

**К.А. НАБАТОВ, В.В. АФОНИН**

**ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВАКУУМНЫЕ  
ВЫКЛЮЧАТЕЛИ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
УСТРОЙСТВ**

Тамбов  
◆ Издательство ГОУ ВПО ТГТУ ◆  
2010

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

**К.А. НАБАТОВ, В.В. АФОНИН**

**ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВАКУУМНЫЕ  
ВЫКЛЮЧАТЕЛИ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
УСТРОЙСТВ**

Утверждено Учёным советом университета  
в качестве учебного пособия для студентов специальности 140211  
«Электроснабжение» всех форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ГОУ ВПО ТГТУ  
2010

УДК 629.4.082.3  
ББК 3264я73-5  
Н133

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор ГОУ ВПО ТГТУ  
*В.Н. Чернышов*

Кандидат технических наук,  
руководитель группы ТО отдела АСУ ОАО «Пигмент»  
*А.В. Старущенко*

**Набатов, К.А.**

Н133      Высоковольтные      вакуумные      выключатели  
распределительных устройств : учебное пособие / К.А. Набатов,  
В.В. Афонин. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с. – 75  
экз.  
ISBN 978-5-8265-0961-6.

Приведены основные сведения о современных вакуумных коммутационных электрических аппаратах, находящих всё более широкое применение в электротехническом оборудовании распределительных устройств. Для этого были использованы материалы, опубликованные в научно-технических журналах и справочниках, а также техническая информационная документация предприятий-изготовителей.

Предназначено для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» при изучении дисциплины «Силовые коммутационные аппараты» всех форм обучения.

УДК 629.4.082.3

ББК 3264я73-5

**ISBN 978-5-8265-0961-6**

© Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический  
университет» (ГОУ ВПО ТГТУ), 2010

Учебное издание

НАБАТОВ Константин Александрович,  
АФОНИН Владимир Васильевич

# ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Учебное пособие

Редактор Л.В. Комбарова  
Инженер по компьютерному макетированию И.В. Евсева

Подписано в печать 08.04.2010  
Формат 60 × 84 /16. 5,58 усл. печ. л. Тираж 75 экз. Заказ № 211

Издательско-полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время состояние распределительных устройств (РУ) требует замены устаревшего морально и физически оборудования на современное. Мировая тенденция развития электротехнического оборудования такова, что ранее широко распространённые масляные и маломасляные выключатели на напряжение 6 ... 35 кВ повсеместно заменяются на вакуумные выключатели, а на смену масляным и воздушным класса 35 кВ и выше приходят элегазовые выключатели и комплектные РУ с элегазовой изоляцией (КРУЭ). Уже в 1990 г. по зарубежным данным [1] соотношение между различными типами выключателей, установленных в сетях и электроустановках до 36 кВ, составляло в %: масляные – 3, маломасляные – 12, электромагнитные – 5, вакуумные – 65, элегазовые – 15.

Как известно, основным коммутационным аппаратом в электрических установках, служащим для включения и отключения электрических цепей высокого напряжения в нормальных и аварийных режимах является выключатель. Наиболее тяжёлая и ответственная операция, выполняемая им – это отключение токов короткого замыкания. При этом выключатель должен удовлетворять ряду основных требований [2,3]:

- надёжное отключение токов любого значения – от десятков ампер до номинального тока отключения;
- быстрдействие, т.е. наименьшее время отключения;
- пригодность для автоматического повторного включения, быстрое включение выключателя сразу же после отключения;
- удобство ревизии и обслуживания;
- взрыво- и пожаробезопасность.

Достоинства и недостатки различных типов выключателей определяются прежде всего типом дугогасящего устройства (ДУ).

В масляных выключателях гашение дуги происходит за счёт интенсивного её охлаждения в потоках газообразных продуктов разложения масла. ДУ выполнено в виде камер с продольным или поперечным дутьём в масле. Так, например, выключатели класса 10 кВ нашли широкое применение в шкафах КРУ, причём подвесные выключатели имеют максимальный номинальный ток 3150 А и номинальный ток отключения 31,5 кА (ВМПЭ-10), опорные – соответственно – 5000 А и 63 кА (МГТ-10); колонковые – 1600 А и 31,5 кА (ВК-10, ВКЭ-10) при напряжении до 10 кВ. Разработаны колонковые выключатели на номинальный ток 3150 А.

В электромагнитных выключателях электрическая дуга перемещается поперечным магнитным полем и гасится за счёт охлаждения в узких щелях дугогасительной камеры с системой магнитного дутья. Электромагнитные выключатели имеют максимальный номинальный ток 3150 А и номинальный ток отключения 40 кА (ВЭМ-6 и ВЭ-6) при 6 кВ и соответственно 3150 А и 31,5 кА (ВЭ-10) при 10 кВ.

В вакуумных выключателях (ВКВ) гашение электрической дуги происходит за счёт её распада в вакууме дугогасительной камеры при простом размыкании главных контактов. Большинство ВКВ имеют максимальный номинальный ток 1600 А и номинальный ток отключения 20 кА при напряжении до 10 кВ (ВВЭ-10).

В элегазовых выключателях, как входящих в состав КРУЭ (комплектные распределительные герметичные устройства элегазовые), так и отдельно стоящего исполнения, гашение электрической дуги происходит в среде элегаза – шестифтористой серы, обладающей высокой электрической прочностью и дугогасящей способностью, что позволяет значительно снизить габариты оборудования [4].

Широкое применение указанные типы выключателей нашли в шкафах КРУ. Большая часть конструкций КРУ на наиболее распространённые для всех отраслей технические параметры – напряжение до 10 кВ, номинальные токи до 1600 А, токи отключения 20 кА – может быть с маломасляным, электромагнитным или вакуумным выключателем. Хотя и разработаны элегазовые выключатели на 6 ... 10 кВ и 35 кВ, наиболее эффективно их применение в диапазоне 110 ... 220 кВ и выше.

В зависимости от вида используемого выключателя конструкция КРУ имеет свои преимущества и недостатки [5, 6].

Преимущества КРУ с маломасляными выключателями: самая низкая стоимость, простота конструкции, небольшое количество масла, относительно малая масса, возможность применения для внутренней и наружной установок. Недостатки: взрыво- и пожароопасность, трудность осуществления подогрева, контроля, доливки, замены масла, непригодность для работы с частыми коммутациями, большой износ дугогасительных контактов, сложность при осуществлении многократных АПВ.

Преимущества КРУ с электромагнитным выключателем: взрыво- и пожаробезопасность, малый износ дугогасительных контактов и рабочих элементов дугогасителя, работа в условиях частых отключений, высокая отключающая способность. Недостатки: сложная конструкция дугогасительного устройства с системой магнитного дутья, ограниченный верхний предел номинального напряжения, ограниченная пригодность для наружной установки.

Преимущества КРУ с вакуумными выключателями [6, 7]: полная взрыво- и пожаробезопасность, возможность осуществления сверхбыстрдействия и применения в любых циклах АПВ, малая масса, малые габариты, простота в эксплуатации. Недостатки: относительно ограниченный верхний предел значения отключаемого тока, возможные коммутационные перенапряжения при отключении малых индуктивных токов, отключение ограниченного ёмкостного тока батареи конденсаторов, относительно высокая стоимость.

При проектировании электрических сетей, систем электроснабжения промышленных предприятий неизбежен ответ на вопрос – какое оборудование необходимо установить, например, на соответствующих понизительных подстанциях.

Поэтому в настоящем пособии обобщены имеющиеся материалы по вакуумным выключателям. Для этого использованы справочники, журнальные статьи, техническая и информационная документация ведущих организаций-разработчиков и изготовителей вакуумных дугогасительных камер и на их основе вакуумных выключателей. Приведены технические характеристики и параметры продукции таких фирм, как ОАО «Электрокомплекс» («ЭЛКО», г. Минусинск), ГНПП «Контакт» (г. Саратов), НПП «Таврида Электрик» (г. Москва), а также вакуумных выключателей зарубежного производства.

В то же время в настоящей работе не делается вывод о том, кому из производителей следует отдать предпочтение при выборе выключателя на заданные параметры. Такой выбор должен сделать сам разработчик, учитывая конкретные условия установки, параметры сети и т.д.

## 1. ВАКУУМНЫЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

### 1.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ В ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Вакуум является идеальной изоляционной средой, так как вероятность ионизации молекул газа путём соударения с ними электронов чрезвычайно мала. Однако опыт показывает [8], что при достаточно большой напряжённости электрического поля  $10 \dots 10^3$  В/см даже в самом совершенном техническом вакууме появляется электрический ток, который быстро возрастает при дальнейшем увеличении напряжённости поля вплоть до пробоя.

При весьма малых расстояниях между электродами (доли миллиметра) разряд в вакууме происходит вследствие автоэлектронной эмиссии с поверхности катода. Разогревание поверхности электродов вследствие прохождения тока автоэлектронной эмиссии приводит к их испарению, в результате чего происходит пробой изоляционного промежутка в парах металла.

При увеличении длины разрядного промежутка разрядная напряжённость быстро уменьшается (рис. 1.1) вследствие так называемого эффекта полного напряжения. Накапливая энергию, измеряемую сотнями тысяч электрон-вольт, электроны при торможении у поверхности анода излучают фотоны с большой энергией. Эти фотоны, достигая катода, освобождают новые электроны. В результате число участвующих в разряде электронов быстро увеличивается, что в итоге приводит к образованию искры.

При  $p < 0,01$  Па разрядные напряжения практически не зависят от давления газа. При  $p > 0,1-1$  Па разрядные напряжения быстро уменьшаются (рис. 1.2), причём пороговое давление быстро уменьшается при увеличении длины разрядного промежутка ( $l - l = 2$  мм;  $2 - l = 3$  мм; однородное поле; электроды из бескислородной меди). При повторных пробоях вакуумного промежутка разрядное напряжение возрастает вследствие так называемого эффекта тренировки электродов так же, как и для сжатых газов. Рост разрядных напряжений происходит до 10 – 100 разрядов. При этом разрядное напряжение увеличивается почти вдвое по сравнению с первым разрядом. Тренированное состояние электродов достигается также при длительном прохождении через промежуток небольшого предразрядного тока, а также при нагреве электродов в вакууме до высокой температуры.

Материал электродов существенно влияет на величину разрядных напряжений изоляционных промежутков в вакууме. По степени понижения разрядных напряжений материалы можно расположить в такой последовательности: вольфрам, молибден, тантал, нержавеющая сталь, железо, никель, алюминий, медь, свинец, углерод. Разрядные напряжения вакуумного промежутка длиной 1 мм с тренированными электродами из нержавеющей стали в три раза больше, чем при алюминиевых или медных электродах. При увеличении площади электродов разрядные напряжения понижаются.

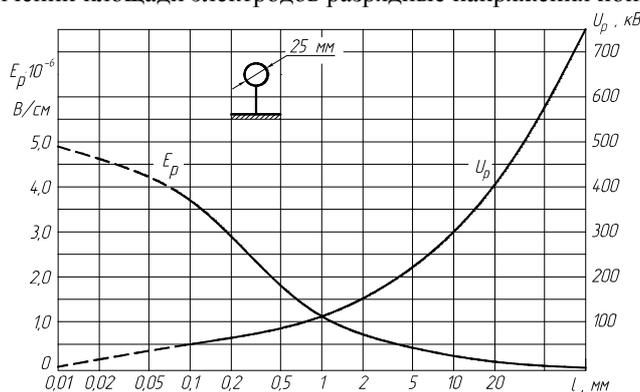


Рис. 1.1

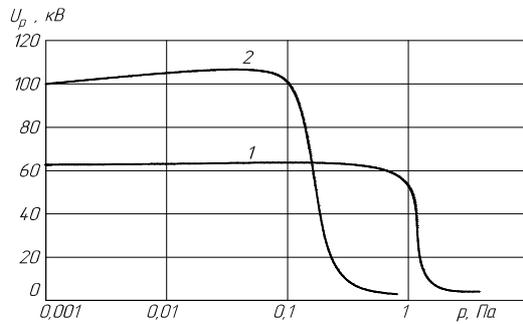


Рис. 1.2

В дугогасительных устройствах вакуумных выключателей абсолютное давление находится в диапазоне  $10^{-10} \dots 10^{-3}$  Па. Горение и гашение электрической дуги в вакууме имеет некоторые особенности. При расхождении контактов ВДК в начальный момент между ними образуется мостик из расплавленного металла, который нагревается проходящим током до температуры кипения и испаряется. Ионизация электронами паров металла, которые генерируют с поверхности электродов, приводит к образованию вакуумной дуги. При прохождении тока через нуль дуга гаснет, и если нарастание электрической прочности промежутка между контактами происходит быстрее восстановления на нём напряжения, то повторного зажигания дуги не произойдёт. Чрезвычайно интенсивная деионизация дугового промежутка обеспечивает быстрое восстановление электрической прочности в ВДК после погасания дуги. Для сравнения на рис. 1.3 приводятся зависимости восстановления электрической прочности промежутка от времени, прошедшего после нуля тока, для вакуума и основных дугогасящих сред (1 – вакуум, 2 – элегаз, 3 – азот, 4 – водород).

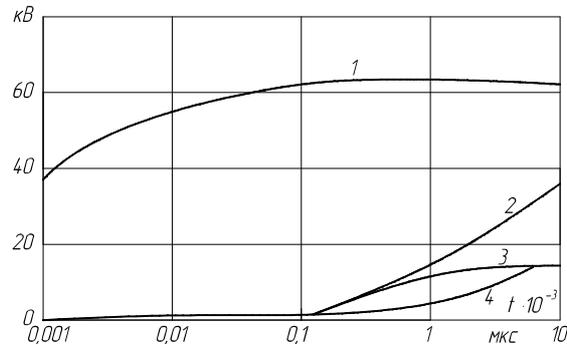


Рис. 1.3

В вакууме электрическая дуга существует либо в виде рассеянной, «диффузной», дуги при токах до нескольких тысяч ампер, либо в виде концентрированной, «сжатой», дуги при больших значениях тока. Граничный ток, при котором дуга переходит из одного вида в другой, зависит в значительной степени от материала и формы контактов, а также от скорости изменения тока. Эти же факторы влияют и на скорость восстановления электрической прочности промежутка между контактами в вакууме. Следовательно, подбирая соответствующим образом материал контактов, их оптимальную форму и ход, можно получить вакуумную дугогасительную камеру на различные параметры.

Диффузная дуга имеет значительно меньшую постоянную времени по сравнению с постоянной времени сжатой дуги, которая может достигать сотен микросекунд и даже нескольких миллисекунд. Вследствие того, что в вакууме гашение диффузной дуги осуществить значительно легче, чем сжатой дуги, при разработке вакуумных дугогасительных устройств необходимо так конструировать контакты, чтобы дуга на протяжении определённого времени до нуля тока была диффузной.

