, не испытывавших ранее, как известно, дефицита средств. Естественным оказалось участие в дешевых модернизациях в горной промышленности научной группы экскаваторного электропривода кафедры автоматизированного электропривода Московского энергетического института (технического университета), руководимой д.т.н., профессором Ключевым В.И.

Благодаря переезду в Оренбург одного из учеников В.И.Ключева, Вашего покорного слуги, более двадцати лет проработавшего с ним в теснейшем контакте, между ОГУ и МЭИ установились крепкие научные отношения. В своей научной работе уже на протяжении восьми лет мы опираемся на надежную производственную базу АООТ «Рудавтоматика» - предприятие, созданное в свое время для обслуживания крупнейших ГОКов Курской магнитной аномалии в области средств

автоматизации, механизации и энергетики. Сегодня это предприятие в нашей области на основе разработок МЭИ производит модернизацию десяти карьерных экскаваторов ЭКГ-8И в г. Ясный на предприятии "Оренбургасбест", а также по нашим разработкам изготавливает НКУ длинноходовой глубинной насосной установки для добычи нефти.

На рис. 1 представлены весомые показатели и стоимостные показатели электрооборудования экскаватора ЭКГ-8И при модернизации электроприводов по системе ТВ-Г-Д, АО «Рудоавтоматика», выполненной на базе разработки МЭИ. Все основные вращающиеся машины, составляющие большую долю по весу, объему и стоимости, оставлены на своих местах, а полный комплект, подлежащий модернизации, включающий панель управления, блок тиристорных возбудителей главных приводов и шкаф статических преобразователей, составляет по весу примерно 1/30-ю часть, по объему 1/4 и стоимости - 1/9. Здесь все денежные расчеты выполнены в \$ США. Стоимость модернизации невелика и окупается за счет сокращения эксплуатационных затрат в течение, как максимум, года.

На Михайловском ГОКе модернизирована значительная часть экскаваторов ЭКГ-8И и согласно информации рудоуправления на этих экскаваторах снижены динамические нагрузки механизмов и существенно уменьшен их износ. На 3... 5 % повышена производительность, в результате замены магнитных усилителей сокращено энергопотребление на 35-40 тыс. кВт·ч в год на одной машине, обеспечен безналадочный ввод в эксплуатацию, исключены простои при возможных отказах электроники.

В начале 80-х годов научная группа МЭН выполнила разработку серии тиристорных преобразователей в экскаваторном исполнении ПТЭМ-1Р. Здесь впервые была поставлена и решена задача создания серии преобразователей в качестве унифицированных модулей, предназначенных для комплектования различных схем электроприводов постоянного и переменного тока.

После создания модули ПТЭМ-1Р наиболее широко используются в качестве возбудителей генераторов и синхронных двигателей. Накоплен опыт их работы в системах ТПД различной мощности, был разработан привод по системе НПЧ-АД и испытан на электроприводе поворота экскаватора ЭШ-6/45.

На основе накопленного опыта эксплуатации и достижений современной микроэлектроники, опираясь на тесное сотрудничество с АО «Рудоавтоматика», в 90-х годах научная группа выполнила разработку новой серии преобразователей ПТЭМ-2Р второго поколения с более высокими техниче-

скими показателями и с существенно расширенной номенклатурой типоразмеров серии. Возможности компоновки различных приводов постоянного и переменного тока существенно расширены за счет введения типоразмеров не на тиристорах, а на транзисторах (IGBT, которые сегодня и за рубежом и в России являются основой преобразователей частоты и систем ПЧ-АД в диапазоне от единиц до тысячи киловатт).

Удельные стоимости модульных преобразователей, выпускаемых АО «Рудоавтоматика», наиболее низкие из известных на сегодняшний день в промышленности 35 \$/кВт для тиристорных и 17 \$/кВт для транзисторных.

Серия ПТЭМ-2Р обеспечивает реализацию любых требуемых на ГОКах регулируемых электроприводов постоянного и переменного тока, в том числе и тех, которые постоянно предлагаются западными фирмами. При этом существенным преимуществом наших преобразователей является режим рекуперации энергии в сеть без дополнительных усложняющих устройств.

