

УДК 621.316.5

## **ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИХ КОНТАКТОРОВ С ВАКУУМНЫМ ДУГОГАШЕНИЕМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТЯГОВОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ**

Божко А.Н., студент гр. ВОЭТ-312, III курс

Научный руководитель: Рябко К.А., канд. техн. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения, филиал в г. Воронеж»  
г. Воронеж

Электропневматические контакторы (ЭПК) с вакуумными дугогасительными камерами (ВДК) предназначены для частой коммутации силовых электрических цепей в установках высокого и среднего напряжения. Основная сфера их применения охватывает подвижной состав железнодорожного транспорта, метрополитена, а также промышленные электроустановки с тяжелыми режимами работы [6].

Вакуумное дугогашение принципиально отличается от воздушного или масляного тем, что разрыв контактов происходит в глубоком вакууме. При размыкании цепи металл контактов испаряется, образуя плазму металлического пара, в которой протекает ток. Как только ток проходит через нулевое значение, пары металла мгновенно конденсируются на поверхностях внутри камеры, и диэлектрическая прочность промежутка восстанавливается практически моментально [2; 5].

Применение вакуумной технологии в ЭПК обеспечивает ряд эксплуатационных преимуществ. Благодаря высокой скорости восстановления диэлектрика такие устройства обладают повышенной износостойкостью и способны выдерживать огромное количество циклов включения-выключения без замены контактов. Отсутствие открытой электрической дуги исключает выброс раскаленных газов и ионизированных частиц, что делает эксплуатацию оборудования более безопасной и позволяет уменьшить габариты распределительных устройств [1; 6].

Электропневматические контакторы с ВДК также обладают специфическими недостатками, обусловленными физикой вакуумного разрыва и особенностями конструкции привода.

Одним из основных недостатков является возникновение значительных перенапряжений при коммутации малых индуктивных токов. Из-за чрезвычайно быстрого восстановления электрической прочности вакуумного промежутка ток может быть прерван до его естественного перехода через ноль (яв-

ление «среза тока»). Это приводит к возникновению импульсных перенапряжений в цепи, что требует установки дополнительных защитных устройств – ограничителей перенапряжений (ОПН) или RC-цепей [1; 5].

Существует риск потери герметичности вакуумной камеры. Поскольку визуально определить состояние вакуума невозможно, для контроля целостности камеры требуется специальное диагностическое оборудование [3]. Снижение уровня вакуума ведет к потере дугогасящей способности и может вызвать разрушение аппарата при попытке отключения тока.

Ограничение по величине коммутируемого тока также является значимым фактором. При очень больших токах (близких к предельным режимам КЗ) плотность металлического пара становится избыточной, что замедляет процесс конденсации и может препятствовать гашению дуги при первом прохождении тока через ноль [2].

Рассмотрим преимущества и недостатки электропневматического привода. Электропневматический привод обеспечивает высокую скорость и стабильность срабатывания контактов за счет использования энергии сжатого воздуха, позволяя работу в условиях вибраций со способностью работать в широком диапазоне температур. Это позволяет достичь необходимого контактного нажатия, которое пригодно для надежной передачи больших токов при более низких затратах на техническое обслуживание [4].

Для контакторов с пневматическим приводом характерна проблема «дребезга» контактов при включении. Высокая скорость сближения деталей в сочетании с жесткостью конструкции может привести к многократным отскокам подвижного контакта. В условиях вакуума это чревато микросварками контактных поверхностей, что со временем увеличивает переходное сопротивление или приводит к их полному привариванию [3; 4].

Выполним анализ принципа работы ЭПК с ВДК. Работа системы электропневматических контакторов с вакуумными камерами основана на преобразовании энергии сжатого воздуха в механическое движение контактов, находящихся в изолированной безвоздушной среде [6].

Процесс включения начинается с подачи электрического сигнала на катушку электропневматического вентиля. Под действием электромагнитного поля якорь вентиля перемещается, открывая доступ сжатому воздуху из магистрали в рабочий цилиндр пневматического привода. Давление воздуха воздействует на поршень, который через систему рычагов и изоляционную тягу преодолевает сопротивление притирающей и отключающей пружин. Это усилие передается на подвижный контакт вакуумной дугогасительной камеры, плотно прижимая его к неподвижному контакту. Высокое нажатие, обеспечиваемое пневматикой, гарантирует минимальное переходное сопротивление и предотвращает самопроизвольный отброс контактов при протекании токов короткого замыкания [4].

