

**СЕРИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
ДЛЯ ПЛАВНОГО ПУСКА МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ,  
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз*

В докладе приводится опыт применения высоковольтных тиристорных преобразователей, разработанных и серийно изготавливаемых ЗАО «АСК». Они используются для плавного пуска асинхронных и синхронных электроприводов напряжением 3, 6 и 10 кВ и мощностью до 3,2 МВт.

Тиристорные высоковольтные преобразователи напряжения (ТПН) все более широко применяются в горной промышленности в качестве устройств плавного пуска высоковольтных асинхронных и синхронных двигателей с номинальным напряжением 3, 6 и 10 кВ. Высокие технико-экономические показатели получают при плавном пуске индивидуального электропривода для механизмов центробежного принципа действия: насосов, вентиляторов, компрессоров.

Показатели экономической эффективности, при сохранении всех положительных характеристик индивидуального электропривода (ЭП), повышаются за счет использования тиристорного преобразователя напряжения для плавного пуска группы высоковольтных двигателей центробежных механизмов (ЦМ). В этом случае достаточно одного ТПН для поочередного плавного пуска всех двигателей группы электроприводов центробежных механизмов [1 – 6].

Тиристорный преобразователь напряжения управляет основным потоком электрической энергии, которая поступает от источника питания силовых цепей к электродвигателю через мощные тиристорные ключи. В ЗАО «АСК» накоплен значительный опыт в разработке, производстве и применении высоковольтной системы на базе преобразователей типа ПАД-В-Г и ПСД-В-Г, используемых для плавного пуска группы высоковольтных асинхронных и синхронных двигателей соответственно, и комплектных преобразователей типа ПАД-В-К, используемых для плавного пуска, защиты и управления индивидуальным асинхронным электроприводом.

Обзор литературы и энергетическое обследование ряда предприятий позволило обосновать перечень параметров приводных высоковольтных двигателей для номинальных линейных напряжений 3, 6 и 10 кВ. Разработана шкала типоразмеров серийно изготавливаемых групповых преобразователей типа ПАД-В-Г и ПСД-В-Г (табл. 1) и комплектных преобразователей типа ПАД-В-К (табл. 2).

В результате применения системы плавного пуска: существенно уменьшается пусковой ток двигателя, его величина ограничивается на уровне 1 – 4 номинальных токов статора двигателя; значительно снижаются динамические перегрузки в кинематических звеньях механических передач; уменьшаются электромагнитные усилия в обмотках статора двигателя и, как следствие, повышается срок службы статора; исключаются гидравлические и пневматические удары в ЦМ и магистрали за счет исключения резкого изменения давления (напора); улучшаются условия эксплуатации сопутствующего электротехнического оборудования (коммутационных аппаратов, трансформатора, кабельных линий и пр.); уменьшаются посадки напряжения в сети при пуске двигателей; применение плавного пуска приводит к увеличению срока службы ЦМ.

Технические характеристики групповых преобразователей

Ном. напряжение сети, кВ	Параметры двигателя		Параметры преобразователя			
	Макс. мощность, кВт	Ном. ток, А	Макс. ток, А	Габариты (ВхШхГ), мм	Тип для АД	Тип для СД
3	315	80	350	2200x800x600	ПАД-В-Г-80-3к	ПСД-В-Г-80-3к
	630	160	550		ПАД-В-Г-160-3к	ПСД-В-Г-160-3к
	800	250	750		ПАД-В-Г-250-3к	ПСД-В-Г-250-3к
6	1000	125	500	2400x800x800	ПАД-В-Г-125-6к	ПСД-В-Г-125-6к
	2000	250	700		ПАД-В-Г-250-6к	ПСД-В-Г-250-6к
	3150	400	1200	2400x2400x800 0	ПАД-В-Г-400-6к	ПСД-В-Г-400-6к
	5000	630	1900		ПАД-В-Г-630-6к	ПСД-В-Г-630-6к
	6300	800	2400		ПАД-В-Г-800-6к	ПСД-В-Г-800-6к
10000	1250	3700	2400x3000x800 0	ПАД-В-Г-1250-6к	ПСД-В-Г-1250-6к	
10	1600	125	500	2400x800x800	ПАД-В-Г-125-10к	ПСД-В-Г-125-10к
	3150	250	700	2400x2400x800 0	ПАД-В-Г-250-10к	ПСД-В-Г-250-10к
	5000	400	1200		ПАД-В-Г-400-10к	ПСД-В-Г-400-10к
	8000	630	1900		ПАД-В-Г-630-10к	ПСД-В-Г-630-10к
	12500	800	2400	2400x3000x800 0	ПАД-В-Г-800-10к	ПСД-В-Г-800-10к