Мы уверены, что западные фирмы в обозримом будущем для тяжелых условий эксплуатации станут предлагать аналогичные разработки.

Можно предположить, что из-за экономических трудностей рекомендованный правительством массовый переход к экономичному частотно-управляемому асинхронному электроприводе начнется через несколько лет. В ближайшие годы главным путем поддержания и укрепления парка одноковшовых экскаваторов останется модернизация по системе ТВ-Г-Д, которую мы рекомендуем проводить на базе новых преобразователей ПТЭМ-2Р.

Преимущества системы ПЧ-АД широко известны, поэтому сегодня необходимо интенсивно вести исследования, разработки и промышленное внедрение опытных образцов регулируемого асинхронного электропривода как на обогатительных фабриках, так и на экскаваторах.

Примеры использования частотноуправляемых электроприводов для этих машин немногочисленны.

Фирмой Бюсайрос - Ири (США) на экскаваторе типа 395-В, выпуска 1990 года установлена система НУВ-АИН-(ШИМ)-АД фирмы Сименс [25]. Суммарная мощность всех электроприводов основных механизмов этого экскаватора 3000 кВт. Рекуперация энергии в электроприводе не предусмотрена. Поэтому энергию торможений, которых в цикле экскавации достаточно, предусматривалось гасить в резисторах. Для этой цели на крыше экскаватора размещалось 60 ящиков резисторов для рассеивания 247 кВт мощности в продол-

жительном режиме и 1150 кВт-кратковременно, в динамике.

Известен пример использования точно такой же системы электропривода в подъемной лебедке крана фирмы VEM (рис. 2). Здесь также энергия торможений должна гаситься в балластном резисторе R6. Нерациональность применения такого преобразователя без рекуперации энергии при значительной доле тормозных спусков в цикле очевидна.

Эти механизмы требуют свободного обмена энергии с сетью, т.е. рекуперации. Поэтому упомянутый экскаватор В-395 был единственным. Он эксплуатировался в Югославии. Последующая модель фирмы Бюсарос-Ири экскаватор 295ВП имел уже электропривод основных механизмов, выполненные по системе УВ-АИТ-АД фирмы Дженерал-Электрик (США) с рекуперацией энергии. Однако ступенчатая форма токов АИТ породила свои проблемы - «пришагивание» в районе нулевой скорости; а фазовый способ регулирования напряжения управляемым выпрямителем потребовал установки фильтрокомпенсирующего устройства для повышения коэффициента мощности преобразователя.

Фирма АВВ предложила Лебединскому ГОКу подписать контракт на модернизацию экскаватора ЭКГ-8И по системе преобразователь частоты-асинхронный двигатель. Схема электроприводов основных механизмов экскаватора ЭКГ-8И фирмы АВВ представлена на рис.3. Согласно этой схеме, каждый двигатель оснащен индивидуальным автономным инвертором напряжения, получающим питание от общих шин постоянного тока, звено постоянного тока связано с сетью через управляемый выпрямитель, выполненный на СТО, мощностью 1700 кВт и разделительный трансформатор 6/0.4 кВ, общий для всех электроприводов основных механизмов, мощностью 1900 кВА.

Предложенное решение позволяет осуществлять рекуперацию энергии в сеть в тормозных режимах. Использование запираемых тиристоров обеспечивает высокий коэффициент мощности управляемого выпрямителя и всей установки в целом как в выпрямительном так и в тормозном режимах. Отпадает необходимость как в установке фильтрокомпенсирующего устройства, так и добавочных резисторов.

Однако комплект, даже на первый взгляд, с учетом представленных размеров шкафов выглядит непривычно громоздким для машинного зала экскаватора ЭКГ-8И и дорогим, а использование общего для всей системы силового трансформатора способствует неоправданному увеличению токов короткого замыкания отдельных электроприводов. Общая потенциальная связь всех приводов

через шины постоянного тока снижает безопасность обслуживающего персонала.

Детальная оценка этой системы по весогабаритным и стоимостным показателям проведена на рис.4.