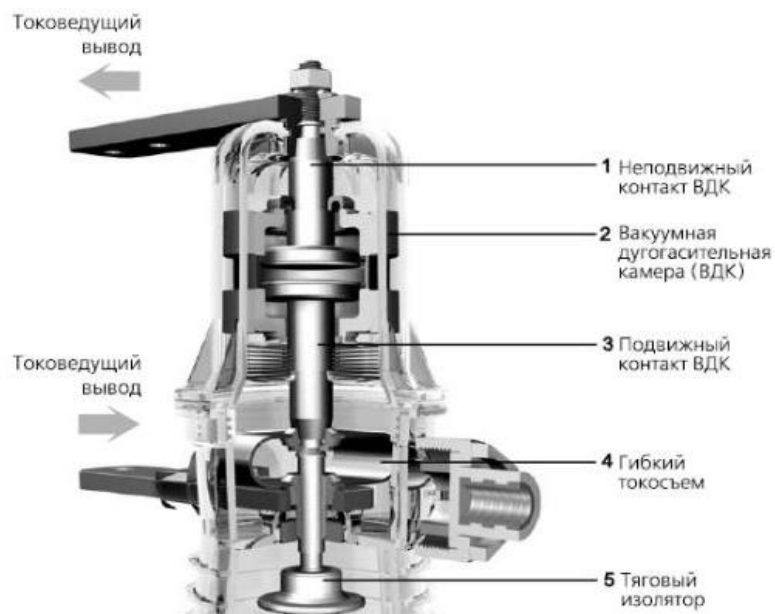


Рисунок 1 – Общий вид вакуумной дугогасительной камеры

Внутри вакуумной камеры при соприкосновении контактов замыкается силовая электрическая цепь. Поскольку в камере поддерживается глубокий вакуум, окисление рабочих поверхностей практически исключено, что сохраняет стабильную проводимость на протяжении всего срока службы [5].

Процесс отключения инициируется снятием напряжения с катушки вентиля. Сжатый воздух из цилиндра сбрасывается в атмосферу, и энергия сжатых ранее пружин перемещает поршень в исходное положение. Подвижный контакт отходит от неподвижного. В момент разрыва между ними образуется мостик из расплавленного металла, который превращается в плазму металлического пара – так возникает вакуумная дуга [2].

Дугогашение происходит за счет диффузии и конденсации паров металла. Как только ток в цепи переходит через ноль, носители заряда мгновенно разлетаются в стороны и оседают на металлических экранах камеры. Поскольку в камере нет газа, который мог бы поддерживать процесс ионизации, диэлектрическая прочность промежутка восстанавливается чрезвычайно быстро, и дуга гаснет в течение нескольких микросекунд. Это предотвращает серьезный износ контактных поверхностей и исключает воздействие дуги на окружающие элементы конструкции [5].

Рассмотрим область применения контакторов с ВДК на тяговом подвижном составе. Вакуумные контакторы с ВДК на тяговом подвижном составе (ТПС) применяются в основном в цепях отопления поезда, вспомогательных машинах и силовых цепях электровозов и электропоездов переменного тока.

Серия КВ-1,1 (низковольтные с высокой изоляцией). Применяются на электровозах и электропоездах для управления вспомогательными цепями и двигателями компрессоров. Несмотря на номинальное напряжение 1,1 кВ, они обладают усиленной изоляцией, позволяющей работать в условиях бросков напряжения контактной сети. Номинальный ток: до 160–630 А [6].

Серия КВ-2,0 (Контакторы отопления). Специализированная серия для систем электрического отопления пассажирских вагонов. Устанавливаются для коммутации высоковольтных цепей напряжением 3 кВ (постоянного тока) или переменного тока. Номинальное напряжение: до 2000 В (в специальных исполнениях до 3000 В).