## 1.2. ВАКУУМНЫЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Длина дуги в вакуумных выключателях значительно меньше, чем в масляных и воздушных, что позволяет существенно снизить габариты дугогасительной камеры. Вакуумные дугогасительные (ВДК) элементы (рис. 1.4): 1 – изоляционного комплекса; 2 – контактов; 3 – сильфона.

обеспечивает поддержание давления внутри всего срока службы и необходимую и внутренней поверхностям. Давление благодаря использованию вакуум-плотных также соответствующей механической прочности

Длина дуги в вакуумных выключателях значительно меньше, чем в масляных и воздушных, что позволяет существенно снизить габариты дугогасительной камеры. Вакуумные дугогасительные (ВДК) элементы (рис. 1.4): 1 – изоляционного комплекса; 2 – контактов; 3 – сильфона.

Изоляционный корпус камеры на уровне  $10^{-5}$  Па в течение электрическую прочность по наружной поддерживается на требуемом уровне изоляторов и металлических фланцев, а корпуса и элементов крепления.

Основные функции токоведущей обеспечение длительного протекания тока короткого замыкания;

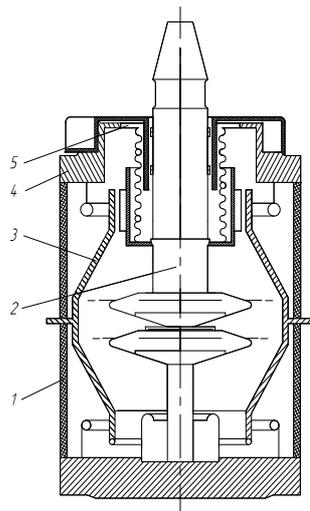


Рис. 1.4

системы такие же, как и в любом выключателе: номинального тока и кратковременного (до 3 с) – работоспособности контактов после

работоспособности контактов после

работоспособности контактов после

электродугового их размыкания; передача и восприятие усилий от привода при включении и отключении. Поэтому основные расчёты при конструировании контактных систем связаны с оценкой их электрического сопротивления, механической прочности и температуры токоведущего контура. Кроме того, в разомкнутом состоянии межконтактный промежуток должен обеспечивать необходимую электрическую прочность для исключения пробоев при воздействии перенапряжений.

Система экранов обеспечивает: защиту внутренней поверхности изоляционного корпуса от попадания продуктов эрозии контактов под воздействием дуги отключения, выравнивание распределения напряжённости поля внутри дугогасительной камеры.

При размыкании контактов внутри вакуумной дугогасительной камеры дуга возникает в парах металла, заполняющего межконтактный промежуток. Дуга горит до тех пор, пока на контактах выделяется энергия, достаточная для поддержания в межконтактном промежутке концентрации паров металла, при которой может существовать дуговой разряд. При переходе тока через нуль, выделяющаяся на электродах энергия резко уменьшается, и дуга гаснет ещё до достижения тока в коммутируемой цепи, равного нулю. Скорость восстановления электрической прочности межконтактных промежутков длиной 10 мм составляет 15 ... 20 кВ/мкс. В результате происходит срез тока, который вызывает перенапряжения в коммутируемой цепи. Это обстоятельство является существенным недостатком вакуумных выключателей, но его можно устранить установкой нелинейных ограничителей перенапряжений.

В межконтактном промежутке вакуумного выключателя в зависимости от тока и принятых конструктивных мер дуга может поддерживаться в диффузной или сжатой (каналообразной) форме. Граничный ток, при котором дуга переходит из одной формы в другую (около 10 кА), зависит от формы, размера и материала контактов, а также от скорости изменения тока.

Падение напряжения на дуге диффузной формы не зависит от тока и составляет десятки вольт (для медных электродов – 20 В). Оно пропорционально произведению теплопроводности и температуры точки кипения материала катода.

Для сжатой формы дуги падение напряжения увеличивается при увеличении тока. При этом возрастает плотность тока и выделяемая на электродах энергия, что приводит к значительному увеличению постоянной времени распада дуги (до нескольких миллисекунд против микросекунд для диффузной формы дуги). В связи с этим необходимо, чтобы в процессе отключения при переходе тока к нулю дуга сохраняла диффузную форму.

Электрическая прочность изоляционного промежутка в вакууме чрезвычайно высока, поскольку практически исключено лавинообразное нарастание количества заряженных частиц при их ударной ионизации из-за весьма низкой плотности газа (рис. 1.5), как видно, в однородном поле уже при длине промежутка  $l_k = 10$  мм разрядное напряжение превышает 200 кВ. Поэтому длина корпуса дугогасительной камеры (или изоляционной её части) определяется необходимой электрической прочностью воздушного промежутка между фланцами корпуса и поверхностью корпуса при увлажнении. Для вакуумных выключателей наружной установки необходимая электрическая прочность при увлажнении загрязнённых поверхностей обеспечивается выбором длины пути тока утечки. При этом следует иметь в виду, что изоляционный корпус разомкнутого выключателя может оказаться под воздействием двойного рабочего напряжения (если напряжения на контактах оказываются в противофазах).

Длина воздушного промежутка между фланцами (без учёта длины металлической части корпуса при его наличии) определяется, исходя из требования надёжной работы при расчётных воздействиях перенапряжений на один из контактов и рабочего напряжения – на другой контакт.

При известном разрядном напряжении необходимая длина воздушного промежутка определяется по экспериментальным зависимостям разрядных напряжений от длины изоляционного промежутка или приближённо, исходя из средней разрядной напряжённости  $E_{ср.р} = 500$  кВ/м (при длине промежутков до 0,5 м).

Следует заметить, что из-за наличия экранов вблизи внутренней поверхности изоляционного корпуса импульсное разрядное напряжение снижается, что приводит к необходимости значительного увеличения длины изоляционного корпуса. На корпус дугогасительной камеры воздействует атмосферное давление (сжимающие усилия). При увеличении диаметра корпуса давление на него пропорционально нарастает. Для уменьшения толщины стенки корпуса его диаметр принимается минимально допустимым, исходя из условий обеспечения надёжной работы аппарата. При этом минимальный диаметр корпуса определяется из условия ограничения влияния экранов на электрическую прочность межконтактного промежутка. На основании экспериментальных исследований установлено, что расстояние от контактов до экранов принимается приблизительно равным тройной длине межконтактного промежутка. При этом влияние экранов на электрическую прочность промежутка достаточно мало.

Перед сборкой вакуумной дугогасительной камеры её элементы подвергаются предварительному нагреву в течение нескольких часов при температуре 400°C или выше с целью удаления газа с поверхности различных частей, расположенных внутри вакуумного объёма.

Герметизация подвижного контакта ВДК осуществляется с помощью сальфонов. Сальфоны почти всегда изготавливаются из нержавеющей стали. Имеются две разновидности сальфонов. Одна выполняется с плавным закруглённым профилем на сгибах, получаемом либо раскатыванием на станке, либо формованием с помощью гидравлического пресса. Другая разновидность сальфонов выполняется с V-образным профилем сгибов; эти сальфоны выполняются из набора плоских шайб, свариваемых между собой попеременно то по внутреннему, то по наружному диаметру. Выбор того или иного типа сильно зависит от ряда причин, и отдать предпочтение какому-либо одному из них непросто. Но когда требуется сальфон большого диаметра с большим ходом, сварные сальфоны позволяют значительно сэкономить место.

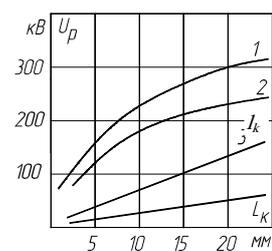


Рис. 1.5

### 1.3. ТОКОВЕДУЩИЕ И КОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенностью работы токоведущей системы вакуумного выключателя является чрезвычайно низкая теплопередача через объём камеры к её стенкам – практически только в результате теплового излучения, поскольку передача теплоты конвекцией отсутствует. Поэтому теплоотвод за пределы камеры происходит в основном через токоведущие стрижни неподвижного и подвижного контактов. Это обстоятельство определяет необходимость увеличения площади поперечного сечения стержней по сравнению с требуемой для пропускания рабочего тока.

В вакуумных выключателях дуга горит в парах металла, вследствие чего на её характеристики значительно влияют свойства контактного материала. Тугоплавкие контактные материалы (типа вольфрама) обладают высокой дугостойкостью, однако имеют большой ток среза, вследствие чего возникают перенапряжения. Для уменьшения тока среза разработаны специальные композиции, не образующие твёрдых растворов с основными компонентами. Методы порошковой металлургии с использованием вакуумной технологии позволяют создать композиции с заранее заданными характеристиками.

К материалу контактов вакуумных выключателей предъявляются следующие требования:

- температура кипения всех компонентов композиционного материала должна быть  $T_{\text{кип}} < 3500 \text{ К}$  (для обеспечения высокой отключающей способности);
- твёрдость по Бринеллю должна быть не менее 1000 МПа, и не должна образовываться микроострия (для обеспечения высокой электрической прочности межконтактного промежутка);
- материал должен содержать определённое количество такого компонента с высокой электрической проводимостью, который не образует с другими компонентами растворов и химических соединений (для обеспечения низкого переходного сопротивления);
- материал должен содержать хрупкие компоненты, снижающие прочность сварного соединения (для обеспечения высокой стойкости к свариванию);
- материал (для обеспечения высокой эрозионной стойкости) должен состоять из компонентов, у которых коэффициенты аккумуляции теплоты

$$k_a = \sqrt{\lambda_m c_m \gamma_m},$$

различаются не менее чем в два раза;

- в контактный материал (для обеспечения низкого тока среза) должен входить компонент, не взаимодействующий с другими компонентами и имеющий низкое значение критерия срезающей способности  $T_{\text{кип}} k_a$ .

Контакты ВДК большую часть времени находятся в замкнутом состоянии, и при этом их чистые и неокислённые поверхности весьма склонны к холодной сварке. Сварка может произойти и при искровом пробое в момент замыкания, когда контакты сближаются. Эта проблема решается путём добавки небольшого количества примесей в материал контакта.

Для уменьшения тока среза следует ввести в материал контактов легколетучие добавки, не образующие твёрдых растворов с основными компонентами. На рисунке 1.6 приведены зависимости тока среза от отключаемого тока для различных материалов. Анализ этих зависимостей показывает, что хороший эффект снижения тока среза даёт добавка сурьмы (в пределах 2 ... 5%). Средний ток среза (в амперах) для некоторых материалов, используемых в вакуумных аппаратах:

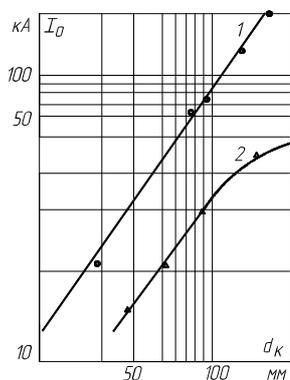


Рис. 1.6

Вольфрам.....	9,9	Железо.....	4,4
Медь.....	9,4	Медь-висмут.....	3,8
Медь-сурьма.....	6,2	Вольфрам-медь-сурьма.....	2,2
Вольфрам-медь.....	5,0	Железо-медь-сурьма.....	1,3

Наибольшее применение в качестве контактных материалов в ВДК нашли медно-висмутовые, медно-хромовые и медно-бериллиевые сплавы.

Для повышения отключающей способности применяются специальные конструктивные меры, обеспечивающие непрерывное перемещение дуги под действием магнитного поля, создаваемого отключаемым током (рис. 1.7).

В ВДК на номинальное напряжение 10 кВ и номинальные токи до 31,5 кА применяются контакты с поперечным (по отношению к дуге) магнитным полем (рис. 1.7, а) с максимальной магнитной индукцией (1 ... 1,5)·10 Тл. В результате быстрого перемещения дуги повышается эффективность дугогашения и ресурс контактов. В ВДК на более высокие напряжения и токи отключения применяют контакты с продольным магнитным полем (рис. 1.7, б).

Из рисунка 1.6 видно, что при продольном магнитном дутье отключаемые токи повышаются до 100 кА и более (кривая 1), в то время как при поперечном магнитном дутье отключаемые токи не превышают 50 кА (кривая 2).

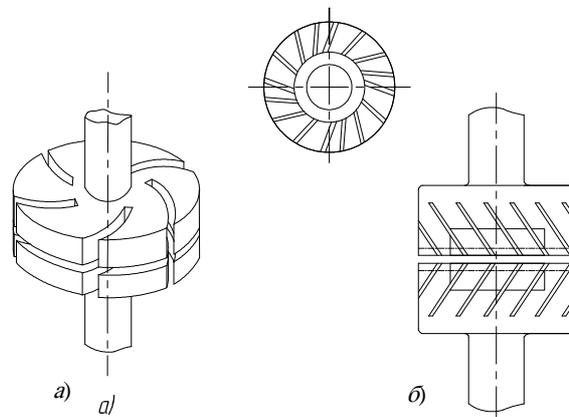


Рис. 1.7

Наиболее широкое распространение получили две разновидности контактов: контактная система типа «спиральный лепесток», вынуждавшая сжатую дугу безостановочно вращаться по поверхности электродов, и контактная система чашеобразного типа, которая вообще препятствовала образованию сжатой локализованной дуги, остающейся благодаря этому на протяжении всего процесса дугогашения в диффузном состоянии.

**Контакты типа «спиральный лепесток».** Принципиальное конструктивное решение контактов этого типа показано на рис. 1.7, а. Контакты имеют дисковую форму с малым конусом со стороны контактной поверхности либо с кольцевым выступом. Посредством этих выступов осуществляется соприкосновение контактов во включённом положении, и как раз через них и протекает ток нагрузки.

Своими периферийными участками спиральные контакты даже в замкнутом состоянии не соприкасаются. Сквозными спиралеобразными прорезями эти периферийные участки разрезаны на несколько лепестков, соединённых с остальным контактом только в его центральной части. В каждой контактной паре направление спиралеобразных прорезей совпадает, как это видно из рис. 1.7, а.

Работа этих контактов происходит следующим образом: если отключаемый выключателем ток относительно невелик, так что образующаяся дуга может находиться в диффузном состоянии, то размыкание контактов ведёт к установлению обычного процесса отключения, связанного со стягиванием линий тока к одной или нескольким контактным площадкам, размыкающимся последними. Одновременно происходит формирование в промежутке между расходящимися контактами токопроводящих мостиков из расплавленного металла, сопровождающееся затем их разрывом и образованием там электрической дуги, наподобие того, как это имеет место и в обычных коммутирующих контактах. Возникшая между контактами дуга затем быстро трансформируется в диффузную дугу с несколькими одновременно функционирующими катодными пятнами, перемещающимися беспорядочно по поверхности контактов. Некоторые из этих пятен в процессе своего движения доходят до края контактной поверхности и, зайдя за него, гаснут, а другие, продолжающие ещё гореть, наоборот, расщепляются надвое, так что суммарное число эмитирующих пятен остаётся пропорциональным току, протекающему в данный момент через выключатель. Катодные пятна стремятся распространиться по поверхности катодного диска, занимая либо всю её, либо, по крайней мере, значительную её часть.

