

## НИЗКОВОЛЬТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

**С.М.АПОЛЛОНСКИЙ**, *д-р техн. наук, профессор, smapollon@yahoo.com*

*Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, Россия*

**Ю.В.КУКЛЕВ**, *канд. техн. наук, доцент, smapollon@yahoo.com*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия*

В статье рассмотрены основные тенденции в развитии низковольтных электрических аппаратов (ЭА) и связанных с ними вспомогательных устройств, а также вопросы их эффективности, надежности и безопасности. По мнению авторов, основные тенденции в развитии низковольтного аппаратостроения следующие: переход от применения отдельных аппаратов к системам аппаратов, унифицированных по способу монтажа и выполняемых в стандартных модулях, и соответствующим всем функциональным требованиям систем управления; повышение уровня стандартизации и нормализации ЭА в международном масштабе; унификация конструктивных элементов ЭА; увеличение объема производства комплектных устройств управления и применения бесконтактных логических систем управления и специализированных ЭВМ для целей управления; возрастание удельного веса релейно-контакторной аппаратуры постоянного тока, выполняющей различные функции управления. Благодаря применению пониженных напряжений (24 В постоянного тока, 110 В переменного тока) повысится уровень безопасности обслуживания аппаратуры низкого напряжения; увеличатся удельный вес и применение комбинированных аппаратов управления и защиты, а также аппаратов для набора и автоматизации рабочих циклов машин: различных командоаппаратов, аппаратов путевого контроля, реле счета импульсов и т.п.

**Ключевые слова:** низковольтные электрические аппараты, командная аппаратура, номинальные автоматы, селективные автоматы, электроавтоматика, герконы, реле времени.

Основным толчком к развитию низковольтных электрических аппаратов (ЭА) служит автоматизация производства и рост мощности промышленных установок, требующие повышенного качества защиты электрических цепей; повышенные функциональные требования к аппаратам по включающей и отключающей способностям, допустимой частоте включений, быстродействию, коммутационной и механической стойкости и т.д.; усложнение современной технологии производства ЭА и внедрение новых материалов, обладающих большой механической прочностью, тугоплавкостью, дугостойкостью, хорошей электропроводностью и коррозионной стойкостью; применение строгой стандартизации и значительное расширение узловой и подетальной унификации ЭА; повышение требований к надежности ЭА с уменьшением их веса и габаритов; повышение показателей технологического контроля производства – количества и качества выпускаемой продукции, экономия дорогостоящих материалов и уменьшение себестоимости изготавливаемых деталей.

Общие тенденции повышения требований к эффективности и надежности работы ЭА вызвали развитие аппаратов управления на герметизированных магнитоуправляемых контактах (герконах), которые условно можно назвать полустатическими, поскольку кроме этих контактов в них нет никаких подвижных частей [6].

Аппараты на герконах занимают промежуточное положение по долговечности между обычными контактными и полупроводниковыми аппаратами управления, функционально весьма подходят для сочетания полупроводниковых и контактных систем управления. Наряду с крупными чисто техническими преимуществами систем управления на полупроводниковых элементах, они еще намного дороже контактных систем управления, и в объектах со средним и низким уровнями автоматизации, с относительно невысокими требованиями по быстродействию и надежности экономически себя не оправдывают.

Современные ЭА для автоматизации производственных процессов характеризуются стиранием различий между традиционными электротехническими элементами систем управления и элементами, являющимися традиционными для приборостроения. Наблюдается повышение удельного веса выпуска элементов, занимающих промежуточное положение между приборами и аппаратами: командоаппаратов непрерывного и дискретного действия, электромеханических реле счета импульсов, датчиков механических величин и т.п.

Как в сложных, так и в простейших системах управления, четко прослеживаются тенденции к уменьшению размеров аппаратуры и ее унификации, а также к созданию и применению комбинированных аппаратов, совмещающих, например, функции управления и защиты, управления и сигнализации и т.п.