Серия КВ-5 (Высоковольтные вспомогательные). Используются на тяговом подвижном составе переменного тока напряжением 25 кВ для коммутации вспомогательных машин и преобразователей со стороны обмоток тягового трансформатора (на ступенях среднего напряжения). Номинальное напряжение: 5 кВ [1].

Серия МК (Модернизированные с ВДК). Многие классические электромагнитные контакторы серии МК на современных локомотивах заменяются на аналоги с вакуумными камерами. Они сохраняют стандартные монтажные размеры, но используют герметичную камеру вместо открытых контактов и дугогасительных камер. Применяют в цепях возбуждения тяговых двигателей, пусковых резисторов [4].

Рассмотрим перспективы применения ВДК в коммутационной аппаратуре ТПС. Перспективы применения ВДК в коммутационной аппаратуре ТПС связаны с необходимостью повышения эксплуатационной надежности и снижения затрат на техническое обслуживание [3].

Основным направлением развития является замена штатной воздушной коммутационной аппаратуры на вакуумную в цепях отопления поезда, вспомогательных машинах и главных цепях. Использование ВДК позволяет полностью исключить открытую электрическую дугу, необходимо для поддержания пожарной безопасности ТПС и защиты внутрикузовного или подкузовного оборудования от продуктов горения дуги [1].

Одной из перспектив является интеграция систем преждевременной диагностики. Современные датчики позволяют в реальном времени отслеживать степень износа контактов и прогнозировать остаточный ресурс ВДК, что дает возможность перейти от планово-предупредительного ремонта к ремонту по техническому состоянию [3]. Это существенно сокращает простои техники в депо.

В области высоковольтных цепей переменного тока (25 кВ) развитие идет в сторону создания компактных вакуумных выключателей с полимерной изоляцией. Это позволяет уменьшить габариты и массу аппаратов, что крайне важно для размещения оборудования на крыше или в ограниченном пространстве машинного отделения [1].

Для цепей постоянного тока (3 кВ) перспективным направлением остается решение проблемы коммутации малых и средних токов, где отсутствие естественного перехода тока через ноль затрудняет гашение дуги в вакууме [5].

Также значительные перспективы связаны с применением новых материалов для контактов, которые минимизируют эффект среза тока. Это снижает уровень коммутационных перенапряжений, защищая изоляцию тяговых электродвигателей и трансформаторов от пробоев [2].

Внедрение ВДК в составе быстродействующих и главных выключателей электроподвижного состава позволит значительно сократить время отключения при коротких замыканиях, что защитит дорогостоящее силовое оборудование от термических и коммутационных повреждений.

### Список литературы:

1. Белкин, Г. С. Создание вакуумной коммутационной аппаратуры на напряжение 72,5-220 кВ: состояние и перспективы / Г. С. Белкин, Ю. Г. Ромочкин // Электричество. – 2011. – № 9. – С. 28-30. – EDN OCBLPB.
2. Бенке, М. С. Особенности и перспективы развития техники и технологии гашения дуги / М. С. Бенке, А. Л. Литневский // Актуальные вопросы энергетики : материалы Международной научно-практической конференции, Омск, 17 мая 2017 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2017. – С. 312-316. – EDN YPKTQF.
3. Рябко, К. А. Естественный и технологический износ контактов коммутационных аппаратов тепловозов / К. А. Рябко // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 11(35). – С. 46-53. – DOI 10.30987/2782-5957-2024-11-46-53. – EDN JWUTNU.
4. Рябко, К. А. Оценка надежности характеристик электрооборудования электровозов ВЛ80С / К. А. Рябко // Транспорт: наука, образование, производство ("Транспорт-2024") : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Воронеж, 24–26 апреля 2024 года. – Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 216-221. – EDN SGWDSZ.
5. Экспериментальные исследования дугогашения в контакторах переменного тока / Е. Г. Егоров, Г. Е. Егоров, Н. Ю. Луия, В. С. Пряников // Вестник Чувашского университета. – 2017. – № 1. – С. 88-102. – EDN YFMVNI.
6. Электрические аппараты : Учебник и практикум / П. А. Курбатов, Е. Г. Акимов, А. Г. Годжелло [и др.]. – 1-е изд.. – Москва : Издательство Юрайт, 2016. – 250 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-9916-9715-6. – EDN XMQKXZ.