Совсем по-другому протекает отключение при больших токах, когда дуга в вакууме существует уже в сжатом виде. После разрыва одного или нескольких мостиков из расплавленного металла в промежутке образуется одноканальная дуга в сжатом виде. Отдельные катодные пятна, отталкиваясь друг от друга, всё время покидают зону дуги, но выйдя за неё, немедленно гаснут, поскольку связанный с ними плазменный столб под действием магнитных сил притягивается назад, к центральному столбу дуги. Поскольку соприкосновение контактов во включённом положении происходит не в их геометрическом центре, а по кольцевому выступу, то после их размыкания и образования одностольной дуги создаётся петлеобразный контур тока, в результате чего на неё будут действовать электродинамические силы, направленные радикально от оси контактов в сторону, под действием которых дуга будет стремиться выйти за контактный выступ, смещаясь к краю контактных дисков и выгибаясь наружу, точно так же, как она ведёт себя, когда доходит до периферийной зоны линейных контактов. Но в данном случае из-за наличия спиралеобразных прорезей в промежутке между контактами возникает радиальное магнитное поле, в результате чего на дугу, помимо центробежных, будут действовать тангенциальные усилия, стремящиеся переместить её по окружности в направлении изгиба спиральных прорезей.

Эффективность вращения дуги по поверхности таких контактов зависит от кривизны спирали, причём чем больше кривизна спирали, тем выше эффективность работы таких контактов.

Как и в других аппаратах, горящая на контактах вакуумной камеры сжатая дуга вызывает интенсивный локальный нагрев электродов в окрестности её опорных точек. Но теперь уже дуга не остаётся в неподвижном состоянии сколько-нибудь длительное время в каком-то одном месте, а непрерывно перемещается по поверхности контактов, и поэтому тепло от неё не успевает проникнуть достаточно глубоко в металл. Вследствие этого постоянная времени охлаждения зоны контакта, у которой сильно нагретым оказывается лишь её поверхностный слой, составляет обычно несколько сотен микросекунд. Таким образом, к моменту, когда ток дуги приближается к нулю, сжатая одноканальная дуга трансформируется в свою диффузную модификацию. Практически этот переход одной разновидности в другую

совершается, когда мгновенное значение тока составляет несколько килоампер, что при отключении токов короткого замыкания происходит за 400 ... 500 мкс до нуля тока в зависимости от параметров цепи коммутации и содержания апериодической составляющей. Это время оказывается достаточным для того, чтобы сильно нагретый дугой поверхностный слой контактов успел охладиться до температуры, при которой давление паров металла в дуговом промежутке достаточно мало, что приводит к формированию окончательной стадии отключения дуги в диффузном состоянии.

За время, прошедшее с момента изобретения спиральных лепестковых контактов, было предложено множество их модификаций, отличающихся по конструктивному исполнению. В некоторых случаях соприкосновение контактов во включённом положении происходит в центре, а в других – по кольцевому выступу, диаметр которого выбирается равным примерно трети внешнего диаметра контакта, так что радиально направленные усилия от образующегося, благодаря выступам, контура тока появляются сразу же после размыкания контактов и возникновения между ними дуги. Вместе с тем пока что мало доказательств того, что подобного рода усовершенствования действительно оказывают существенное влияние на характер отключения дугогасительного устройства, что, по-видимому, объясняется в большинстве случаев наличием довольно сильных внешних магнитных полей, заметно искажающих магнитное поле в межконтактном промежутке и способствующих образованию радиальных усилий, стремящихся сместить дугу из центральной зоны контактирования в периферийную область спиралеобразных лепестков.

**Чашеобразные контакты.** Это ещё одна разновидность контактных систем, применяющихся в вакуумных выключателях (рис. 1.7, б). Здесь контакты выполнены в виде чаши с толстыми стенками, прикреплённой своим доньшком к контактодержателю. Во включённом положении контактирование происходит по открытым торцевым поверхностям чаши. В боковых стенках чаши предусмотрены наклонные прорези. В контактных элементах одной контактной пары прорези наклонены в противоположные стороны.

При размыкании контактов между ними образуются мостики из расплавленного металла, причём число этих мостиков зависит от отключаемого тока. После разрыва мостиков на их месте возникает параллельные электрические дуги, горящие одновременно во многих местах по окружности контакта. Переход от многочисленных мостиков к столь же многочисленным дугам обусловлен хотя и небольшой, но вполне определённой индуктивностью отдельных пальцев контактной системы. Одновременно с дугами там появляются и радиальные магнитные поля, наводимые током, протекающим через наклонные пальцы контактов. Под действием этих полей плазменный столб дуги вынужден перемещаться по окружности в промежутке между торцами контактов в направлении, определяемом правилом левой руки, в то время как катодные пятна на поверхности контактов медленно двигаются в обратном направлении. В итоге в промежутке образуется как бы полая кольцеобразная дуга, находящаяся в диффузном состоянии, которая не в состоянии трансформироваться в свою разновидность в виде сжатой дуги.

#### 1.4. ОТКЛЮЧАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

**Отключение тока.** У вакуумной дугогасительной камеры имеется два предела по отключающей способности. Первый из них характеризуется коммутационной способностью одного единственного последнего катодного пятна, возможностью его погасания в условиях, когда контакт относительно холодный. Эти условия зависят от теплофизических свойств материала катода. Высокой коммутационной способностью обладают контакты, катод которых изготовлен из материала, имеющего низкое давление паров металла и хорошую теплопроводность. Это означает, что контакты, обладающие высокой коммутационной способностью, могут отключать цепь, когда произведение –  $dl/dt \times du/dt$  достаточно велико. Для многих металлов, оказавшихся в правой части графика, присущая им отключающая способность намного больше той, что требуется при обычных условиях коммутации.

Другой предел по отключающей способности касается не скорости спадания тока и не скорости нарастания восстанавливающего напряжения, а самих токов короткого замыкания, которые приходится отключать выключателю. Этот предел по коммутационной способности зависит уже от конфигурации контактной системы (которая в этом случае должна быть такой, чтобы препятствовать образованию локализованной дуги, горячей неподвижно на одном и том же месте), размеров контактов и материала, из которого они изготавливаются.

Так, например, даже если контакты имеют чашеобразную форму, вынуждающую дугу находиться в диффузном состоянии на протяжении всей полуволны тока, они должны быть достаточно большими и обладать такими теплофизическими свойствами, чтобы даже при равномерном поглощении ими энергии от дуги не происходило нагревание всей лицевой поверхности контактов до температуры, при которой давление паров металлов в момент перехода тока через нуль превосходит 0,13 Па ( $10^{-3}$  мм рт. ст.). Таким образом, будь то разрезной чашеобразный контакт или же контакт со спиралеобразными лепестками, для него будет существовать какой-то предел по отключаемому току короткого замыкания, находящийся в прямой зависимости от размеров контактов и теплофизических свойств примесных материалов.

Простые торцевые контакты имеют верхний предел по отключающей способности в диапазоне токов отключения от 10 до 17 кА (амплитудное значение в зависимости от материала контактов и промышленной частоты в данной энергосистеме, причём характерно, что если диаметр таких контактов больше 3 см, то ток отключения практически уже не зависит от размеров контактов).

При условии, что вакуумная дугогасительная камера коммутирует цепь в пределах своих возможностей по току отключения и возвращаемому напряжению, можно ожидать, что она погасит дугу в первый же нуль тока, если, конечно, к этому времени контакты успеют разойтись на достаточно большое расстояние (скажем 3 ... 4 мм для камер на 11 кВ и 5 ... 6 мм при 15 кВ). Это свойство камеры сохраняется при коммутации в широком диапазоне токов отключения, начиная от доли нагрузочного тока и кончая полным током короткого замыкания.

**Повторные зажигания.** Рассмотрим коммутацию цепи вакуумным выключателем, сопровождающуюся повторным пробоем камеры, вызванным слишком малым расстоянием между её расходящимися контактами, в силу чего она не выдерживает восстанавливающегося напряжения, нарастающего там в момент, когда ток в отключаемой цепи переходит через нуль. В отличие от переходных процессов, сопровождающих повторный пробой в электромагнитных выключателях, в вакуумных выключателях силовоточная дуга в момент пробоя межконтактного промежутка может сразу и не сформироваться. При этом в ближайшем к выключателю контуре коммутации, характеризуемом его локальными параметрами: индуктивностью  $L$  и ёмкостью  $C$ , – возникает высокочастотный колебательный процесс, из-за наложения которого результирующий ток в цепи в процесс своего нарастания многократно проходит через нуль. Чрезвычайно высокая отключающая способность вакуумного дугогасительного устройства с дугой, находящейся при небольших токах в диффузном состоянии, позволяет выключателю отключить этот высокочастотный ток, который протекает через него с момента возникновения повторного пробоя, причём отключение этого тока происходит в момент перехода его через нуль. Однако вследствие того, что данный переходный процесс совершается с большой частотой, время до ближайшего нуля будет исключительно малым и контакты за это время не успеют разойтись на сколько-нибудь большое расстояние. В результате спустя некоторое время после успешного отключения, как только восстанавливающееся напряжение нарастает до уровня, превышающего изоляционную прочность малого ещё промежутка между расходящимися контактами, неизбежен вторичный пробой этого промежутка, вновь сопровождающийся образованием в  $LC$ -контуре высокочастотных колебаний.

Процесс этот может повторяться до тех пор, пока ток промышленной частоты, протекающий в коммутируемой цепи, не нарастёт в процессе своего изменения до уровня, превышающего амплитуду высокочастотной составляющей переходного тока близлежащего к выключателю контура коммутации. Начиная с этого момента, несмотря на наличие в цепи колебательного процесса, суммарный ток уже не будет больше достигать нулевого значения и в выключателе возникнет и сформируется на протяжении следующей полуволны тока промышленной частоты силовоточная дуга, горящая там до последующего перехода тока в нуль.

Потеря материала с поверхности разрывных контактов происходит, главным образом, по следующим трём причинам:

1. Из-за образования и последующего разрыва жидких контактных мостиков, в результате чего уносятся с поверхности контактов крохотные капли расплавленного металла.
2. Из-за эмиссии паров металла из горячих катодных пятен с последующей конденсацией этих паров на противоположном контакте и защитных экранах.
3. Из-за плёнок расплавленного металла, которые могут образовываться под действием сильного дугового разряда на поверхности катодов и привести к формированию отдельных капелек, срыв которых с поверхности контактов совершается обычно магнетогидродинамическими силами, возникающими в результате взаимодействия тока дуги с её собственным магнитным полем.

Допустимый предел эрозии разрывных контактов устанавливается либо из соображений сохранения заданной конфигурации контактной системы, интенсивное оплавление и выгорание которой может привести к исчезновению эффекта воздействия на дугу магнитного поля контактов, либо по количеству выгоревшего до материала контактных наконечников. В последнем случае превышение предела эрозии контактов может привести к весьма печальным последствиям, ибо в отличие от контактных наконечников токоведущие стержни контактов обычно выполняются из материала, не способного противостоять образованию прочных сварных соединений, и дальнейшая эксплуатация вакуумных выключателей с полностью выгоревшими контактными наконечниками может привести к аварии аппарата.

Другим ограничивающим фактором износа контактов является возрастающий из-за износа ход подвижной контактной системы, приводящий к механической перегрузке сильфона при включении и во включённом положении.

Установление допустимого износа контактов по тем или иным соображениям, не зависимо от причин его порождающих, является обязательным. Обычно практически это осуществляется регистрацией хода подвижных контактов с фиксацией добавочного перемещения, необходимого для доведения выгоревших контактов до включённого положения.

В вакуумной дугогасительной камере теплопередача от аксиальной токоведущей системе к окружающей её изоляционной обечайке затруднена из-за наличия там концентрического вакуумного промежутка, обладающего, как известно, исключительно высокими теплоизолирующими свойствами. Поэтому вся теплота, выделяемая в контактах и в токоведущих стержнях, должна отводиться в аксиальном направлении практически лишь посредством теплопроводности и уже от стержней передаваться металлическим фланцам камеры или рассеиваться в окружающее пространство. Для этого чтобы обеспечить требуемый режим охлаждения, при котором температура контактов внутри камеры не превышает предельно допустимой, необходимо создать систему достаточно эффективного теплоотвода, в результате которого выделяемая в камере теплота отводилась бы примерно поровну в сторону подвижного и неподвижного контактов, при этом температура выводных зажимов камеры не должна превышать определённый уровень.

**Коммутация ёмкостных токов.** Благодаря быстрому нарастанию электрической прочности, вакуумные выключатели обладают неплохими характеристиками в режиме отключения ёмкостных токов. Однако для успешной коммутации в этих условиях необходимо, чтобы скорости разведения контактов при отключении были достаточно большими, ибо при повторном пробое небольшого контактного промежутка в камере вполне вероятно, что в цепи образуется классический переходный процесс многократного умножения напряжения.

**Отключение индуктивных токов.** Вакуумные камеры, как и все другие отключающие устройства, обрывают протекающий через них ток незадолго до его естественного перехода через нуль, что объясняется неустойчивостью горения дуги при малых токах. В вакуумных камерах уровень токов, при которых дуга неустойчива, называемый иначе уровнем токов среза, зависит от коммутационной способности применённых контактных материалов, по этой причине она не должна быть чрезмерно большой.

Токи среза в вакуумном выключателе зависят, как и напряжение на дуге, от теплофизических свойств материала контактов. Среднее значение тока среза колеблется от 1 А и менее для контактов из металла наподобие висмута и до 15 и

даже 30 А для медных и вольфрамовых контактов соответственно. Металлокерамические композиционные структуры могут иметь меньшие токи среза, чем любые однородные металлы.

Определение токов среза производится обычно на основании статистических данных, имеющих примерно гауссово распределение, так что здесь можно достаточно чётко выявить как среднее значение тока среза, так и стандартное среднеквадратическое отклонение. Следует также иметь в виду, что неустойчивому состоянию дуги в значительной мере способствует наличие параллельной ёмкости.

Коммутационные напряжения, возникающие в цепи при срезах отключаемого тока в вакуумных выключателях, зависят в свою очередь от токов среза, волнового сопротивления линии и различных демпфирующих факторов. Вместе с тем понятно, что эти перенапряжения не могут превысить продольную электрическую прочность выключателя. В этом отношении характеристики вакуумных выключателей варьируются в довольно широком диапазоне в зависимости от типа дугогасительной камеры, но при надлежащих контактных материалах явление среза тока не создаёт особых проблем. Это относится к вакуумным выключателям для распределительных устройств, промышленных энергетических установок, а также к вакуумным выключателям, используемым в качестве сетевых линейных выключателей. Высокий уровень токов среза, сопровождающийся опасными перенапряжениями, может иметь место для большинства типов вакуумных выключателей при коммутации ими цепей с очень большим волновым сопротивлением. Однако обычно эти цепи, способны служить источником высоких перенапряжений при отключении любых типов выключателей, вследствие чего там, по-видимому, во всех случаях необходимы соответствующие меры предосторожности.