По мере развития электротехники и электроники в автоматике стали применяться разнообразные электронные приборы и электромагнитные устройства. Зародилась новая отрасль автоматике – электроавтоматика. В течение нескольких последних десятилетий электроавтоматика получила исключительно широкое распространение. Объясняется это тем, что технические средства электроавтоматики являются устройствами повышенной чувствительности и точности, имеют небольшие размеры, малый вес и, наконец, могут осуществлять управление и контроль работы одной или нескольких машин на расстоянии.

По назначению они разделяются на несколько групп:

- первая группа – первичные измерительные преобразователи, воспринимающие изменения параметров контролируемого объекта и вырабатывающие информацию в форме, удобной для ее передачи и дальнейшего преобразования;

- вторая группа – устройства для передачи (распределения) информации: а) аппаратура телеконтроля для передачи сигнала информации по каналам связи; б) коммутаторы для распределения сигналов информации на места ее представления и обработки;

- третья группа – устройства для логической и математической обработки информации: а) преобразователи, осуществляющие изменение характера сигналов информации и хранение; б) аппаратура, предназначенная для переработки информации по заданным алгоритмам с целью осуществления законов и режимов управления (регулирования), а также для хранения сигналов информации, создания программных сигналов, сравнения информационных сигналов с программными;

- четвертая группа – исполнительные устройства контроля, показывающие оператору состояние процессов в контролируемом объекте: сигнальные табло, мнемонические схемы, стрелочные и цифровые приборы, указательные (сигнальные) реле, алфавитные или цифровые печатающие машины;

- пятая группа – устройства выработки управляющих воздействий, преобразующие сигналы информации в более мощные сигналы требуемой формы (часто и другой физической природы относительно информационных сигналов) для приведения в действия исполнительных устройств управления;

- шестая группа – исполнительные устройства управления, выполняющие заключительную операцию процесса управления.

Таким образом, технические средства автоматике выполняют функции контроля и управления, которые могут реализовываться отдельно или быть связанными. В последнем случае это часто делается для выполнения функции регулирования.

Аппараты автоматике (АА) служат для получения информации об объектах ее передачи, преобразования, запоминания и сравнения с программными данными, а также для формирования, передачи (распределения) обратной, командной (управляющей) информации с целью воздействия на объекты [5]. Для построения АА используются различные физические явления, чаще всего электрические, гидравлические и пневматические. Следует отметить, что к электрическим аппаратам автоматике (ЭАА) не относятся компьютеры, печатающие сигнальные машины, табло, мнемонические схемы, измери-

тельные приборы, электромоторные исполнительные механизмы. ЭА, принцип действия которых не связан с использованием перемещения их составных элементов, называются статическими электрическими аппаратами (СЭА). Электрические аппараты, функционирование которых основано на использовании перемещения их составных элементов, называются электромеханическими аппаратами (ЭМА). К электромеханическим аппаратам автоматики (ЭМАА) традиционно относят: первичные электромеханические измерительные преобразователи; различные электромеханические реле; шаговые искатели (распределители), осуществляющие поочередное подключение одной цепи к ряду других; командная аппаратура: конечные и путевые выключатели, поворотные переключатели и др.; различные исполнительные аппараты контроля и управления, в том числе электромагнитные муфты, электромагнитные клапаны и др.; электрические и магнитные опоры.

Относительно большое количество контактных аппаратов в сложных объектах управления требует уменьшения габаритов станций управления, а это в общепромышленных устройствах достигается двумя путями: применением плотного монтажа электроаппаратуры на основе нормализации ее размеров и малогабаритных реле автоматики, работающих, как правило, при низких уровнях напряжений и токов (24-48 В и 0,5 А), что позволяет сократить их размеры.

При этих условиях коммутация тока происходит без образования дуги, однако для надежного контакта требуются специальные контакты, обеспечивающие включение пускателей, контакторов, электромагнитов и электромагнитных муфт (последние работают при напряжении 24 В постоянного тока и тока до 2 А).