Таблица 2

Технические характеристики комплектных преобразователей

Ном. напряжение сети, кВ	Параметры двигателя		Параметры преобразователя		
	Макс. мощность, кВт	Ном. ток, А	Макс. ток, А	Габариты (ВхШхГ), мм	Тип
3	315	63	250	2400x800x900	ПАД-В-К-63-3к
	400	80	300		ПАД-В-К-80-3к
	500	100	350		ПАД-В-К-100-3к
	630	150	400		ПАД-В-К-150-3к
	800	200	700		ПАД-В-К-200-3к
6	315	40	200	2400x800x900	ПАД-В-К-40-6к
	400	50	200		ПАД-В-К-50-6к
	500	63	250		ПАД-В-К-63-6к
	630	80	300		ПАД-В-К-80-6к
	800	100	350		ПАД-В-К-100-6к
	1000	125	350		ПАД-В-К-125-6к

Помимо обеспечения плавного пуска, преобразователи обладают рядом дополнительных возможностей: автоматическое управление внешней коммутационной аппаратурой; измерение напряжения, тока, мощности и энергии электродвигателя; автоматическое форсирование напряжения (тока) при несостоявшемся запуске ЭП. Кроме того, преобразователь имеет: защитную блокировку от подачи высокого напряжения на ТПН при ошибочных действиях обслуживающего персонала; обширный набор параметров, которые дают возможность конфигурирования для широких областей

применения; изолированные дискретные и аналоговые входы и выходы; встроенный модуль передачи данных по шине PROFIBUS; энергонезависимые часы реального времени и календарь для протоколирования ошибочных ситуаций, а также выдает подробную информацию о состоянии электропривода на дисплей.

Преобразователь оснащен комплексом защиты системы от: повышенного или пониженного напряжения сети; несимметрии напряжений и токов статора двигателя; неполнофазного режима работы; сверхтоков; замыкания на землю; коммутационных перенапряжений на тиристорах; дисбаланса вентильного каскада; перегрева и ухудшения вентиляции силового тиристорного модуля.

Типовая схема электроснабжения высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов с системой группового плавного пуска на базе высоковольтного ТПН типа ПАД-В-Г приведена на рис.1 [3, 4].