## 1.5. ВИДЫ ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

Активный объём вакуумной дугогасительной камеры, наиболее способствующий успешному отключению тока, это, во-первых, объём межконтактного промежутка, а во-вторых, – пространство, ограниченное с одной стороны этими контактами, а с другой – защитным экраном.

Исключительно высокие диэлектрические свойства вакуума позволяют придать дугогасительной камере очень небольшие габариты. Однако необходимость в надлежащей изоляции камеры снаружи не позволяет сделать это. Иногда вакуумные камеры для повышения их внешней электрической прочности погружают в сосуд с изолирующей жидкостью, что позволяет намного сократить их габаритные размеры.

В своё время было предложено множество различных конструкций камер, из которых наибольшее распространение получили три конструкции, показанные схематически на рис. 1.8. Из них наиболее распространена камера, изображённая на рис. 1.8, *а*. Здесь контакты окружены главным электростатическим экраном, который служит для охлаждения и конденсации на нём паров металла, образующихся в камере при коммутации выключателя. Помимо центрального экрана, на обоих фланцах предусмотрены концевые экраны, защищающие от попадания на поверхность изоляционной обечайки паров металла, доходящих в процессе коммутации до торцевых фланцев камеры и отражающихся от них назад. Изоляционная обечайка может выполняться практически из любого газонепроницаемого электроизоляционного материала неорганического происхождения. В середине, изнутри к ней, крепится главный экран. Герметизация подвижного контакта камеры выполняется с помощью сильфона, помещаемого также внутрь камеры, что предохраняет его от внешних повреждений. В зависимости от конструкции, в камере могут быть, а могут и не быть направляющие втулки, служащие для ориентации подвижного контакта. Длина камеры лишь ненамного больше её диаметра, и поэтому контакты такой камеры оказываются относительно короткими. Последний фактор немаловажен, так как упрощает обеспечение высокой механической прочности и надлежащего теплового режима контактной системы.

Несколько иная конструкция дугогасительной камеры показана на рис. 1.8, *б*. Диаметр обечайки этой камеры меньше, чем у предыдущей, но достигнуто это за счёт значительного увеличения её длины. Главный электростатический экран становится здесь как бы частью обечайки, а изоляция последней обеспечивается двумя изоляционными цилиндрами, по одному с каждой стороны экрана.

Конструкция вакуумной камеры на рис. 1.8, *в*, хотя и предлагалась к внедрению, но по ряду причин так и не была применена на вакуумных выключателях. Обечайка на этой камере выполнена металлической, а изоляция её осуществляется посредством торцевых фланцев из электроизоляционного материала, на которых монтируются контакты камеры. Сильфон и внутренняя поверхность фланцев защищены системой электростатических экранов. Одним из достоинств этой конструкции является простота и дешевизна герметизации уплотнительного узла на стыке металлической обечайки и изоляционных фланцев, осуществляемой благодаря эластичным уплотнениям, работающим на сжатие. Основным недостатком такой камеры – сложность создания для неё изоляции, обладающей достаточно высокой электрической прочностью, ибо в данном случае изоляция работает в радиальном направлении, и потому проблема заключается в выдерживании не только надлежащих разрядных расстояний, но и соответствующих длин путей утечки. По этой причине подобные камеры находят применение лишь для вакуумных выключателей на напряжения не свыше 3 кВ.

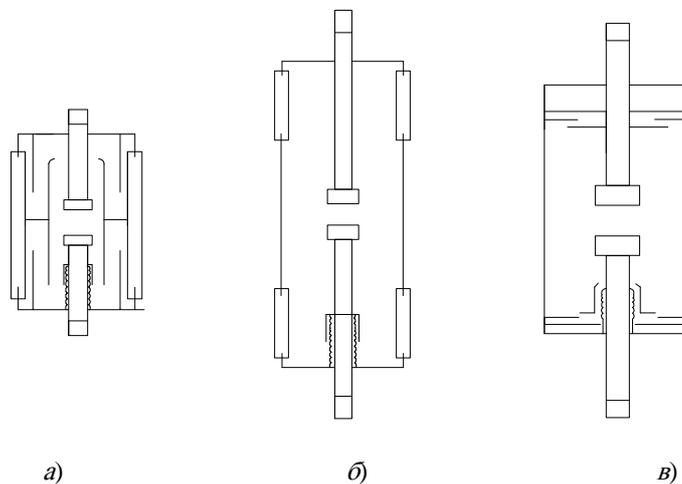


Рис. 1.8

Помимо здесь распространённых, предлагалось много других конструктивных решений камеры вакуумного выключателя, многие из них прошли экспериментальную проверку, однако в подавляющем большинстве случаев современные вакуумные дугогасительные камеры выпускаются в виде, показанном на рис. 1.8, а и б.

Таблица 1.1

Параметры	Камеры							
	КДВ 1-250	КДВ 12-37	КДВ 2-10-5/400	КДВХ-10-10/630	КДВХЗ-10-20/1600	КДВХ-10-31,5/1600	КДВ-35-255/1600	КДВ-35-40/2000
Номинальное напряжение, кВ	1,14		10				35	
Номинальный ток, кА	250	400		630	1600		2000	
Номинальный ток отключения, кА	3	3,45	5	10	20	31,5	25	40
Коммутационная износостойкость, тыс. циклов «ВО»								
в категории применения АС-3	1600		–	–	–	–	–	–
в категории применения АС-4	300		–	–	–	–	–	–
при номинальном токе	–	–	750	50	30	40	20	
при номинальном токе отключения	–	–	0,05	0,1	0,05			
Механический ресурс, тыс. циклов «ВО»	5000		750	50		20		
Габаритные размеры, мм								
длина	65	150	185	223	240	253	410	461
диаметр корпуса	50	80	75	104	108	153	150	165
Масса, кг	0,4	0,95	1,74	2,9	3,8	6,9	10	16,5

Конфигурация и размеры контактной системы дугогасительных устройств зависят как от требуемой пропускной способности по номинальному току, так и от токов короткого замыкания. Суммарная площадь поверхности контактных элементов, подверженная воздействию электрической дуги, должна быть достаточно большой, чтобы эти контакты были в состоянии поглотить выделяемую в процессе дугогашения энергию, не подвергаясь при этом чрезмерному перегреву. С

другой стороны, во избежание недопустимого превышения температуры токоведущих деталей при длительном протекании нагрузочного тока контакты камеры во включённом положении должны образовывать достаточно много контактных площадок с большой суммарной площадью соприкосновения (последняя зависит от твёрдости материала контактов и сжимающего усилия), что необходимо для эффективного теплоотвода от этих площадок в подобном режиме.

При конструировании вакуумных камер следует учитывать возможность некоторого размягчения металлических деталей в процессе их нагрева при изготовлении камеры, в частности для термообработки, дегазации и т.п. Конструкция дугогасительной камеры и технологический режим её сборки должны быть таковы, чтобы при её изготовлении исключалось попадание загрязнений внутрь камеры.

Технические характеристики современных дугогасительных камер представлены в табл. 1.1.

## 1.6. КОНСТРУКЦИИ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Дугогасительная камера может быть закреплена либо за конец токоведущего стержня её неподвижного контакта, либо посредством шпилек или иных крепёжных элементов на фланце подвижного контакта. Большинство камер разрешается монтировать в любом произвольно ориентированном положении. Если камера закреплена за конец стержня неподвижного контакта, то при включении ударные нагрузки через неподвижный контакт передаются непосредственно несущим опорным конструкциям аппарата. Механические нагрузки на изоляционную обечайку в этом случае будут относительно небольшими, и главным образом вибрационного характера, в виде упругих колебаний они распространяются от зафиксированного контактного стержня по сопряжённому с ним фланцу камеры и передаются от последнего на обечайку. Если же, наоборот, камера закреплена посредством монтажных элементов, связанных с фланцем подвижного контакта, то ударные воздействия при включении аппарата передаются его несущим опорным конструкциям через изоляционную обечайку, которая, равно как и места её спая с армирующими фланцами, должна быть теперь рассчитана на многократные подобные нагрузки. Из сказанного следует, что если принято решение о креплении дугогасительной камеры со стороны её подвижного контакта, то следует позаботиться о том, чтобы изоляционная обечайка была изготовлена из высокопрочного электроизоляционного материала, способного выносить повышенные механические нагрузки.

Ни в коем случае нельзя жёстко закреплять камеру с обоих концов, так как при этом из-за любой неточности монтажа либо вследствие изгиба опорной конструкции выключателя в обечайке могут возникать чрезмерно высокие напряжения, опасные для данного изоляционного материала. Если камера крепится за стержень неподвижного контакта и вместе с тем на ней предусмотрены монтажные шпильки или иные элементы у противоположного фланца, они могут быть использованы для установки боковых распорок, помогающих выдерживать резкие боковые нагрузки механического или электродинамического происхождения на неподвижный контакт.

Для вакуумных выключателей сравнительно небольшого напряжения, на которых достаточно применить всего одну дугогасительную камеру на полюс, может быть предусмотрена самая простая связь приводного механизма с контактным устройством посредством изоляционной тяги, на конце которой монтируются специальные развязывающие устройства, обеспечивающие необходимый провал контактов и переход передвигной системы за мёртвую точку, о чём подробнее будет сказано несколько позже.

В вакуумных выключателях с двумя разрывами на полюс камеры зачастую монтируют горизонтально, располагая симметрично по разные стороны центральной колонки с механизмом управления. Внешне полюс такого выключателя принимает Т-образную форму, причём камеры в этом случае устанавливаются подвижными контактами навстречу друг другу, а оперирование ими осуществляется посредством проходящей внутри колонки изоляционной тяги, сочленённой наверху с контактами промежуточной рычажной передачей.

В тех случаях, когда необходимо иметь на выключателе три или ещё больше камер на полюс, их, как правило, располагают в ряд, одну за другой. Оперирование подвижными контактами здесь производится обычно с помощью пространственной изоляционной конструкции, напоминающей лестницу, проходящей вдоль всего дугогасительного устройства полюса и состоящей из двух продольных изолирующих стержней, связанных поперечными планками, посредством которых эта система сочленяется с подвижными контактами отдельных камер. При Т-образной компоновке здесь, как и раньше, камеры монтируются горизонтально, располагаясь симметрично по обе стороны центральной опорной колонки с установленным на ней механизмом управления. Однако теперь в каждом плече полюса помещается уже не одна, а целая группа из двух или более последовательно соединённых дугогасительных камер. Одновременное оперирование обеими группами камер осуществляется с помощью общей вертикальной тяги управления. Последняя выполняется из электроизоляционного материала и, пройдя внутри полой опорной колонки, соединяется с распределительным рычажным механизмом управления, связанным, в свою очередь, с подвижными контактами камер изоляционными деталями.

В качестве варианта приводного механизма для вакуумного выключателя высокого напряжения зачастую рассматривается гидравлическая система управления, особая привлекательность которой заключается в малом ходе подвижных контактов в таком аппарате.

В некоторых камерах токоведущий стержень подвижного контакта ориентирован в продольном направлении специальной направляющей, предусмотренной на фланце камеры в месте выхода стержня наружу. Для уменьшения трения скольжения и обеспечения оперирования во внутреннем канале направляющей желательнее устанавливать гильзу из изоляционного материала, коэффициент трения которого при работе в паре с данным стержнем был бы относительно небольшим. В иных камерах встроенные направляющие для ориентирования подвижного контактного стержня вообще отсутствуют, и эта функция перекладывается на механизм управления выключателем.

Конструкция камер и способ их подключения в цепь должны быть таковы, чтобы ни при сборке выключателя в заводских условиях, ни при монтаже либо замене отдельных камер в условиях эксплуатации подвижные контакты не оказались подверженными воздействию чрезмерных скручивающих или изгибающих усилий, которые в состоянии привести к повреждению сильфона.

При монтаже дугогасительных камер с помощью монтажных шпилек, ввёрнутых во фланец подвижного контакта, необходимо предусмотреть меры, чтобы ток к подвижному контакту подводился только посредством его держателя и не мог протекать через монтажные шпильки фланца. Дело в том, что монтажные шпильки в этом случае оказываются электрически связанными с подвижным контактом, причём эта связь существует даже тогда, когда в камере предусмотрена изоляционная направляющая контактного стержня. При этом путь тока к подвижному контакту может пролегать не только по основному токоведущему контуру выключателя, но и в обход, через металллические конструктивные элементы, поддерживающие камеру в заданном положении, монтажные шпильки, фланец подвижного контакта и, наконец, через металллический сильфон, прикрепляемый одним концом к фланцу, а другим – к стержню подвижного контакта. Длительное протекание заметной части тока по обходному контуру может привести в результате к недопустимо большому нагреву сильфона, выполняемого обычно из тонкого листового металла, и к его повреждению. Во избежание таких последствий в тех случаях, когда налицо реальная опасность образования обходного паразитного контура тока, приходится в месте установки монтажных шпилек предусматривать переходные втулки из электроизоляционного материала, исключающие байпасные пути тока.

Контактное нажатие в вакуумной дугогасительной камере должно быть достаточным для того, чтобы: а) создать низкое переходное сопротивление; б) обеспечить надёжное включение на ток короткого замыкания; в) удерживать контакты замкнутыми при токах короткого замыкания.

Контактное нажатие, необходимое для обеспечения требуемой пусковой способности по номинальному току, как правило, того же порядка или несколько меньше, чем то, которое необходимо для обеспечения надлежащей включающей способности выключателя и для удержания контактов включёнными при сквозных токах короткого замыкания. Обычно именно последний режим работы является определяющим в выборе контактного нажатия в конкретных условиях. Электромагнитные силы отталкивания, возникающие между простыми торцевыми контактами в вакууме, практически не отличаются от тех, что возникают между такими же контактами в воздухе. Объясняется это тем, что причиной возникновения этих сил является повышенное магнитное давление, образующееся в зоне сгущения линий тока у контактных площадок. Однако в процессе горения дуги между разрывными контактами вакуумной дугогасительной камеры вследствие их значительно более сложной конфигурации, чем у обычных торцевых контактов, силы электродинамического отброса контактов будут всё же чуть выше, чем в других аппаратах. Это повышение в какой-то мере компенсируется наличием у контактов вакуумных выключателей довольно большого числа контактных площадок, по которым происходит фактическое соприкосновение контактов во включённом положении, благодаря чему силы электродинамического отталкивания контактов снижаются. Дополнительные силы отталкивания контактов, обусловленные давлением в плазменном столбе дуги, обычно невелики, а по сравнению с силами электродинамического отброса контактов пренебрежительно малы.