Расширяется применение электромагнитов постоянного тока, обеспечивающих более надежную работу, чем электромагниты переменного тока.

Напряжения 24 и 48 В постоянного тока также широко применяются и для устройств управления на полупроводниковых элементах и герконах, и поэтому удельный вес аппаратуры управления с этими напряжениями постоянного тока непрерывно растет.

В цепях управления переменного тока все шире используется пониженное напряжение 110-127 В, получаемое от трансформаторов управления и сочетающее повышенную надежность контактирования при коммутации с безопасностью обслуживания электроустановок, или система фаза – нуль (220 В), обладающая теми же положительными свойствами, но более опасная в обслуживании.

Линейное напряжение (380 В) в цепях управления применяется реже, поскольку небезопасно с точки зрения ложного включения контакторов и других электромагнитных аппаратов при случайном заземлении одного из линейных проводов в распространенных системах с заземленной нейтралью проводов и возможного электротравматизма обслуживающего персонала.

На ближайшее время следует считать, что для общепромышленных машин и установок основным напряжением цепей управления будет 24 В постоянного тока и 110-220 В переменного тока, кроме производственных установок с весьма длинными цепями управления, например металлургических и химических предприятий и энергетики, где широко применяются линии и цепи управления с напряжением 110 и 220 В постоянного тока.

Большое падение напряжения в линиях цепей управления с напряжением управления 24 В постоянного тока в ряде случаев устраняется применением на крупных объектах управления магистральных цепей напряжением 110 или 220 В переменного тока с присоединением к ним автономных источников питания местных цепей управления постоянным током 24 В.

Осуществление плотного монтажа в станциях управления достигается нормализацией оболочек, а также габаритных и присоединительных размеров электроаппаратуры. Необходимо, чтобы все аппараты по входным и выходным параметрам, а также по установочным

размерам были пригодны для ввода в комплектных устройствах. Поэтому от проектирования и изготовления отдельных аппаратов переходят к проектированию и изготовлению систем аппаратов, взаимосвязанных условиями совместной работы и монтажа.

Все возрастающее применение малых специализированных ЭВМ для систем управления будет вызывать изменение структуры выпуска (применения) низковольтных аппаратов. В таких системах все логические и распределительные функции управления берут на себя компьютеры, что существенно уменьшает применение реле управления. В этих системах управления предполагается использовать контакторы на полупроводниковых элементах, поскольку применение специализированных ЭВМ или аппаратуры взамен контактной будет происходить только из-за многих общих технических преимуществ полупроводниковых аппаратов: в каждом отдельном случае применение электроники должно быть технически и экономически оправдано. В настоящее время быстроедействие и высокая частота работы полупроводниковых элементов управления во многих случаях не требуются, а стоимость электронных систем во много раз выше электромеханических. Следовательно, для широкого внедрения электроники в ближайшее время требуется существенное снижение стоимости элементов, на базе которых создаются системы управления.

Кроме того, необходимо существенное улучшение помехозащищенности элементов и систем электронного управления в условиях промышленной эксплуатации. Применение интегральных схем для счетно-решающей и логической частей устройств управления позволяет уменьшить устройства управления и удобно сочетать их с ЭВМ, но миниатюризация схем управления с неизбежным снижением уровней сигналов управления требует более сложных мер обеспечения надежности и помехозащищенности в условиях промышленного использования, поэтому в ближайшее время преимущественное распространение в промышленности получают дискретные элементы с большим уровнем сигналов управления, в особенности в периферийных частях систем управления.

У проектировщиков, привыкших к релейно-контакторным схемам управления, встречаются известные трудности при проектировании бесконтактных систем управления. В настоящее время создаются полупроводниковые элементы управления, эквивалентные по логическим свойствам катушкам и контактам обычных аппаратов управления и не требующие специального навыка при их проектировании и использовании.

Широко применяются отдельные логические элементы бесконтактных систем управления в качестве стандартных функциональных блоков (модулей) в регулируемых электроприводах.