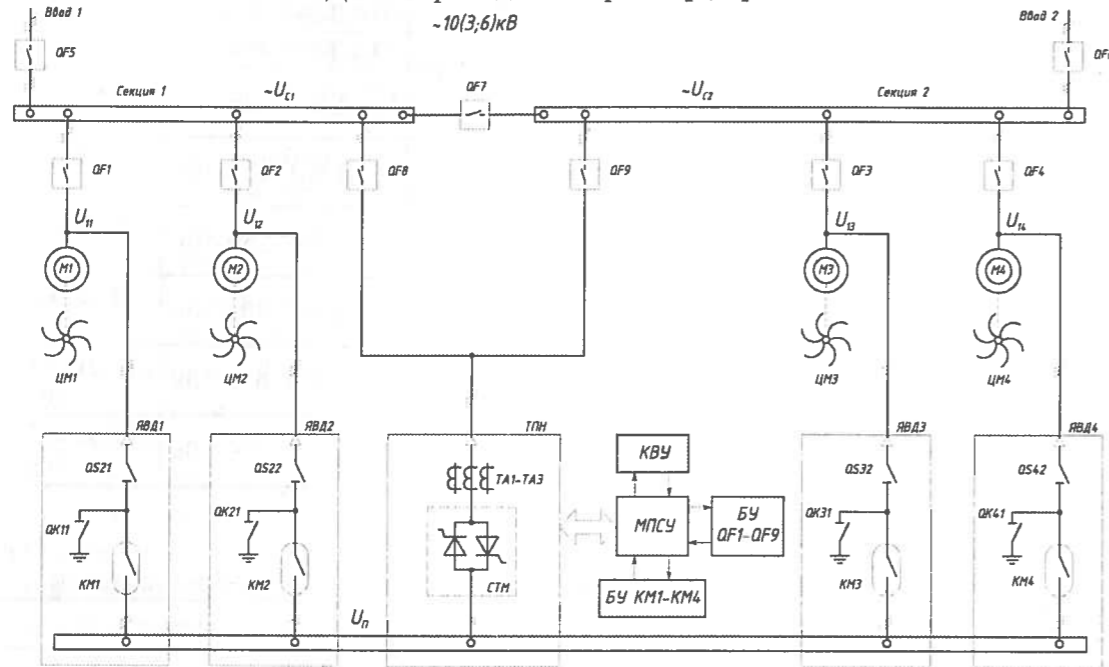


Рис. 1. Электрическая схема автоматизированного плавного пуска группы высоковольтных АЭП центробежных механизмов

На рис. 2 представлена схема электроснабжения комплектных преобразователей типа ПАД-В-К для двух вариантов исполнений: с индивидуальным или групповым питанием. Секции 1 и 2 системы электроснабжения получают питание от двух независимых вводов через высоковольтные коммутирующие ячейки с выключателями QF5 и QF6 соответственно. В качестве примера взяты четыре асинхронных двигателя М1–М4 по два на секцию, которые запитаны от рабочих ячеек с выключателями QF1–QF4.

Для реализации группового плавного пуска всех двигателей схема содержит следующее оборудование: две головные рабочие ячейки с выключателями QF8 и QF9 и системой защиты, подключенные к первой и второй секциям соответственно; тиристорный преобразователь напряжения ТПН с соответствующими токами и напряжением типа ПАД-В-Г (табл. 1); микроконтроллерная система управления МПСУ с блоками управления БУ высоковольтными выключателями QF1–QF9 и контакторами КМ1–КМ4; четыре ячейки выбора двигателя ЯВД1–ЯВД4 с вакуумными контакторами КМ1–КМ4; контроллер верхнего уровня КВУ для автоматизации пуска асинхронного электропривода центробежных механизмов.

Схема работает следующим образом. Допустим, требуется запустить двигатель М1. Из контроллера верхнего уровня поступают сигнал управления, при этом собираются цепи управления и контроля, участвующие в запуске двигателя М1: головной выключатель QF8, контактор КМ1 в ячейке ЯВД1 и цепи технологических защит М1. Система

управления преобразователя выдает управляющие импульсы на ТПН, и двигатель М1 плавно разгоняется в соответствии с заданным алгоритмом формирования пусковой траектории тока или напряжения статора. При достижении напряжения на статоре М1, равного напряжению на первой секции, система управления выполняет следующие команды: включает рабочий выключатель QF1 (и тем самым шунтирует тиристоры преобразователя); снимает управляющие импульсы с тиристоров; выключает пусковой контактор КМ1 в ЯВД1 и головной выключатель QF8. Преобразователь ПАД-В-Г, головные выключатели и пусковые контакторы полностью отключены, а двигатель М1 запитан от штатной ячейки с выключателем QF1.

Аналогично контроллер верхнего уровня выполняет запуск следующего электродвигателя. Например, требуется запустить М3. Тогда силовая схема будет собрана по цепи: головной выключатель QF9 и контактор ЯВД3. Алгоритм пуска повторяется. Таким образом осуществляется независимое управление двигателями от разных секций шин. Отключение двигателя происходит по обычной схеме, путем отключения рабочих выключателей в соответствующих ячейках.

Конструктивно преобразователи типа ПАД-В-К выполняются в одном шкафу и содержат все необходимые элементы защиты, коммутации и управления. Преобразователи типа ПАД-В-Г и ПСД-В-Г в зависимости от напряжения и мощности выполняются в одном или нескольких шкафах. Применяется естественное охлаждение тиристоров, что увеличивает надежность преобразователя при эксплуатации в запыленных и влажных средах. На рис. 3 показан внешний вид комплектного преобразователя типа ПАД-В-К-100-6к-1, используемый для плавного пуска одного асинхронного электропривода мощностью 1 МВт.

В настоящее время на предприятиях России и за рубежом ЗАО «АСК» реализовано несколько проектов системы группового и индивидуального плавного пуска электродвигателей с использованием ТПН на напряжение сети 3, 6 и 10 кВ и мощностью двигателя от 0,25 до 3,2 МВт [5, 6]. Системы в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям, и положительно зарекомендовали себя в эксплуатации.