С нашей точки зрения, наиболее перспективной системой электропривода для механизмов, работающих при глубоком регулировании скорости, в том числе, и с протягивающей нагрузкой, типа удержания ковша, со значительной долей тормозных режимов, является система НПЧ-АД с частотно-токовым или частотным управлением (Рис.5). Для тяжелых условий эксплуатации и больших мощностей снижение максимальной частоты регулирования, например до 25 Гц., можно считать оправданным, т.к. габариты и использование электрической машины определяются не столько мощностью, сколько ее моментом. Для работы с частотой 750 об/мин, (обычной для подъемно-транспортных машин) можно выбрать четырехполюсную машину, той же высоты оси вращения и длины, что и восьмиполюсная машины вдвое меньшей номинальной мощности и эксплуатировать ее на частоте 25 Гц. При этом в условиях независимой вентиляции машина по току, габариту и весу активных частей оказывается использованной полностью.

В основе компоновки преобразователей использован модульный принцип на базе моноблоков ПТЭМ-1Р. Такое построение системы не требует квалифицированного обслуживания на месте. Каждый моноблок имеет собственную диагностику, сигнализацию о неисправном состоянии. Замена неисправного блока на исправный из горячего резерва может быть проведена неквалифицированным персоналом, например машинистом.

Работоспособность восстанавливается в течение 10...15 минут. Простои из-за неисправного состояния оборудования исключаются. Все моноблоки имеют идентичные характеристики, не имеют подстроечных элементов и не требуют предварительной наладки в производственных условиях. Починка неисправного блока осуществляется в стационарных условиях специализированного предприятия.

Детальная оценка этой системы по весогабаритным и стоимостным показателям представлена на рис.6.

Модульный принцип построения электропривода отвечает одному из основных показателей надежной эксплуатации-унификации оборудования.

Совместно с АО «Рудоавтоматика», освоившей производство преобразователей для тяжелых условий эксплуатации серий ПТЭМ-1Р и ПТЭМ-2Р мы произвели оценку удельной стоимости для преобразователей различных

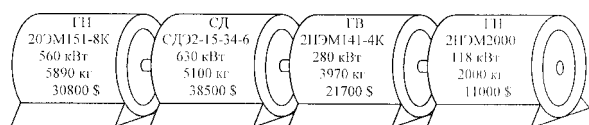
габаритов. Сравнение по этому показателю с преобразователями других фирм (Таблица 1) показало, что модульный принцип позволяет иметь самые низкие удельные стоимости. Максимальная унификация оборудования плюс низкая удельная стоимость разработанной базы обеспечивает высокую конкурентоспособность разработок на ее основе.

Учитывая лучшие условия безопасности обслуживающего персонала, меньшие токи короткого замыкания, меньший объем размещаемого в машинном зале оборудования, в три раза меньшую стоимость трансформаторного и преобразовательного оборудования, вариант модернизации электроприводов основных механизмов экскаватора ЭКГ-8П по системе НПЧ-АД, выполненный на базе тиристорных модульных преобразователей ПТЭМ-2Р-32, следует считать предпочтительным по отношению к варианту по системе УВ-АИН(ШИМ)-АД, предлагаемый фирмой АВВ для этого же экскаватора.

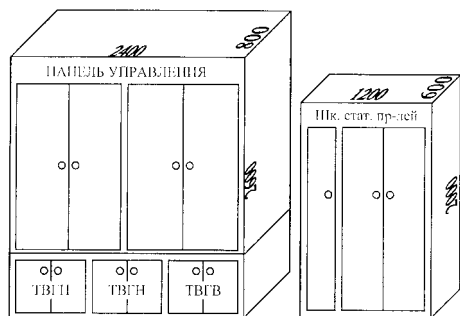
Проведенный на примере электроприводов экскаватора ЭКГ-8И анализ показывает, что в вопросе выбора оборудования нельзя идти на поводу у моды. Широко и без всяких ограничений рекламируемая система асинхронного электропривода с неуправляемым выпрямителем и автономным инвертором напряжения для механизмов работающих с резкопеременной нагрузкой, стопорениями, реверсами и тормозными режимами многократно уступают по всем показателям системе с непосредственным преобразователем частоты. Причем чем проще механизм, тем выше издержки.