На развитие аппаратуры низкого напряжения существенно влияют требования, предъявляемые к эксплуатации и содержанию ремонтных работ.

Обслуживание должно быть минимальным и не требующим высокой квалификации персонала. Аппаратура должна обеспечивать безопасность обслуживания, быстрый поиск неисправностей и их устранение, а при необходимости – замену аппарата в минимальный срок.

Исходя из этих требований, наметились следующие направления развития:

- Повышение надежности (ресурса) ЭА до уровня и выше ресурса обслуживаемых машин, технологических установок (безремонтное обслуживание аппаратуры).
- Повышение ремонтоспособности систем управления максимальным облегчением замены быстро изнашиваемых частей аппаратов запасными или же быстрой заменой отказавшего аппарата.
- Конструкция ЭА в значительной мере определяется тем, какое из двух направлений принято за основное – является ли аппарат неремонтопригодным или ремонтпригодным.

Принцип неремонтопригодности при высоком качестве ЭА позволяет во многих случаях упростить их конструкцию, повысить технологичность изготовления и снизить эксплуатационные расходы. Даже сложные и дорогие аппараты (например, крупные контакторы) с регламентируемой заменой частей должны иметь ресурс, соответствующий сроку службы обслуживаемого устройства.

Независимо от того, изготавливаются ли аппараты ремонтпригодными или неремонтпригодными, желательно обеспечить их быстрый монтаж или демонтаж в комплектном устройстве управления: это требование удовлетворяется расширением применения аппаратов управления со штепсельным присоединением.

Для современного низковольтного электроаппаратостроения характерно уменьшение длительности выпуска отдельных серий аппаратов и их ускоренная замена новыми. Эта особенность связана как с быстрым повышением требований к низковольтной аппаратуре, так и с ускоренными разработками новых материалов, позволяющих применять новые, выгодные конструктивные и технологические решения, а также с развитием конкурирующих средств управления.

Ранее срок выпуска (от внедрения до снятия с производства) отдельных крупных серий аппаратов у ведущих зарубежных фирм в среднем составлял 10-15 лет. В настоящее время срок выпуска многих серий сложных аппаратов (контакторов, реле, автоматических выключателей) сократился до 7-10 лет. Если учесть, что сроки проектирования и полного внедрения новых серий (с испытаниями) занимают 3-7 лет, то практически после полного внедрения серий в производство необходимо тут же разрабатывать следующую перспективную серию, заменяющую предыдущую. По-видимому, только при таком условии можно поддерживать выпускаемую низковольтную аппаратуру на высоком современном техническом уровне и обеспечивать ее высокую конкурентоспособность на мировом рынке.

Для управления электродвигателями магнитные контакторы и пускатели сохраняют преимущественное распространение, потому что они в достаточной мере удовлетворяют всем требованиям общепромышленного применения (в особенности малой и средней мощностей).

Магнитные пускатели переменного и малые контакторы постоянного тока будут унифицированы, в частности, по габаритным и присоединительным размерам.

В системах управления на полупроводниковых элементах будут применяться магнитные трехполюсные контакторы (пускатели) на постоянном оперативном токе. Важнейшей задачей повышения технического уровня контакторов является существенное увеличение их электрической износостойкости. В связи с этим начинают применяться контакторы с бездуговой коммутацией, в частности для токов свыше 25 А с полупроводниковой приставкой.

В приводах малой мощности (до 10 кВт) контакторы с бездуговой коммутацией, по-видимому, существенного распространения не получат, так как дополнительные элементы схемы бездуговой коммутации значительно увеличивают габариты малых и средних контакторов и их стоимость. Экономия электроэнергии, достигаемая за счет бездуговой коммутации, на фоне постоянных потерь в комплектных устройствах управления и (тем более) на фоне потерь в электроприводах и в управляемых установках практического значения не имеет. Важным достоинством контакторов с бездуговой коммутацией (больших мощностей и тяжелых режимов работы) является экономия контактных материалов, уменьшение объема и регламентных сроков обслуживания.