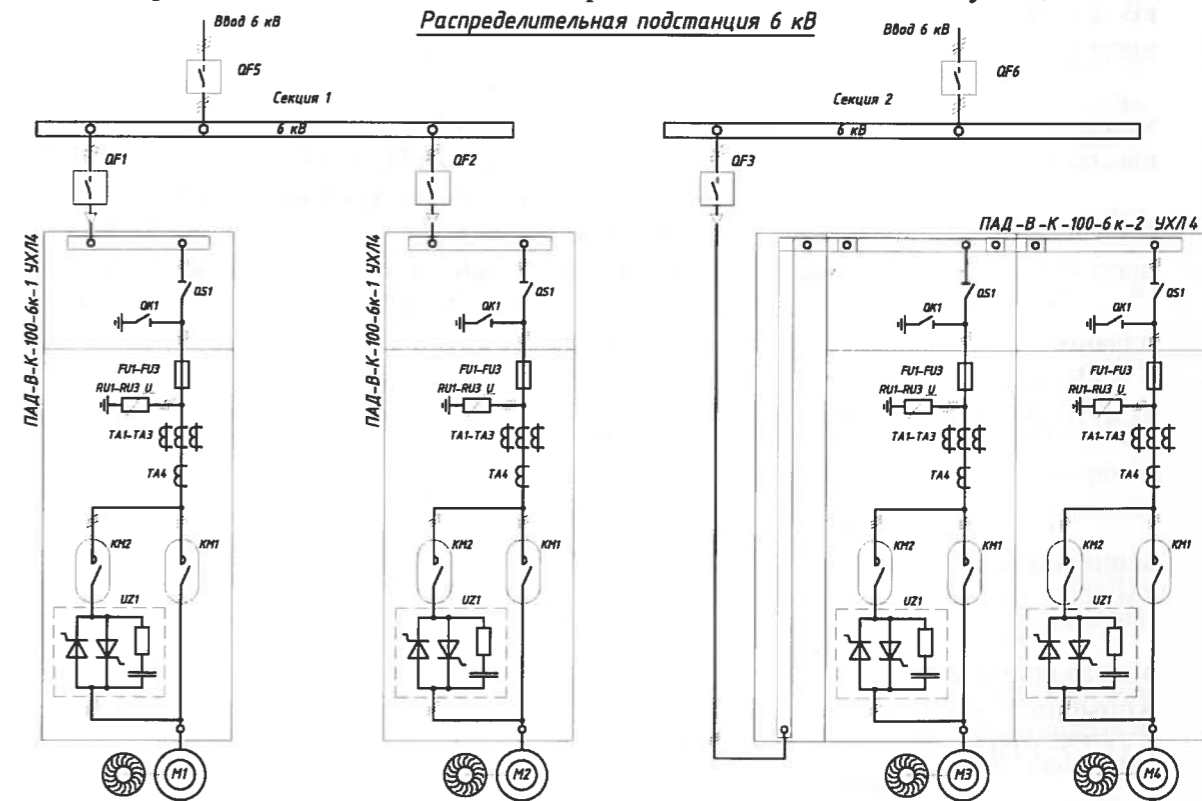


Рис. 2. Электрическая схема автоматизированного плавного пуска индивидуальных высоковольтных АЭП центробежных механизмов