В процессе включения выключателя электромагнитных сил взаимодействия между сближающимися контактами вплоть до момента возникновения между ними предварительного пробоя не имеется. Однако последний в вакуумной камере наблюдается обычно в момент, когда контакты подойдут друг к другу на достаточно близкое расстояние, составляющее здесь лишь доли миллиметра или около того. Благодаря этому дополнительная энергия, требующаяся для надёжного включения контактов из-за предварительного пробоя, обычно совсем мала. Причём если предварительный пробой и произойдёт, всё же возникающие в этом случае усилия определяются, главным образом, лишь силами электродинамического отталкивания контактов: при этом совершенно отсутствует противодействие, сопутствующее предварительному пробую в масляных выключателях.

Благодаря исключительно высокой электрической прочности вакуумных промежутков ход подвижных контактов камеры обычно очень мал. Так, у вакуумных камер на 11 и 15 кВ он составляет 8 ... 12 мм, а у камер вакуумных контакторов на 3,3 кВ – ещё меньше, около 2 мм. По отключающей способности многие дугогасительные камеры могли бы успешно коммутировать ток и при меньшем растворе контактов. Но поскольку промежуток между контактами, помимо дугогашения, должен выполнять ещё и изолирующие функции, обеспечивая необходимую продольную изоляционную прочность конструкции, а также успешно коммутировать в режиме отключения ёмкостных токов, то, исходя в основном именно из этих двух режимов, и определяли приведённые выше значения рабочего хода подвижной системы вакуумных аппаратов.

Скорость смыкания контактов должна удовлетворять одновременно двум противоположным техническим требованиям.

С одной стороны, скорость в момент соприкосновения контактов должна быть достаточно мала, чтобы не вызывать чрезмерных механических напряжений в момент соударения. Это особенно важно для вакуумных камер, отдельные детали которых в процессе производства подвергаются пайке и дегазации при довольно высоких температурах и вследствие этого зачастую оказываются далеко не столь прочными и упругими, как аналогичные детали у аппаратов традиционного исполнения. Кроме того, низкая скорость включения также позволяет снизить упругие колебания сильфона и тем самым повысить его механический ресурс. Наконец, низкая скорость движения контактов в момент их встречи способствует более мягкому включению выключателя, упрощает борьбу с вибрацией его контактов.

С другой стороны, повышение скорости включения контактов уменьшает длительность дугового разряда в камере, вызванного предварительным пробоем её межконтактного промежутка. Это обстоятельство имеет немаловажное значение, так как уменьшает эрозию контактов, сваривание их при последующем смыкании и вероятность возникновения в цепи повторяющихся пульсаций напряжения, вызванных нестабильностью разрядных характеристик промежутков между

медленно сближающимися контактами в период, непосредственно предшествующий предварительному пробую. В современных вакуумных выключателях скорости включения контактов в момент их встречи составляют 0,6 ... 2 м/с.

На скорость отключения контактов решающее влияние оказывают следующие два фактора:

1) длительность горения дуги; она должна быть достаточно малой. Максимальная продолжительность процесса дугогашения в вакуумной камере не должна быть много больше, чем полтора полупериода тока промышленной частоты;

2) отключение вакуумным выключателем ёмкостных токов; оно не должно сопровождаться повторными пробоями. Если переход через нуль произойдёт в момент времени, близкий к моменту размыкания контактов, то уже к следующему нулю тока электрическая прочность камеры должна быть достаточно большой для уверенного отключения цепи без повторных пробоев.

Как правило, полагают, что оптимальная скорость разделения контактов должна быть такова, чтобы они за один полупериод промышленной частоты успевали пройти расстояние равное примерно 50 ... 80% полного раствора контактов в отключённом положении.

При конструировании вакуумных выключателей свариванию контактов уделяется особое внимание. В большинстве случаев принято контакты изготавливать из материалов, плохо поддающихся свариванию и образующих сравнительно слабые в механическом отношении сварные соединения, достаточно хрупкие, чтобы их можно было легко разрушить при оперировании выключателем, не повреждая при этом каких-либо его элементов. Для обеспечения надёжной работы вакуумного выключателя в различных режимах коммутации, которые могут быть на протяжении длительного периода эксплуатации, практически все без исключения промышленные аппараты выполняются таким образом, чтобы в них энергия, необходимая для отрыва сварившихся контактов, составляла лишь малую часть энергии, потребной для обеспечения рекомендуемых скоростей разведения контактов при отключении.

Типичным конструктивным решением данной проблемы является такой механизм управления, который в процессе оперирования прежде, чем начать размыкать контакты, на протяжении некоторого хода осуществлял бы разгон сцепленных с ним подвижных органов аппарата, обладающих некоторой заданной массой, до скоростей, несколько превышающих нормированные скорости отключения подвижных контактов. Эквивалентная масса разгоняемых органов выбирается обычно равной либо несколько большей массы подвижных контактов. За счёт большой кинетической энергии движущихся органов в момент их сочленения с подвижными контактами происходит отрыв последних от неподвижных контактов, сопровождающийся разрушением сварных соединений, если таковые имели место. Оставшегося неизрасходованного запаса кинетической энергии после этого должно хватать на дальнейшее разведение оторвавшихся контактов с оптимальными скоростями. Характер ударного воздействия разгоняемых органов механизма управления на подвижные контакты определяется упругими свойствами системы молоток-контакт. В момент соударения, податливостью отдельных её конструктивных звеньев. Для демпфирования ударных нагрузок это сочленение иногда содержит эластичные прокладки либо сочленяемые органы содержат металлические элементы, способные упруго деформироваться при соударении.

Основной причиной износа коммутирующих контактов вакуумного выключателя является электрическая эрозия их поверхности под влиянием возникающего там дугового разряда; износ контактов из-за чисто механического многократного оперирования выключателя без тока незначителен. В большинстве типов вакуумных камер интенсивность эрозии контактов, выраженная в граммах на кулон отключаемого тока, не является постоянной, а возрастает с увеличением коммутируемого тока.

Температура самих контактов будет на несколько градусов выше, чем у выводных зажимов. Этот перепад температуры определяет интенсивность теплоотдачи посредством теплопроводности и в реальных условиях зависит от теплофизических свойств и размеров материала стержней и контактов. Вместе с тем, поскольку контакты в вакуумной камере не подвержены окислению, это превышение температуры не имеет существенного значения.

Подвижная система вакуумных камер под действием атмосферного давления на сильфон обычно стремится переместиться во включённое положение. Однако известны и такие конструкции камер, в которых, наоборот, контакты под действием атмосферного давления удерживаются в отключённом положении, а включение аппарата совершается под действием усилия включающих пружин, после снятия которого они возвращаются в отключённое положение.

Пружинные устройства подвижных контактов могут содержаться в любом из промежуточных звеньев механизма управления выключателем. Комбинируя различным образом работу этих устройств и механизма управления, можно создать аппараты, в которых освобождённые пружинные устройства будут удерживать контактную систему либо во включённом, либо в отключённом положении. В первом случае, с помощью привода производится размыкание контактов, а во втором – их включение. Принципиальной разницы между этими двумя разновидностями механизмов управления нет. Единственное, что тут следует отметить, это то, что при размещении пружинного устройства вблизи подвижного контакта уменьшается число промежуточных звеньев, при поломке которых может произойти самопроизвольное включение дугогасительной камеры, в то время как она должна была бы оставаться в отключённом состоянии.

## **2. ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ЭЛЕКТРОКОМПЛЕКС» («ЭЛКО»), г. МИНУСИНСК**

### **2.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ**

ОАО «ЭЛКО» (г. Минусинск) серийно выпускает вакуумные выключатели с 1981 г. [6, 9]. Предприятие имеет большой опыт проектирования и производства вакуумных выключателей. Выключатели предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трёхфазного переменного тока с изолированной

нейтралью частотой 50 Гц (60 Гц), номинальным напряжением до 12 кВ, номинальными токами от 630 А до 3150 А и токами отключения от 5 до 40 кА. Механический и коммутационный ресурс при номинальном токе – до 50 000 операций отключения. Коммутационный ресурс при токах короткого замыкания – до 100 операций отключения без обслуживания и замены дугогасительных камер.

Выключатели изготавливаются со встроенными электромагнитными или пружинотормозными приводами со схемами управления на постоянном или переменном токе и могут применяться в различных климатических условиях с температурой окружающей среды от –60 до +50°С и относительной влажностью воздуха до 100% при +25°С.

Рекомендуются для применения на нефтебуровых установках, мощных экскаваторах, передвижных электростанциях, в электрических подстанциях, шахтах, метрополитенах и других распределительных устройствах наружной и внутренней установки общепромышленного применения.

В настоящее время потребителями эксплуатируется свыше 40 000 вакуумных выключателей производства ОАО «ЭЛКО».

В таблице 2.1 для примера приведены основные технические характеристики трёх типов вакуумных дугогасящих камер, выпускаемых Минусинским заводом вакуумных выключателей:

КДВ2-10-5/400 УХЛ2, предназначенной для вакуумных контакторов переменного тока высокого напряжения, климатического исполнения и категории размещения УХЛ2, 5 по ГОСТ 15150–69 и ГОСТ 15543–70 для класса напряжения 10 кВ с облегчённой изоляцией, УХЛ5, Т2, Т5 для класса напряжения 6 кВ с нормальной изоляцией;

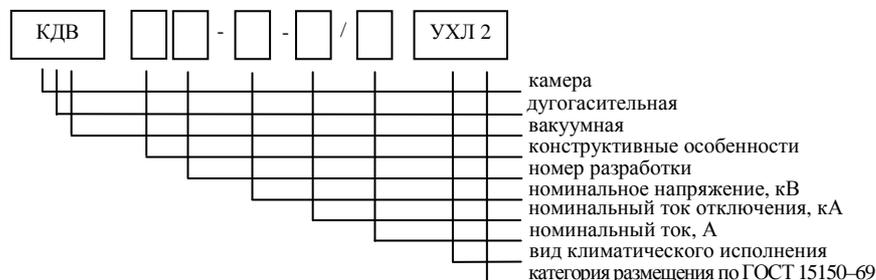
КДВХ-10-10/630 УХЛ2, Т3, предназначенной для комплектации вакуумных выключателей напряжения 10 кВ и 11 кВ переменного тока частоты 50 Гц и 60 Гц;

КДВ35-25/1600 УХЛ2, предназначенной для комплектации вакуумных выключателей напряжения 35 кВ переменного тока частоты 50 Гц и 60 Гц.

## 2.1. Вакуумные дугогасительные камеры

Параметры	КДВ2-10-5/400	КДВХ-10-10/630	КДВ-35-25/1600
Номинальное напряжение, кВ	10	10	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12	12	40,5
Номинальный ток, А	400	630	1600
Номинальный ток отключения, кА	5	10	20
Коммутационная износостойкость, цикл:			
	при номинальном токе	750 000	50 000
при номинальном токе откл.	50	100	100
Механический ресурс, циклы «ВО»	750 000	50 000	50 000
Длина, мм, не более	185	222	410
Диаметр, мм	75	102	150
Масса, кг	1,7	2,9	11

Вакуумные дугогасительные камеры, являясь основной частью вакуумного выключателя, имеют обозначения, которые расшифровываются следующим образом:



ОАО «ЭЛКО» на сегодня является крупнейшим в России производителем вакуумных выключателей на класс напряжения до 10 кВ. Кроме того, «ЭЛКО» обеспечивает и замену морально и физически устаревших выключателей всех видов в ячейках контрольно-распределительных устройств любого типоразмера на современные.

## 2.2. ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

На рисунках 2.1 – 2.3 приведены некоторые типы выключателей, а в табл. 2.3 – основные технические характеристики вакуумных выключателей производства Минусинского ОАО «ЭЛКО».

Выключатель ВВЭ-М-10-40 (рис. 2.1) устанавливается в КРУ типа К-105, К-59, а также могут быть использованы для замены и маломасляных электромагнитных выключателей в любых типах РУ.

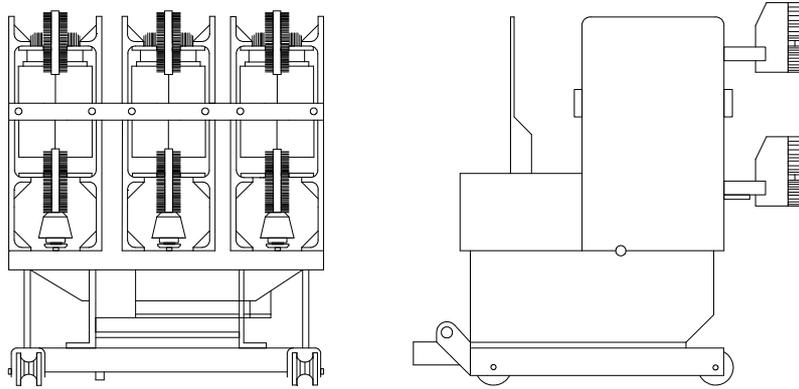


Рис. 2.1. Общий вид выключателей ВВЭ-М-10-40

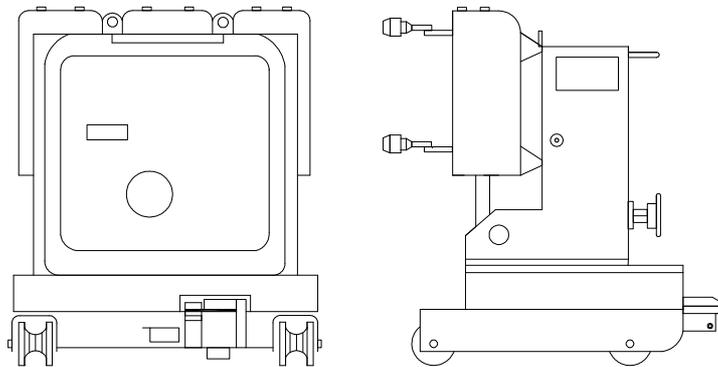


Рис. 2.2. Общий вид выключателя ВВП-М-10-20

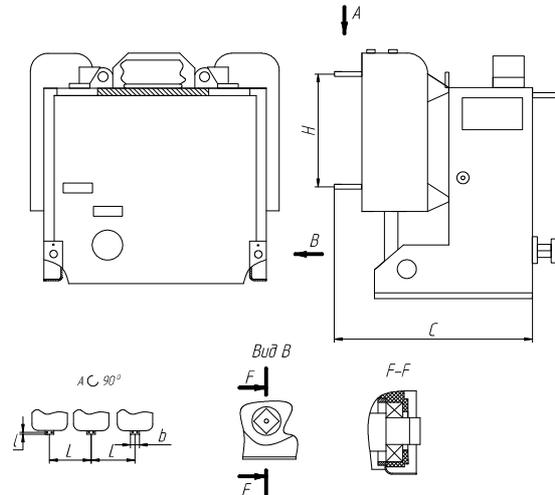


Рис. 2.3. Общий вид выключателя ВВТЭ(II)-М-10-20

Таблица 2.2

Типоисполнение выключателя	Размеры, мм						Масса, кг
	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>I</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	
ВВТЭ(П)-10-12,5/630	389	200	25	11 <sup>+0,43</sup>	50	370	74
ВВТЭ(П)-10-20/630	395	200	25	11 <sup>+0,43</sup>	60	370	78
ВВТЭ(П)-10-20/1000	395	200	25	11 <sup>+0,43</sup>	60	370	78
ВВТЭ(П)-М-10- 20/1600	395	210	45	13 <sup>+0,43</sup>	80	390	78

Выключатели ВВЭ-М-10-20 и ВВП-М-10-20 (рис. 2.2) устанавливаются в КРУ типа К-104, КМ-1Ф, К-49, К-59. По своим присоединительным размерам и схемам управления взаимозаменяемы с выключателями ВК-10, ВКЭ-10.