В области малых контакторов самое широкое распространение получают конструкции, унифицированные с промежуточными реле.

Унификация реле и контакторов экономически эффективна для потребителей при монтаже и эксплуатации систем управления, а также для изготовителей электрической аппаратуры. В ближайшие годы следует ожидать выпуска унифицированных серий малых контакторов-реле. Расширится область применения в общепромышленном электроприводе в тяжелых режимах работы тиристорных контакторов. Они будут предложены для высокой частоты работы в категории применения А, где обычные электромагнитные контакторы быстро вырабатывают свой ресурс. Тиристорные контакторы будут преимущественно выпускаться на токи от 40 А и в относительно больших объемах на токи более 63 А. В облас-

ти малых токов (до 40 А) тиристорные контакторы, по-видимому, будут применяться только при требованиях самой высокой частоты работы и долговечности, так как с уменьшением номинальных токов преимущества тиристорных пускателей уменьшаются. Это обусловлено тем, что с уменьшением номинальных токов увеличиваются относительные размеры тиристорных пускателей, а у электромагнитных – увеличивается их электрическая и механическая износостойкость при снижении относительной стоимости.

В ближайшие годы появятся силовые герконы с коммутируемым током 10-25 А и напряжением 220 В постоянного и 380 В переменного тока [3].

Для удобной связи контактных элементов систем управления с полупроводниковыми возможно широкое применения реле на герконах. Эти реле найдут еще большую востребованность по мере уменьшения стоимости герконов.

При освоении герконов с коммутируемым током 1-2,5 А при напряжении до 220 В следует ожидать увеличения удельного веса реле на герконах в общем выпуске реле и разработки на базе герконов унифицированных серий реле по типу указанных выше промежуточных реле.

Решающее преимущество аппаратов на герконах заключается в их повышенной надежности, обусловленной практически отсутствием движущихся частей, кроме самих контактов, а также в их высокой технологичности. Аппараты на герконах справедливо заслуживают название полустатических: при достаточно большой надежности работы они в ряде случаев более выгодны для управления, чем аппараты на полупроводниковых элементах. Благодаря малым размерам контактов аппараты на герконах можно выполнить в единых модулях не только как традиционные реле с одним входом и несколькими выходами, но и как логические элементы управления с полупроводниковыми входами и контактными выходами.

В контактных системах управления наибольшее применение сохраняют универсальные электромагнитные реле управления переменного и постоянного тока. Преимущество этих реле заключается в возможности создания на единой унифицированной базе основных исполнений реле, необходимых для осуществления требуемых функций управления, а именно [1, 2]: реле промежуточные многоконтактные (до 12 контактов) нормального быстродействия со специализированными контактными группами для коммутации, как высоких уровней напряжения (60-220 В) и больших уровней тока (более 2 А), так и низких уровней напряжения (12-24 В) и малых токов (1-10 мА и более); реле промежуточные постоянного тока с замедлением срабатывания и возврата (до 0,1 с); реле промежуточные постоянного тока быстродействующие с временем срабатывания менее 0,01 с; реле тока и напряжения с заданными параметрами срабатывания и возврата; реле с уменьшенным и малым потреблением энергии (0,25-0,5 Вт); реле с памятью (с магнитной или механической защелкой); реле времени транзисторные (200 с).

Современные универсальные реле выполняются в едином размерном модуле или в кратном ему и в унифицированных по конструкции оболочках.

Современные системы управления с большим количеством реле будут неизбежно требовать быстрого нахождения отказавшего реле и его замены. Поэтому оболочки реле должны быть или полностью прозрачными, или с окном для осмотра контактов; в качестве основного исполнения корпуса (кожуха) должно приниматься исполнение со штепсельным разъемом, вилки корпуса реле должны допускать в случае необходимости пайку провода с задней стороны.