Таблица 1 - Сравнение удельной стоимости преобразователей различных фирм, мощность 15 кВт

МЭИ, «Рудоавтоматика» \$/кВт		Триол СП, \$/кВт	ABB, \$/кВт	SCHNEIDER GROUPE, \$/кВт	HITACHI, \$/кВт	DAFOSS, \$/кВт
Тиристоры	36	173	282	285	346	289
Транзисторы	117					



Ц<sub>мод.</sub> = 102 000 \$



Ц<sub>мод.</sub> = 18 000 \$

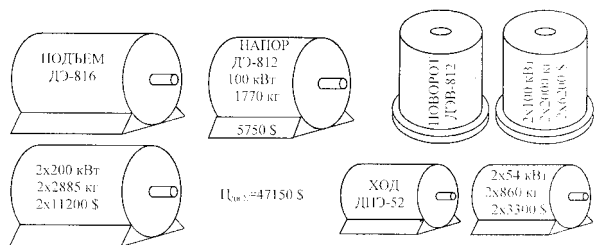


Рис. 1 Весогабаритные и стоимостные показатели оборудования при модернизации электроприводов экскаватора ЭК1"-8И по системе ТВ-Г-Д АС "Рудоавтоматика" /165 000 \$. 31 т/

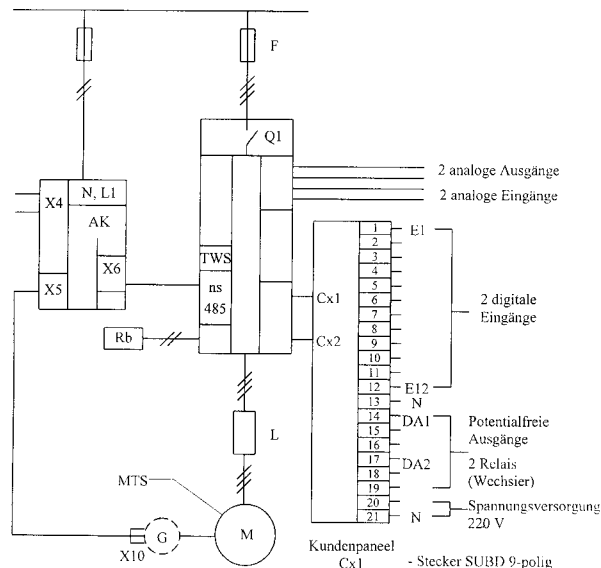


Рис.2 Электропривод механизма подъема крана фирмы VEM

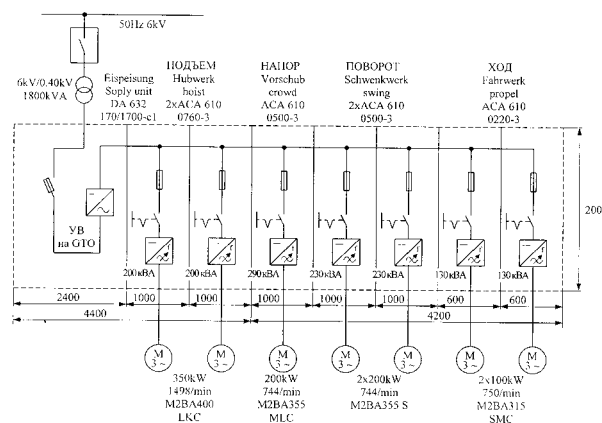
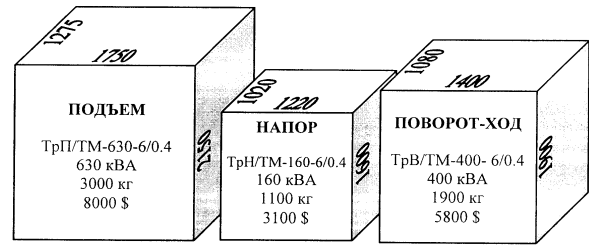
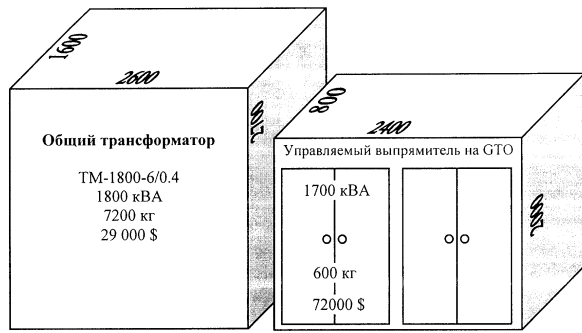
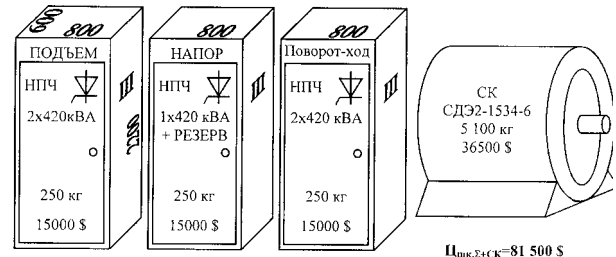
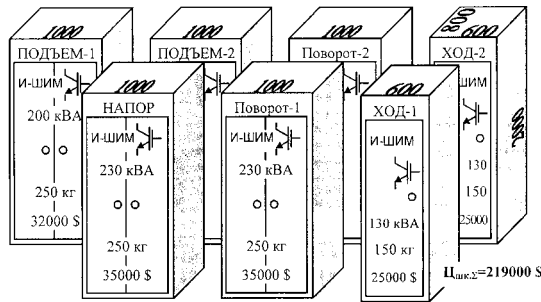