Выключатели ВВТЭ-М-10-20 и ВВТП-М-10-20 (рис. 2.3, табл. 2.2) устанавливаются в ячейки типа КРУЭ-6П, 2КВЭ-6М, КРУП-6П, а также для замены малообъемных выключателей типа ВМПЭ-10, ВМП-10К, ВМГ-133 в любых типах распределительных устройств К-III, К-IIIУ, К-ХII, К-ХIII, КРУ-2В, К-XXVI, К-37, КР-2-10, КВ-2-10, КСО-2-УМ, КСО-237, К-266, КСО-285, КРУ производства стран Содружества Независимых Государств.

Сейчас в ОАО «ЭЛКО» разработан и готовится к серийному выпуску новый малогабаритный вакуумный выключатель ВБСК-10-20/630 ... 1000.

### 2.3. Основные технические характеристики вакуумных выключателей

Характеристики	ВВТЭ-М-10-20/630, 1000, 1600	ВВТП-М-10-20/630, 1000, 1600	ВВЭ-М-10-20/630, 1000, 1600	ВВП-М-10-20/630, 1000, 1600
Номинальное напряжение, кВ	10	10	10	10
Номинальный ток, А	630 ... 1600	630 ... 1600	630 ... 1600	630 ... 1600
Номинальный ток отключения, кА	12,5; 20	12,5; 20	20	20
Полное время отключения, с	0,04	0,055	0,04	0,035
Собственное время отключения, с	0,1	0,06	0,1	0,06
Коммутационная износостойкость: при номинальном токе, циклы «ВО»	до 50 000	25 000	до 50 000	25 000
при номинальном токе отключения, циклов «ВО»	50	50	50	50
Механический ресурс, циклов «ВО»	50 000	25 000	50 000	25 000
Габариты, (высота, ширина, длина), мм	640×547×43 6	650×560×39 0	828×613×593	828×613×6 23
Масса, кг	78 ... 80	не более 82	88 ... 91	не более 92
Привод	Электром агнитный	Пружинно моторный	Электромаг нитный	Пружинн о-

				моторный
Схема управления	50 Гц 220 В 110 В 220В	50 Гц 220 В 50 Гц 127 В 110 В 220В	110 В 220 В	50 Гц 220 В 50 Гц 127 В 110 В 220В
Применяемость	Предназначены для установки в ячейки КРУЭ-6П, 2КВЭ-6М, КРУП-6П, а также для замены маломасляных выключателей в любых типах распределительных устройств		Предназначены для установки в КРУ типа К-104, КМ-1Ф, К-49. Выключатели по своим присоединительным размерам и схемам управления взаимозаменяемы с выключателями типа ВК-10 и ВКЭ-10	

Продолжение табл. 2.3

Характеристики	ВВЭ-М-10-20/630, 1000, 1600	ВВП-М-10-20/630, 1000, 1600	ВВЭ-М-10-20/630, 1000, 1600*	ВВП-М-10-20/630, 1000, 1600*
Исполнение	Стационарное		Выкатной элемент	
Номинальное напряжение, кВ	10	10	10	10
Номинальный ток, А	630 ... 1600	630 ... 1600	400 ... 630	2000 ... 3150
Номинальный ток отключения, кА	20	20	10	31,5 ... 40
Полное время отключения, с	0,04	0,04	0,04	0,05
Собственное время отключения, с	0,1	0,1	0,1	0,1
Коммутационная износостойкость: при номинальном токе, циклы «ВО»	до 50 000	до 50 000	до 50 000	10 000
при номинальном токе отключения, циклов «ВО»	50	50	50	25
Механический ресурс, циклов «ВО»	50 000	50 000	50 000	10 000
Габариты, (высота, ширина, длина), мм	960×564×51 6	1160×564×5 16	485×500×364	945×604×67 8
Масса, кг	102	108	38	220
Привод	Электром агнитный	Электром агнитный	Электро- магнитный	Электром агнитный
Схема управления	50 Гц 220 В	50 Гц 220 В	50 Гц 220 В	110 В 220 В
Применяемость	Предназначены для установки в КРУ типа КРУЭ-10, КРУЭП-10, ПП-10-6/630 ХЛ1		Для замены маломасляных выключателей	Предназначены для установки в КРУ типа К-105 и замены маломасляных

			выключатель
Исполнение	Выкатной элемент	Стационарное	Стационарное, выкатной элемент

\* Готовится серийное производство.

Он предназначен для использования в комплектных устройствах серии К-112, выпускаемых московским заводом «Электроцит» и служащих для пунктов автоматического секционирования с односторонним и двусторонним питанием, для включения резерва и для плавки гололёда.

Новый прибор фирмы «ЭЛКО» способен также заменить любой соответствующий по номинальным параметрам маломасляный выключатель.

Существенное отличие ВБСК-10 от других вакуумных выключателей с электромагнитным приводом в том, что он, дополнительно к электромагнитному, снабжён пружинным приводом с ручным взводом пружин, что обеспечивает возможность оперативного включения при отсутствии питания вторичных цепей.

Ещё одна особенность, которой обладает прибор, состоит в том, что он имеет надёжное включение на любой номинальный ток короткого замыкания, и при этом никаких дополнительных источников питания не требуется.

Работа аппарата в условиях умеренного климата осуществляется при температуре от  $-45$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

В состав выключателя входят два токовых электромагнита отключения для работы в схемах с дешунтированием. Принцип его работы обеспечивает блокировку от повторных операций включения и отключения выключателя. Когда команда на включение продолжает оставаться поданной после автоматического отключения выключателя. Прибор имеет шесть замыкающих и шесть размыкающих блок-контактов, механический указатель положения «ВКЛ» и «ОТКЛ» и счётчик числа циклов.

Конструкция ВБСК прошла все испытания, соответствует требованиям ГОСТ и показала высокую надёжность всех узлов и аппарата в целом.

### *Технические характеристики ВБСК-10-20/630... 1000*

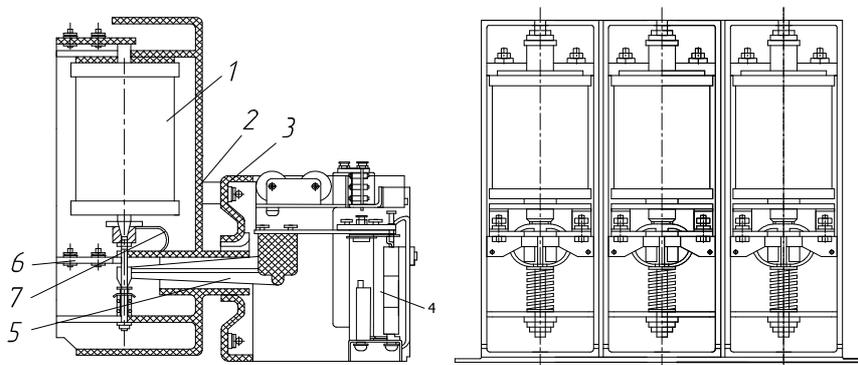
Номинальное напряжение, кВ .....	10
Номинальный ток отключения, кА .....	12,5; 20
Номинальный ток, А .....	630; 1000
Полное время отключения, с, не более .....	0,05
Собственное время включения, с, не более .....	0,2
Ресурс по коммутационной стойкости, циклы «ВО»:	
при номинальном токе .....	50 000
при номинальном токе отключения .....	50
Габаритные размеры (высота, ширина, глубина), мм .....	467×492×310
Масса, кг, не более .....	42

### 2.3. ВАКУУМНЫЕ КОНТАКТОРЫ

В настоящее время автогазовые выключатели нагрузки не удовлетворяют в полной мере современным требованиям (малое число отключений номинального тока, ограниченная электродинамическая стойкость при сквозных КЗ и т.д.). Поэтому в электроустановках 6 ... 10 кВ распределительных сетей вместо применявшихся выключателей нагрузки всё шире используются вакуумные электромагнитные контакторы.

На рисунке 2.4 представлен *вакуумный контактор* КВТ-6/10-400-4. Его данные:  $U_{\text{ном}} = 6 \dots 10$  кВ;  $I_{\text{ном}} = 400$  А;  $I_{\text{откл}} = 4$  кА (указанное значение тока КЗ допускается отключать до 50 раз);  $I_{\text{вкл}} = 15$  кА; коммутационная износостойкость  $1 \cdot 10^5$  циклов «ВО» (включить, отключить).

Контактор состоит из трёх полюсов, корпусов 2 и 3 и электромагнитного привода 4. Дугогасительная камера 1 по своему устройству аналогична камере вакуумного выключателя, изображённой на рис. 1.4. Камеры крепятся к верхней опорной части изоляционного корпуса 2. Подвижный контакт камеры соединён с нижним выводом 6 гибкой связью 7. Привод воздействует на подвижные контакты камер через траверсу 5. Управление контактором осуществляется с места установки или дистанционно.



**Рис. 2.4. Вакуумный контактор КВТ-6/10-400-4:**

1 – дугогасительная камера; 2 и 3 – корпуса; 4 – электромагнитный привод;  
5 – траверса; 6 – нижний вывод; 7 – гибкая связь

### 3. ВАКУУМНЫЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ, КОНТАКТОРЫ И ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФГУП НПП «КОНТАКТ», г. САРАТОВ

#### 3.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Государственное научно-производственное предприятие «Контакт» – одно из крупнейших предприятий электронной промышленности России [6, 9].

Предприятие создано в 1959 г. для производства мощных электровакуумных изделий предназначенных для радиолокации, дальней космической связи, ускорительной техники, радио- и телевидения, высокочастотного нагрева.

В сложных условиях реформирования экономики, на ФГУП НПП «Контакт» удалось полностью сохранить свой производственно-научный потенциал, оборудование, кадры, высокий уровень технологии, возможность освоения новой сложной современной техники.

В начале 90-х гг. в связи с резким падением объёмов заказов приборов СВЧ и МГЛ на предприятии проведена диверсификация и реструктуризация производства, в кратчайшие сроки совместно с ВЭИ освоена гамма вакуумных дугогасительных камер на номинальное напряжение от 1,14 кВ до 35 кВ с номинальными рабочими токами до 3150 А и токами короткого замыкания до 40 кА.

На сегодняшний день более 100 тыс. вакуумных дугогасительных камер безотказно работают во многих странах мира на вакуумной коммутационной аппаратуре различных заводов изготовителей.

В настоящее время специалистами «Контакт» ведутся работы по расширению номенклатуры выпускаемых вакуумных камер, их минимизации, повышению скоростей включения и отключения, снижению усилий поджатия, самовосстановлению контактов, снижению себестоимости.

С 1994 по 2002 гг., обладая мощным высокотехнологичным механическим, инструментальным и машиностроительным производством на базе вакуумных дугогасительных камер собственного производства, предприятие освоило целый ряд вакуумных коммутационных аппаратов.

Все выпускаемые предприятием вакуумные коммутационные аппараты адаптированы и применяются в качестве комплектующих изделий к ячейкам всех КРУ строительных предприятий: ОАО «Самарский завод «Электроцит» г. Саратов, «Московский завод «Электроцит» г. Москва, ПО ОАО «Элтехника» г. Санкт-Петербург, ООО НПП «Электробалт» г. Санкт-Петербург, ООО НПФ «Альянс-Электро» г. Санкт-Петербург, ООО «Ишлейский завод высоковольтной аппаратуры» г. Ишлей, ОА «Альстом-СЭМЗ» г. Екатеринбург, ОАО «Мытищинский электромеханический завод» г. Мытищи, ОАО «Люберецкий электромеханический завод» г. Люберцы, ООО «Электромонтаж-Сервис» Польша и др.

Вакуумные выключатели конструктивно выполнены единым блоком со встроенным приводом, выпрямителем (при необходимости), встроенными расцепителями (до шести штук) в зависимости от исполнения, что позволяет без особых трудностей применять их при реконструкции ячеек выпуска прошлых лет. Для привязки электрических схем, блокировочных устройств, систем докатывания и решения других задач, возникающих при реконструкции ячеек, на предприятии создан отдел, который разрабатывает для производства и согласовывает с потребителем проекты замены масляных выключателей на вакуумные в ячейках выпуска прошлых лет. На сегодняшний день более 25 тыс. возможных вакуумных коммутационных аппаратов надёжно работают у энергетиков нефтедобывающего комплекса, РАО «ЕЭС России», крупных предприятиях различных отраслей промышленности России и СНГ.

На предприятии ежегодно осваивается пять-шесть новых изделий вакуумной коммутационной аппаратуры. Особое внимание необходимо обратить на новейшие разработки, такие как:

- вакуумный выключатель нагрузки типа ВНБ-10-16/630, который имеет огромный (до 50 тыс.) ресурс механического включения и отключения, малые габариты, исполняется встроенным и в выкатном (на кассете) исполнении. Он имеет механическое и полноприводное выключение с применением электромагнита и при необходимости дополнительно оснащается нужными расцепителями;

- вакуумные выключатели типа ВБЭ-10-31,5/2000 и ВБЭ-10-31,5/3150 в габаритных размерах вакуумного выключателя ВБЭ-10-20/630-1600, имеющие отработанный и надёжный электромагнитный привод, большое количество циклов включения-отключения, необходимое количество расцепителей (до шести);

- вакуумный выключатель типа ВБ-10-20/630-1600, достоинствами которого являются малый вес и габариты, современный дизайн, порошковая покраска металлических частей, возможность применения различных необслуживаемых приводов с механической защёлкой, позволяющей ручное включение при отсутствии оперативного напряжения позволяет производить оперативное включение выключателя под нагрузкой на тупиковых подстанциях. Большой механический ресурс 150 циклов при токе короткого замыкания 20 кА и 100 тыс. циклов при номинальном токе, наличие простой необслуживаемой защёлки, возможность поперечного относительно шин расположения привода ставит этот выключатель на уровень лучших мировых аналогов, выпускаемых ведущими фирмами, такими, как «АББ», «Сименс», «Шнайдер-Электрик» и др., имея при этом значительно меньшую стоимость;

- вакуумный выключатель типа ВБЭК-35-25(31,5)/630-1600 в выкатном исполнении не содержащий масла (сухой), климатического исполнения УХЛ2, с электромагнитным приводом;

- вакуумный выключатель типа ВБЭС-35П-25(31,5)/630-1600 УХЛ1 в стационарном исполнении, не содержащий масла (сухой), с электромагнитным приводом;

- низковольтные вакуумные контакторы на рабочее напряжение 1,14 кВ и номинальный ток 630 и 1000 А.