Существенного изменения сложившихся областей применения реле для тяжелых условий коммутации (реле-контакторов) на базе малых унифицированных контакторов переменного и постоянного тока не ожидается, и увеличение их выпуска будет соответствовать общему увеличению объемов производства. В объектах управления малой и средней сложности сильноточные реле, унифицированные с пускателями, могут оказаться целесообразнее универсальных реле, так как унификация их с пускателями весьма удобна для монтажа и эксплуатации. Реле для тяжелых условий коммутации (4-6 А)

будут выпускаться многоконтактными (4-12 контактов), как промежуточные, реле времени (с пневматической или транзисторной приставкой), с «памятью» (магнитной или с защелкой). Отличительной особенностью является унификация реле с питанием как от переменного, так и постоянного тока. В этих реле целесообразно создать конструкции, допускающие возможность перестройки замыкающих контактов в замыкающие и наоборот, что очень удобно потребителям при наладке мелкосерийного и вновь выпускаемого оборудования.

Будет продолжаться выпуск всех основных типов реле времени – моторных, транзисторных и пневматических, причем удельный вес пневматических реле времени в общем выпуске уменьшится вследствие увеличения выпуска транзисторных реле времени. Современные транзисторные реле могут выпускаться в таком же исполнении, как и пневматические реле времени. Габариты транзисторных реле времени, как правило, меньше габаритов пневматических реле при значительно большей точности и стабильности работы и большем количестве исполнений по виду командных сигналов.

Несмотря на кажущуюся сложность, стоимость ряда моторных реле времени не выше стоимости транзисторных реле, а точность их очень высока. В области моторных реле времени развиваются две основные конструкции: упрощенные малогабаритные однодиапазонные реле с малогабаритными асинхронными двигателями, с осевым перемещением малоинерционного ротора, обеспечивающего максимальное упрощение механизма и уменьшение стоимости реле (габариты этих реле соизмеримы с размерами транзисторных реле времени); в больших габаритах – более сложные многодиапазонные реле времени. Учитывая, что моторные реле времени, в особенности многодиапазонные, чаще всего применяются при небольшой частоте включений, не требующей высокой износостойкости, они еще долго и успешно будут применяться в промышленных установках.

В области командной аппаратуры – кнопок и переключателей управления – основное направление развития – повышение удобств использования в различных условиях эксплуатации и уровня безопасности и надежности, а также создание такой аппаратуры, которая обеспечит максимально широкую номенклатуру исполнений на базе сочетания немногих конструктивных унифицированных контактных элементов и приводов.

Серии кнопок будут максимально унифицированы со светосигнальной арматурой к присоединительным размерам. Для повышения надежности работы, по-видимому, начнут применяться кнопки с двойными резервированными контактами, в частности для коммутации цепей с низким уровнем напряжений и тока.

Совершенствование тяговых электромагнитов для управления различными механизмами произойдет постепенно с появлением все более совершенных материалов для магнитопроводов, амортизаторов для смягчения ударов при обратном ходе якоря, более совершенных катушек, обеспечивающих повышение износостойкости. В последнее время все более четко проявляется тенденция к широкому применению электромагнитов постоянного тока, имеющих повышенную надежность, и к применению защищенных и герметизированных исполнений.

Наряду с конструкциями специализированных тяговых электромагнитов все шире распространяются совмещенные конструкции электромагнитов, где последний органически связан с управляемым устройством. Так, все шире применяются электрогидроклапаны, электрогидравлические золотники и т.п.

Дальнейшее развитие и расширение областей применения получают различные командоаппараты. Основное распространение сохранят командоаппараты с механическим приводом от непрерывно вращающейся управляемой машины и шагового типа с электромеханическим приводом.