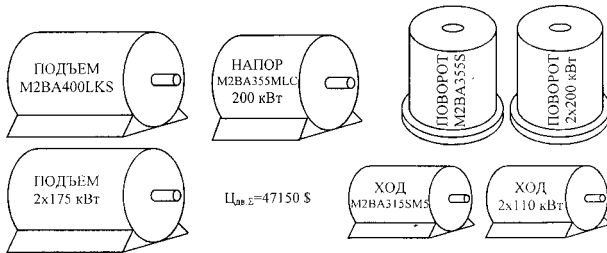
Рис.3 Схема электроприводов основных механизмов экскаватора ЭКГ-8И фирмы АВВ



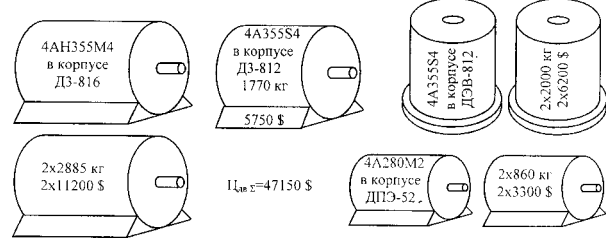
Ц<sub>гр.Σ</sub>=16900 \$



Ц<sub>инв.Σ+СК</sub>=81 500 \$



Ц<sub>ав.Σ</sub>=47150 \$



Ц<sub>ав.Σ</sub>=47150 \$

Рис.4 - Весогабаритные и стоимостные показатели оборудования при модернизации электроприводов экскаватора ЭКГ-8И фирмы АBB /367 000 \$, 23 т/

Рис .6 Весогабаритные и стоимостные показатели оборудования при модернизации электроприводов экскаватора ЭКГ-8И по системе НIPЧ-АД на базе модулей Г1ТЭМ-2Р-32 / 146 000 \$,25 т/

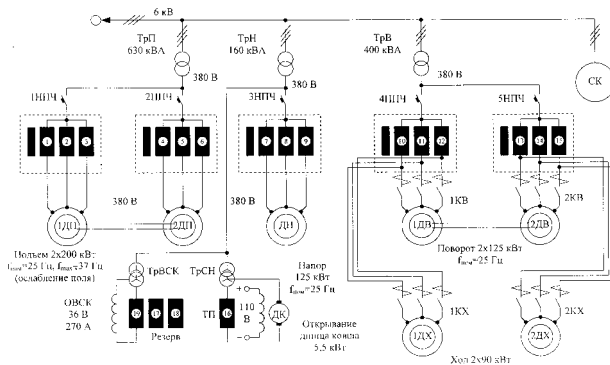


Рис. 5 Модернизация электроприводов экскаватора ЭКГ-8И по системе НIPЧ-АД на базе модулей ПТЭМ-2Р-32

Статья поступила в редакцию