Ведутся работы по созданию выключателя на номинальные напряжения 27,5 и 35 кВ с приводом на переменном токе, автоматического вакуумного выключателя на номинальное рабочее напряжение до 1,14 кВ, ток короткого замыкания 20 кА и рабочий ток 1000 А с применением электронных устройств защиты. Вакуумный автоматический выключатель ВВА-1,14 открытого исполнения с естественным воздушным охлаждением предназначен для проведения тока в номинальном режиме, отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастого оперативного включения и отключения приёмников электрической энергии. Он характеризуется небольшими габаритами и малой массой, рассчитан на длительный срок службы при минимальных затратах на обслуживание.

Вся выпускаемая предприятием вакуумная коммутационная аппаратура испытана и уверенно работает в диапазоне температур окружающей среды от -60 до +50°C и имеет сертификаты соответствия государственным стандартам России, в том числе и сертификаты соответствия стандартам безопасности.

Система качества разработки и производства вакуумных выключателей и контакторов сертифицирована органами сертификации системы качества «Центросерт», имеющий аттестат аккредитации Немецкого совета по аккредитации, подтверждающий, что система качества разработки и производства вакуумной коммутационной аппаратуры на ФГУП НПП «Контакт» соответствует требованиям стандарта ISO 9001:1994/DIN EN ISO 9001:1994, регистрационный номер сертификата TGA-ZM-28-97-00.003.

### 3.2. ВАКУУМНЫЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ

Обширной областью применения вакуумных технологий является производство вакуумных дугогасительных камер (ВДК) – основного элемента современной силовой коммутационной аппаратуры высокого, среднего и низкого напряжения – от 110 кВ до 0,4 кВ.

Локализация процесса дугогашения в ограниченном герметичном объеме ВДК определяет преимущества аппаратов на их основе по сравнению с аппаратами, использующими другие способы дугогашения:

- увеличенная коммутационная стойкость – 50 ... 100 и более отключений при максимальных значениях отключаемых токов КЗ, без обслуживания и замены камеры;

- большой коммутационный ресурс при номинальных токах от 25 000 до 1 000 000 операций «ВО»;

- полную пожаробезопасность.

Аппараты ВДК требуют минимальных затрат и значительно меньшую трудоёмкость на эксплуатационное обслуживание и плановые ремонты; экологически безопасны; имеют в 2–3 раза меньшую массу и габариты; взаимозаменяемы с аппаратами, основанными на других способах дугогашения и аппаратами прошлых лет выпуска.

В таблице 3.1 приведены технические данные по вакуумным дугогасительным камерам.

3.1. Основные параметры вакуумных дугогасящих камер

Обозначение камеры	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Коммутационная износостойкость при номинальном токе, циклов «ВО»
КДВХ4-10-20/1600 УХЛ2	10	1600	20	30 000
КДВ3-10-5/400 УХЛ2	10	400	5	75 000
КДВ2-35-25/1600 УХЛ2	35	1600	25	25 000
КДВ2-10-40/3150 УХЛ2	10	3150	40	4000
КДВА2-10-31,5/1600÷2500 УХЛ2	10	1600 ... 2500	31,5	30 000 15 000 5000
КДВА2-10-12,5/800 УХЛ2	10	800	12,5	30 000
КДВ-35-40/2000 УХЛ2	35	2000	40	20 000
КДВА-1,14-20/1000 УХЛ2	1,14	1000	20	2 млн. в катег. АС-3
КДВ2-1,14-2,5/250 В3	1,14	250	2,5	5 млн. в катег. АС-4

Интенсивно ведутся работы по расширению номенклатуры ВДК в направлении увеличения коммутирующих мощностей – до 100 кА и более для генераторных выключателей гидростанций, повышения коммутируемых напряжений (35 кВ), а в «пакетах» – 110 кВ, создания камер исполнения УХЛ1 для выключателей наружной установки на 35 и 110 кВ. Осваиваются производством камеры, коммутирующие «среднюю» мощность – токи отключения КЗ 5 ... 12,5 кА, номинальные токи 100 ... 800 А, что позволит оптимизировать выбор аппарата в соответствии с параметрами обслуживаемой нагрузки и его стоимостью.

### 3.3. ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Развитием работы по камерам явилась разработка и освоение производства коммутационной аппаратуры на ВДК. В 1995 г. начав выпуск сравнительно простого выключателя для замены маломасляных в КРУ производства Польши (8Т-7,8Т-9), эксплуатируемых предприятиями нефтегазового комплекса, сегодня предприятие выпускает выключатели трёх типов 23 модификаций (табл. 3.2).

Выпускаемые модификации обеспечивают адаптацию к системам автоматики и позволяют осуществлять замену любых выключателей данного класса в КРУ производства прошлых лет.

Закончена разработка документации и ведётся подготовка производства сводных выключателей, обеспечивающих номинальные токи отключения 31,5 кА и 40 кА и номинальные токи соответственно 1600 А и токи отключения 40 кА.

Специально для энергетики подготовлен выпуск выключателей на 35 кВ с электромагнитным и пружинно-моторным приводами исполнения УХЛ2 и УХЛ1. Отличие указанных выключателей от выключателей других фирм состоит в полном отсутствии масла и замене фарфоровой опорной (строительной) изоляции на конструкции из кремнефторсодержащих композиций. Технология изготовления изоляции разработана и внедрена на предприятиях атоммаша, применена в изделиях для энергетики, которые более 14 лет эксплуатируются в виде подвесок ЛЭП 220 кВ в различных климатических районах РФ и СНГ.

Проведены разработки, и начат выпуск опытных партий выключателей 35 кВ на номинальные токи 2000 А и токи отключения 31,5 кА с пружинно-моторным приводом исполнения УХЛ1.

В таблице 3.3 приведены основные параметры, разрабатываемой и выпускаемой коммутационной аппаратуры.

Рассмотрим подробно некоторые виды вакуумных выключателей, которые выпускаются ФГУП НПП «Контакт», г. Саратов.

**3.2. Основные параметры вакуумных выключателей на 10 кВ**

Тип аппарата	Класс напряжения, кВ	Номинальный ток, А	Номинальный ток отключения, кА	Управление приводом		Примечание
				напр. ном., В пост., В перем., В	ток потр., А пост., А перем., А	
ВБТ-10-20/630-1250 УХЛ3*	10	630 1250	20	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{80; 40}{40}$	сертификат; выпускается (по техтребованиям заказчика) в стационарном и выкатном исполнениях
ВБЭ-10-20/1600 УХЛ2*	10	1600	20	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{80; 40}{40}$	производство с III кв. 1997 г., стационарное, выкатное исполнение
ВБЭМ-10-5/400 У2 УХЛ5	10	400	5	$\frac{110; 220}{220}$	10	малогабаритный выпуск – янв. 1998 г.
ВБПС-10-20/1600 УХЛ2**	10	1600	20	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{3,0; 1,6}{1,9}$	производство с III кв. 1997 г. под. яч. К-59, К-104
ВБЭК-10-40/1600 УХЛ2	10	1600	40	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{140; 70}{70}$	производство I кв. 1998 г.
ВБЭК-10-40/3150 УХЛ2	10	3150	40	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{140; 70}{70}$	производство II кв. 1998 г.
ВБПК-35-20/1600 УХЛ2	35	1600	20	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{140; 70}{70}$	производство I кв. 1998 г.
ВБПС-35-40/2000 УХЛ1	35	2000	40	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{3,0; 1,6}{1,9}$	I кв. 1998 г.

\* Выключатели, по желанию заказчика, могут быть укомплектованы пружинно-моторным приводом.

\*\* Для ячеек К-59 и К-104 (АО «Московский завод «Электроцит», АО «Самарский завод «Электроцит»).

Продукция	Тип КДВ	Основные характеристики											Состояние производства
		$U_{ном.}, \text{кВ}$	$I_{ном.}, \text{А}$	$I_{откл.}, \text{кА}$	$U_{п. ном.}, \text{В}$ пост., В перем., В	$I_{потр.}, \text{А}$ привода	Ресурс циклов		$t_{вкл.}, \text{с}$ собств., с	$t_{откл.}, \text{с}$ собств., с	Срок службы, лет	Масса, кг	
							$I_{ном}$	$I_{ном}$					
ВБПК-35-20/1600 УХЛ2	КДВ2-35-25/1600	35	1600	20	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{140; 70}{70}$	25 000	50	0,1	0,06	25	300	Опытная партия выпуск I кв. 1998 г.
ВБПС-35-40/2000 УХЛ1	КДВ-35-40/200	35	2000	40	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{3,0; 1,6}{1,9}$	25 000	25	0,1	0,06	25	1100	Опытная партия выпуск I кв. 1998 г.
Контактор КВТ-10-4/400 У2, УХЛ5	КДВ3-10-5/400	10	400	4	$\frac{110; 127; 220}{220}$ $\frac{110; 127; 220}{220}$	11,10,5 11,10,5	75 000	50	0,15	0,03	25	40	Сертифицирован; выпускается
Расцепитель (выключатель) для бытовых однофазных счетчиков энергии ВВМО-0,22-0,05/5 У3		220 В	5	0,05	27 В пост.	1,6	3000	300	0,03 ... 0,1	0,03 ... 0,1	25	0,075	Выпускается

\* Выключатели могут быть укомплектованы (по желанию заказчика) пружинно-моторным приводом.

\*\* Для ячеек К-59, К-104 (АО «Московский завод «Электросит», АО «Самарский завод «Электросит»).

### 3.3.1. Выключатель вакуумный ВБЭМ-10-20(12,5)/1000(800) УХЛ2

Выключатели предназначены для частых коммутационных операций в ячейках КРУ, устанавливаемых в энергосистемах трёхфазного тока частотой 50 Гц с изолированной или компенсированной нейтралью, а также в шкафах управления приёмниками электрической энергии промышленных предприятий (рис. 3.1).

Допускается применение выключателей для пуска и отключения асинхронных двигателей с короткозамкнутым или фазным ротором, а также торможения указанных двигателей противотоком и отключения медленно вращающихся электродвигателей. В случае необходимости эксплуатации выключателей в условиях непредусмотренных в ТУ, завод имеет возможность модернизации выключателя по заявке заказчика.

Выключатели соответствуют требованиям ГОСТ 687–78, ГОСТ 18397–86 и КУЮЖ 674152.014 ТУ.

#### Основные технические характеристики

Номинальное напряжение, кВ.....	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.....	12
Номинальный ток, А .....	1000 (800)*
Номинальный ток отключения, кА.....	20 (12,5)*

#### Сквозной ток короткого замыкания:

ток электродинамической стойкости, кА.....	51
ток термической стойкости, кА.....	20
время протекания тока термической стойкости, с.....	3

Полное время включения, мс, не более..... 150

Собственное время отключения, мс, не более..... 40

#### Токи потребления электромагнита включения:

при номинальном напряжении –220 В,.....	не более 40 А
при номинальном напряжении –110 В,.....	не более 80 А
при номинальном напряжении ~220 В,.....	не более 40 А

#### Токи потребления электромагнита отключения:

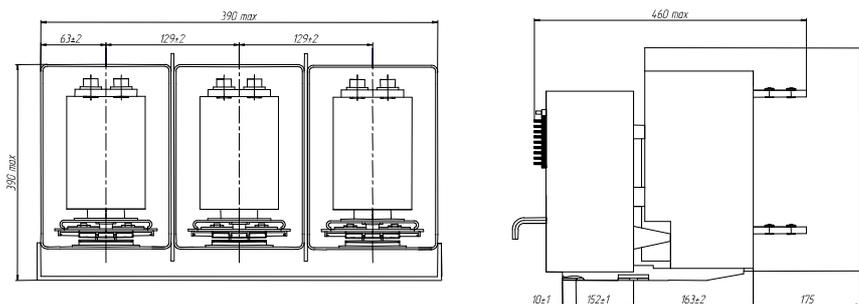
при номинальном напряжении –220 В,.....	не более 3,0 А
при номинальном напряжении –110 В,.....	не более 1,5 А
при номинальном напряжении ~220 В,.....	не более 2,0 А

Электрическое сопротивление постоянному току

\* Параметры выключателя ВБЭМ-10-12,5/800 УХЛ2 указаны в круглых скобках.

главной цепи полюса, мкОм, не более..... 100  
Ход подвижного контакта полюса, мм..... 6<sup>+2</sup>  
Масса выключателей должна быть не более, кг..... 60

Габаритные и установочно-присоединительные размеры выключателя приведены на рис. 3.1.



**Рис. 3.1. Габаритные и установочно-присоединительные размеры выключателя**

**Условия эксплуатации:**

- выключатели изготавливаются в климатическом исполнении УХЛ, категория размещения 2 по ГОСТ 15150–69;
- выключатели предназначены для работы на высоте над уровнем моря до 1000 м;
- верхнее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации +50°C;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации –45°C;
- относительная влажность воздуха при температуре +25°C 100% с конденсацией влаги;
- атмосферные конденсированные осадки – в условиях выпадения росы.

**Требования к надёжности:**

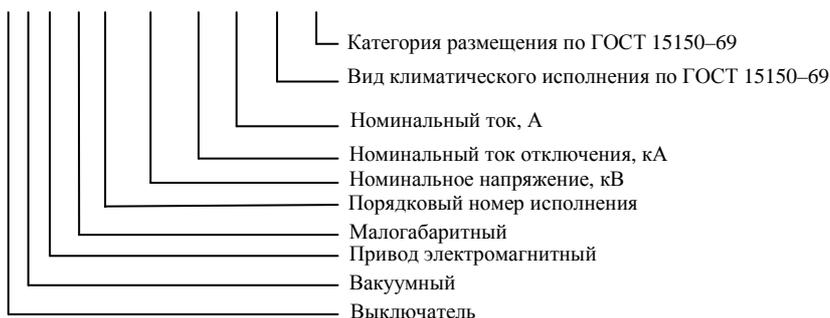
- ресурс по механической стойкости – 50 000 циклов «ВО»;
- ресурс по коммутационной стойкости выключателей:
  - а) при номинальном токе должен быть не менее 50 000 циклов «ВО»;
  - б) при токах короткого замыкания 20 (12,5) кА должен быть не менее 100 циклов «ВО»;
- срок службы выключателей до среднего ремонта не менее 12 лет;
- срок службы до списания – 25 лет.