В выпуске аппаратов путевого контроля можно ожидать дальнейшее увеличение объемов производства путевых выключателей на полупроводниковых элементах при общем увеличении выпуска аппаратов путевого контроля. В настоящее время почти все ведущие зарубежные фирмы выпускают серии полупроводниковых путевых выключателей. Основная погрешность

этих выключателей составляет 0,01-0,2 мм при дополнительной погрешности  $\pm 0,5-1$  мм. Выключатели имеют выход либо на реле, либо на статические элементы управления, либо непосредственно на входы ЭВМ. Получат распространение путевые выключатели на герконах. Они в ряде случаев удобны для релейно-контакторных схем и могут использоваться для работы на полупроводниковые элементы управления.

Увеличивается число фирм, выпускающих реле для температурной защиты, ее универсальность способствует возможности применения независимо от режимов работы электродвигателей. Однако для конкуренции с тепловой защитой (при применении в наиболее распространенных продолжительных режимах работы двигателей) необходимо снизить стоимость устройства температурной защиты.

Трехполюсная тепловая защита будет развиваться в направлении совершенствования конструкций, обеспечивающих повышенную чувствительность реле при работе трехфазных электродвигателей в несимметричных режимах.

В этих же устройствах следует ожидать увеличения применения автоматических выключателей с непосредственным ручным управлением, объединяющих функции контактора, максимальной и тепловой защит. Эти автоматические выключатели будут иметь повышенную электрическую и механическую износостойкость. Наряду с ними получат распространение автоматы-пускатели с дистанционным выключением и отключением. Автоматы-пускатели, заменяя предохранители, контактор и тепловое реле, позволяют существенно уменьшить габариты устройств управления. Накопление опыта проектирования таких устройств позволит расширить область применения, в особенности в диапазоне малых мощностей (до 4-5 кВт).

Сохранятся лучшие выпускаемые конструкции автоматов для защиты электродвигателей. Появятся автоматы с комбинированной максимально токовой и температурной защитой, воздействующей на дистанционную катушку автомата.

Возможна дальнейшая специализация конструкций автоматов для разных областей применения: для защиты силовых электрических сетей; для защиты электродвигателей, и быстродействующих – для защиты полупроводниковых устройств. Опыт показывает, что создание автоматов, удовлетворяющих одновременно требованиям защиты электрических сетей и электродвигателей (тем более полупроводниковых устройств управления), сложно и не оправдывает себя с точки зрения эксплуатации.

## Выводы

1. Основным направлением развития низковольтных ЭА будет переход от применения отдельных аппаратов к системам аппаратов, унифицированных по способу монтажа, выполняемых в стандартных модулях и соответствующим всем функциональным требованиям систем управления.

2. Для обеспечения взаимозаменяемости в условиях эксплуатации существенно повысится уровень стандартизации и нормализации ЭА в международном масштабе. Для максимального удовлетворения требований потребителей по созданию различных исполнений ЭА для разнообразных условий применения и в целях обеспечения массового производства необходима унификация конструктивных элементов ЭА.

3. Увеличится объем производства комплектных устройств управления и применения бесконтактных логических систем управления и специализированных ЭВМ для целей управления.

4. Возрастет удельный вес релейно-контакторной аппаратуры постоянного тока, выполняющей различные функции управления. Значительно повысится уровень безопасности обслуживания аппаратуры низкого напряжения благодаря применению пониженных напряжений (24 В постоянного тока, 110 В переменного тока), устройств сигнализации наличия напряжения.

5. Увеличатся удельный вес и применение комбинированных аппаратов управления и защиты, а также аппаратов для набора и автоматизации рабочих циклов машин: различных командоаппаратов, аппаратов путевого контроля, реле счета импульсов и т.п.

6. Будут созданы отрасли по массовому производству электромонтажных изделий и электрических соединений.

7. Увеличится выпуск вакуумных контактных аппаратов.