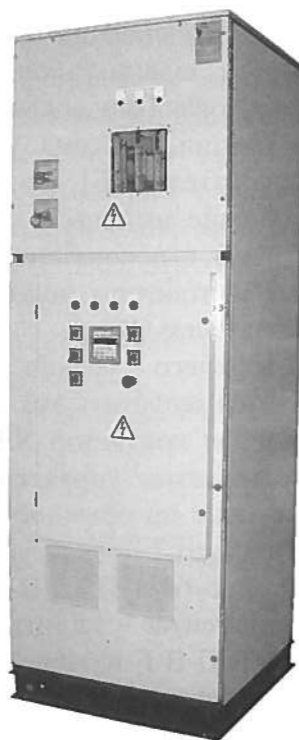


Рис. 3. ПАД-B-K-100-6к-1

#### Примеры реализации в горной промышленности:

1. Система плавного пуска асинхронного двигателя напряжением 3 кВ и мощностью 250 кВт погружного насоса – внедрена в августе 2006 г. на насосной станции шахты «Ново-Ключевская» ОАО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма.
2. Система группового плавного пуска трех синхронных двигателей напряжением 6 кВ и мощностью 1600 кВт турбокомпрессоров – внедрена в декабре 2006 г. на одной из шахт ОАО «Богословское рудоуправление», г. Краснотурьинск.
3. Система плавного пуска асинхронного двигателя напряжением 3 кВ и мощностью 250 кВт погружного насоса – внедрена в июле 2008 г. на насосной станции шахты «Новая» ОАО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма.
4. Система группового плавного пуска двух синхронных двигателей напряжением 6 кВ и мощностью 1600 кВт турбокомпрессоров поставлена в октябре 2008 г. на одну из шахт ОАО «Высокогорский горно-обогатительный комбинат», г. Нижний Тагил.
5. Комплектный преобразователь типа ПАД-B-K-100-6к для индивидуального плавного пуска асинхронного электропривода центробежного насоса (3 шт.). Напряжение – 6 кВ, мощность – 630 кВт. Блочно-кустовая насосная станция высокого давления ТОО «Саутс-Ойл», Казахстан, г. Кызыл-Орда, месторождение «Кенлык», поставка – ноябрь 2010 г.

#### Литература

1. Тиристорный преобразователь для плавного пуска высоковольтных асинхронных двигателей / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. – 2007. – № 1.
2. Высоковольтный тиристорный преобразователь напряжения для плавного пуска электродвигателя переменного тока / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.Н. Яковлев, В.С. Копырин // В сб. трудов Международной 14-й НТК «Электроприводы переменного тока» / УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 2007.
3. Плавный пуск группы высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. – 2008. – № 2.

4. Ткачук А.А., Копырин В.С. Групповой плавный пуск высоковольтных синхронных электроприводов компрессорных станций / Электротехнический рынок, 2007. – № 12.

5. Плавный пуск группы высоковольтных синхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз, В.С. Копырин, А.Ю. Силуков // Силовая электроника. 2008. № 3.

6. Плавный пуск группы высоковольтных асинхронных электроприводов центробежных механизмов / А.А. Ткачук, В.К. Кривовяз // Насосы&оборудование. 2009. – № 2(55).

УДК 622.232

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПОВОРОТНЫХ МЕХАНИЗМОВ ОДНОКОВШОВЫХ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

С.А. Хорошавин

В горной отрасли остро стоит проблема повышения эффективности работы технологического оборудования. Эта проблема может решаться за счет создания горного оборудования, работающего на новых принципах разрушения породы и ее транспортирования или за счет модернизации имеющегося оборудования с целью повышения производительности. Новые принципы находят в результате научных исследований, проводимых институтами академии наук. В проектных организациях решаются задачи по улучшению работы оборудования за счет оптимизации параметров.

Проблемой совершенствования горного оборудования занимаются многие научные школы и производственные коллективы. Для поворотных механизмов экскаваторов предлагаются варианты с гидравлическими и электрическими приводами [1] с рекуперацией энергии.

В настоящей статье рассматривается возможность повышения производительности одноковшового экскаватора за счет оптимизации поворотных механизмов. Оптимизация сложных объектов возможна только с использованием ЭВМ и соответствующего программного обеспечения.

Рассмотрим создание программы для оптимизации поворотного механизма экскаватора.

При проектировании механизма поворота проводят структурную и параметрическую оптимизацию.

Оптимизация структуры исполнения механизма заключается: в выборе типа привода (электрический – постоянного или переменного тока, гидравлический – вращательного или поступательного действия и т. п.); передаточного механизма (с редуктором или без редуктора); в определении числа двигателей. Для механизма поворота экскаватора использование гидропривода, включающего гидроаккумуляторы, позволит снизить затраты энергии на поворот платформы экскаватора [1, 2].

При параметрической оптимизации определяют значения максимального движущего момента, максимальной скорости поворота, передаточного отношения механизма.

Рассмотрим влияние передаточного числа. При его варьировании изменяется движущий момент, прикладываемый к поворотной платформе. Скорость установившегося движения также будет зависеть от передаточного числа, т.к. номинальная скорость двигателя неизменна.