Создание низковольтных электрических аппаратов, удовлетворяющих требованиям надежности, живучести и безопасности в тяжелых условиях эксплуатации (например, в горнорудной промышленности)? будет продиктовано необходимостью разработки устройств с улучшенными физическими свойствами, связанных с электромеханическими взаимодействиями основных узлов и деталей аппаратов, а также с движением и гашением дуги.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аполлонский С.М. Физические процессы в электрических аппаратах. Т.1. Тепловые и электромеханические процессы в электрических аппаратах / С.М.Аполлонский, Ю.В.Куклев. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2012. 678 с.
2. Аполлонский С.М. Физические процессы в электрических аппаратах. Т.2. Дугогасительные устройства и проблемы совместимости электрических аппаратов / С.М.Аполлонский, Ю.В.Куклев // Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2012. 476 с.
3. Аполлонский С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов / С.М.Аполлонский, Ю.В.Куклев. СПб.: Изд-во «Лань», 2011. 448 с.
4. Кобленц М.Г. Герметичные коммутирующие устройства на силовых герконах. М.: Энергоатомиздат, 1986. 175 с.
5. Маркус Дж. Применение электронной автоматики. М.: Изд-во Иностранной литературы. 1962. С.325-330.
6. Рогачев Э.Б. Общие тенденции развития современной низковольтной аппаратуры управления промышленного назначения // Аппараты низкого напряжения. Вып. 8(27). С. 12-19.

#### REFERENCES

1. Apollonskii S.M., Kuklev Yu.V. Fizicheskie protsessy v elektricheskikh apparatakh (*Physical processes in electric machines*). Vol.1. Teplovye i elektromekhanicheskie protsessy v elektricheskikh apparatakh. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2012, p.678.
2. Apollonskii S.M., Kuklev Yu.V. Fizicheskie protsessy v elektricheskikh apparatakh (*Physical processes in electric apparatus*). Vol.2. Dugogasitel'nye ustroystva i problemy sovmestimosti elektricheskikh apparatov. Saarbrucken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2012, p.476.
3. Apollonskii S.M., Kuklev Yu.V. Nadezhnost' i effektivnost' elektricheskikh apparatov (*Reliability and efficiency of electric vehicles*). St Petersburg: Izd-vo «Lan'», 2011, p.448.
4. Koblents M.G. Germetichnye kommutiruyushchie ustroystva na silovykh gerkonakh (*Sealed switching devices on power reed switches*). Moscow: Energoatomizdat, 1986. p.175.
5. Markus Dzh. Primenenie elektronnoi avtomatiki (*The use of electronic automation*). M.: Izd-vo Inostrannoi literatury. Moscow: 1962, p.325-330.
6. Rogachev E.B. Obshchie tendentsii razvitiya sovremennoi nizkovol'tnoi apparatury upravleniya promyshlennogo naznacheniya (*General trends in the development of modern low-voltage control equipment for industrial use*). Apparaty nizkogo napryazheniya. Iss. 8(27), p.12-19.

---

---

#### LOW-VOLTAGE ELECTRICAL APPARATUS

**S.M.APOLLONSKIY**, *Dr. of Engineering Sciences, Professor, smapollon@yahoo.com*  
*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Russia*

**YU.V.KUKLEV**, *PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, smapollon@yahoo.com*  
*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Russia*

The article describes the main trends in the development of low-voltage electrical appliances and related accessories, as well as issues of efficiency, reliability and safety. According to the authors, the main trends in the development of low-voltage apparatus can be considered: the transition from the use of certain devices to the system devices, unified by the process of instal-

lation and running in standard modules and comply with all the functional requirements of control systems; improving the standardization and normalization of the EA on an international scale; unification of constructive elements of the EA; increase the volume of production of complete device management and contactless application logic control systems and specialized computers for management purposes; increase the proportion of contactor relay equipment DC, performs a variety of control functions. Improved security service low voltage, through the use of low voltage (24 V DC, 110 V AC), voltage presence signaling devices; increase the proportion of and the use of combined control and protection devices as well as devices for the automation of recruitment and duty cycles of machines: differentsequencer, track control devices, relays, pulse counting, and so on. n.

**Key words:** low-voltage electrical apparatus, team equipment, rated machines, selective machines, electro-automatic, reed, relay time.