**Примечание.** Срок службы указан для выключателей, у которых не исчерпан ресурс по коммутационной или механической стойкости.

Гарантийный срок эксплуатации – пять лет со дня ввода в эксплуатацию.

**Структура условного обозначения выключателя**

ВБЭМХ – 10 – X / X УХЛ 2



Пример записи обозначения выключателя в других документах и(или) при заказе:

*выключатель ВБЭМ1-10-20/1000 УХЛ2 КУЮЖ.674152.014 ТУ* – условное обозначение малогабаритного вакуумного выключателя исполнения 1 на номинальный ток 1000 А, номинальный ток отключения 20 кА, номинальное напряжение 10 кВ с электромагнитным приводом.

**Устройство и работа выключателя.** Выключатель состоит из трёх дугогасительных полюсов и привода, закреплённых на общем основании. Каждый полюс содержит вакуумную дугогасительную камеру (КВД), механизм дополнительного поджатия контактов КДВ и токовыводы, конструктивно расположенные в корпусе.

Выключатель оснащён тремя пневматическими демпферами.

Электромагнитный привод через рычаг замыкает и размыкает контакты КДВ.

Общее основание, корпус полюса, рычаг привода изготовлены из изоляционного прессматериала АГ-4В.

Электрическая схема блока питания и управления собрана на панели, закреплённой на корпусах дугогасительных блоков.

Выключатель имеет в своём составе аварийные расцепители максимального тока, минимального напряжения и расцепитель от независимого источника.

**Включение выключателя.** При подаче напряжения срабатывает контактор и замыкает цепь питания электромагнита включения:

- счётчик циклов учитывает рабочий ход, увеличив показание на 1 цикл;
- электромагнит притягивает плиту, рычаг поворачивается и сжимает пружины отключения.

Второй конец рычага перемещает вверх подвижные штоки камер до замыкания их контактов. Сжатые пружины обеспечивают поджатие подвижных контактов камер к неподвижным верхним контактам с определённым усилием.

Когда электромагнит притягивает плиту, она перемещается вниз – выключатель фиксируется во включённом положении (становится на механическую защёлку).

Для настройки выключателя имеется возможность неоперативного ручного включения. Оно осуществляется рычагом при снятом защитном кожухе.

Ручное включение выключателя под нагрузку ЗАПРЕЩАЕТСЯ!

**Отключение выключателя.** Отключение выключателя производится электромагнитом оперативного отключения или одним из расцепителей.

Для оперативного или неоперативного ручного отключения выключателя предусмотрена специальная красная кнопка на панели выключателя.

Для дистанционного механического оперативного и неоперативного отключения выключателя в отключающем устройстве имеется тросик длиной 1800 мм при приложении вытягивающего усилия, к которому происходит отключение.

### 3.3.2. Выключатели вакуумные ВБ-10-20/630-1600 УХЛ2

Выключатели предназначены для частых коммутаций электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в ячейках комплектных распределительных устройств в электрических сетях трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 6 ... 10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью (см. рис. 3.2).

В выключателях применена камера дугогасительная вакуумная КДВА5-10-20/1600 УХЛ2 по МИБД.686484.025 ТУ.

Выключатели соответствуют требованиям ГОСТ 687–78, ГОСТ 18397–86 и КУЮЖ.674152.012 ТУ.

#### *Основные технические характеристики*

Номинальное напряжение, кВ .....	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.....	12
Номинальный ток, А .....	1600 (630; 1000; 1250)
Номинальный ток отключения, кА .....	20
<i>Собственное время включения, мс, не более:</i>	
электромагнитным приводом .....	70
пружинно-магнитным приводом .....	50
<i>Сквозной ток короткого замыкания:</i>	
ток электродинамической стойкости, кА .....	51
ток термической стойкости, кА .....	20
время протекания тока термической стойкости, с ...	3
Собственное время отключения, мс, не более .....	40
Полное время отключения, мс, не более .....	60
<i>Расцепитель минимального напряжения:</i>	
номинальное напряжение, В .....	100 переменного тока
напряжение срабатывания, В .....	от 0,35 до 0,5 ном.
напряжение возврата, В .....	не более 0,85 ном.
выдержка времени срабатывания	
при полном снятии напряжения (в зависимости	
от величины подключенной ёмкостной	
батареи, входящей в состав выключателя), с .....	0,8 или 1,6, или 2,4, или 3,2 или 4
отклонение времени срабатывания	
относительно среднего значения	±0,3
при полном снятии напряжения, с, не более .....	
потребление мощности при подтянутом якоре	30
и при номинальном напряжении, В·А, не более .....	
<i>Расцепитель с питанием от независимого источника:</i>	220В; ~220В
номинальное напряжение питания тока .....	не более 0,45 А; 2,0 А
ток потребления при номинальном напряжении ....	
<i>Расцепитель максимального тока:</i>	3 или 5

ток срабатывания, А .....	
потребление мощности при неподтянутом якоре, В·А .....	не более 40
<i>Пружинно-магнитный привод.</i>	
Ток потребления электромагнита включения и отключения:	
при номинальном напряжении 220 В переменного тока, А .....	2
при номинальном напряжении 220 В постоянного тока, А .....	0,45 или 1,5
при номинальном напряжении 110 В постоянного тока, А .....	0,9 или 3,0
Ток потребления электромагнита взвода пружины:	
при номинальном напряжении 220В постоянного и переменного тока, А .....	3,0
при номинальном напряжении 110 В постоянного тока, А .....	6
время заводки включающей пружины, с .....	15
<i>Электромагнитный привод.</i>	
Токи потребления электромагнита включения:	
при номинальном напряжении 220 В переменного и постоянного тока, А .....	30
при номинальном напряжении 110 В постоянного тока, А .....	60
Токи потребления электромагнита отключения:	
при номинальном напряжении 220 В переменного тока, А .....	2
при номинальном напряжении 220 В постоянного тока, А .....	0,45 или 1,5
при номинальном напряжении 110 В постоянного тока, А .....	0,9 или 3,0
<i>Масса выключателей должна быть не более.</i>	
с электромагнитным приводом, кг .....	70
с пружинно-магнитным приводом, кг .....	75

Внешний вид исполнения выключателя приведён на рис. 3.2 и табл.3.4.

#### **Условия эксплуатации:**

- выключатели изготавливаются в климатическом исполнении УХЛ, категория размещения 2 по ГОСТ 15150–69;
- выключатели предназначены для работы на высоте над уровнем моря до 1000 м;
- верхнее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации +50°С;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации –60°С;
- относительная влажность воздуха при температуре +25°С 100% с конденсацией влаги;
- атмосферные конденсированные осадки – в условиях выпадения росы.

#### **Требования к надёжности:**

- ресурс по механической стойкости выключателя:
  - а) с электромагнитным приводом – 50 000 циклов «ВО»;
  - б) с пружинно-магнитным приводом – 40 000 циклов «ВО»;
- ресурс по коммутационной стойкости при нагрузочных токах для выключателя:
  - а) с электромагнитным приводом – 50 000 циклов «ВО»;
  - б) с пружинно-магнитным приводом – 40 000 циклов «ВО»;
- срок службы выключателей до среднего ремонта не менее 12 лет;
- срок службы до списания – 30 лет.

**Примечание.** Срок службы указан для выключателей, у которых не исчерпан ресурс по коммутационной или механической стойкости.

Гарантийный срок эксплуатации – 5 лет со дня ввода в эксплуатацию.

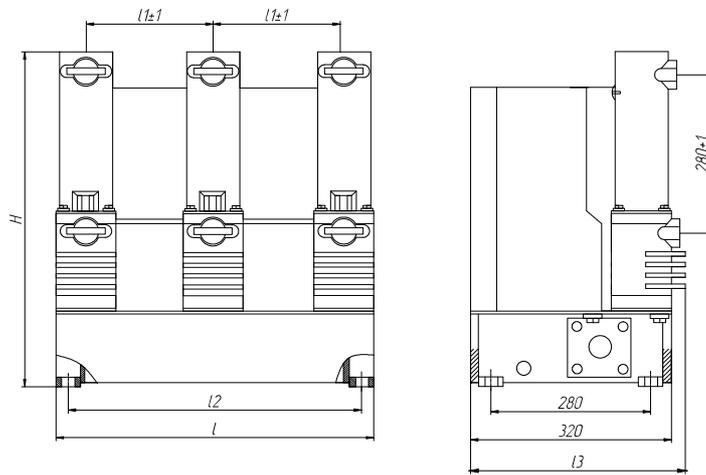


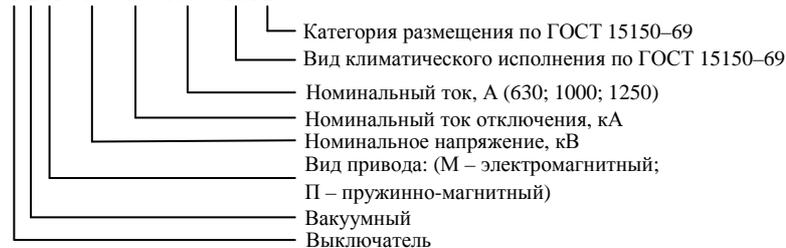
Рис. 3.2. Типы конструктивных исполнений выключателя типа ВБ-10-20

Таблица 3.4

Исполнения	Условное обозначение типа исполнения	Напряжение шин питания, В	Напряжение шин управления, В	Размеры, мм					
				$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l$	H	
КУЮЖ.674152.012-30	ВБМ-10-20	~220	~220	150	432	515	456	568	
КУЮЖ.674152.012-31				200	516	400	540	565	
КУЮЖ.674152.012-32				230	576	400	600	565	
КУЮЖ.674152.012-33		-220	-220	150	432	515	456	568	
КУЮЖ.674152.012-34				200	516	400	540	565	
КУЮЖ.674152.012-35				230	576	400	600	565	
КУЮЖ.674152.012-36		-110	-110	150	432	515	456	568	
КУЮЖ.674152.012-37				200	516	400	540	565	
КУЮЖ.674152.012-38				230	576	400	600	565	
КУЮЖ.674152.012-40		ВБП-10-20	~220	~220	150	432	515	456	568
КУЮЖ.674152.012-41					200	516	400	540	565
КУЮЖ.674152.012-42					230	576	400	600	565
КУЮЖ.674152.012-50	-220		-220	150	432	515	456	568	
КУЮЖ.674152.012-51				200	516	400	540	565	
КУЮЖ.674152.012-52				230	576	400	600	565	
КУЮЖ.674152.012-53	-110	-110	150	432	515	456	568		
КУЮЖ.674152.012-54			200	516	400	540	565		
КУЮЖ.674152.012-55			230	576	400	600	565		
КУЮЖ.674152.012-56	-110	-110	150	432	515	456	568		
КУЮЖ.674152.012-57			200	516	400	540	565		
КУЮЖ.674152.012-58			230	576	400	600	565		

**Структура условного обозначения выключателя**

В В X - 10 - 20 / 1600 УХЛ 2



Пример записи обозначения выключателей в других документах и(или) при заказе:

*выключатель ВБМ-10-20/1600 УХЛ2 КУЮЖ.674152.012 ТУ* – условное обозначение вакуумного выключателя на номинальный ток 1600 А, номинальный ток отключения 20 кА, номинальное напряжение 10 кВ с электромагнитным приводом.

**Комплектация.** Комплектация выключателя осуществляется только по карте заказа, в которой учитываются особенности подстанции заказчика (оперативное напряжение подстанции, тип ячейки, межполюсное расстояние, состав и количество расцепителей, принадлежности для установки и присоединения).

**Устройство и работа выключателя.** Выключатель представляет собой аппарат трёхполюсного исполнения с функционально зависимыми полюсами со встроенным приводом. Операции включения осуществляются приводом прямого действия за счёт тягового усилия электромагнита включения (выключателей с *электромагнитным приводом*) или приводом косвенного действия за счёт тягового усилия пружины включения (выключателей с *пружинно-магнитным приводом*). Отключение выключателя (в том числе автоматическое отключение при токах короткого замыкания или перегрузках) осуществляется за счёт энергии, запасённой пружиной отключения выключателя при включении.

Гашение дуги в выключателе осуществляется вакуумными дугогасительными камерами (КДВ). Электрическая дуга, благодаря специальной форме контактов, создающих собственное продольное (аксиальное) магнитное поле с диффузионной формой горения дуги, распадается и гасится при переходе тока через ноль. Благодаря высокой электрической прочности вакуумного промежутка в течение долей секунды между контактами восстанавливается напряжение.

Выключатель состоит из трёх дугогасительных полюсов, закреплённых на корпусе привода выключателя. Каждый полюс содержит вакуумную дугогасительную камеру, механизм дополнительного поджатия контактов КДВ и токовыводы.

*Пружинно-магнитный привод* состоит из электромагнита взвода пружины, пружины включения, электромагнита включения, блока механических защёлки, демпфирующего гидравлического устройства, электромагнита отключения и аварийных расцепителей. Электрическая схема блока питания и управления выключателем собрана на панели, закреплённой в корпусе привода.

*Электромагнитный привод* состоит из электромагнита включения, блока механических защёлки, демпфирующего гидравлического устройства, электромагнита отключения и аварийных расцепителей. Электрическая схема блока питания и управления выключателем собрана на панели, закреплённой в корпусе выключателя.

**Включение выключателя.** В исходном положении контакты камеры дугогасительной вакуумной разомкнуты, выключатель удерживается отключающей пружиной в отключённом положении.

*Оперативное включение выключателя с пружинно-магнитным приводом* производится нажатием кнопки «ВКЛ» или подачей напряжения на включающий электромагнит, при этом пружина включения, предварительно взведённая электромагнитом заводки или вручную, поворачивает вал привода. Рычаги, связанные с валом тяговыми изоляторами, замыкают контакты КДВ и создают усилие поджатия контактов КДВ. Одновременно при повороте вала производится взвод отключающей пружины, переключение блока контактов и постановка на механическую защёлку.

Происходит включение выключателя. После включения выключателя автоматически подаётся команда на электромагнит взвода пружины включения. Включённый выключатель с взведённой пружиной включения позволяет выполнить циклы АПВ: п. 1, 1а, 2 по ГОСТ 687–78.

*Для ручного включения выключателя с пружинно-магнитным приводом* необходимо предварительно рычагом взвести включающую пружину. После чего производится как оперативное, так и неоперативное включение выключателя нажатием на кнопку «ВКЛ».

*Оперативное включение выключателя с электромагнитным приводом* производится подачей напряжения на электромагнит, якорь электромагнита втягивается и поворачивает вал привода. Рычаги, связанные с валом тяговыми изоляторами, замыкают контакты КДВ и создают усилие поджатия контактов КДВ. Одновременно при повороте вала производится взвод отключающей пружины, переключение блока контактов и постановка на механическую защёлку. Происходит включение выключателя.

*Ручное неоперативное включение выключателя с электромагнитным приводом* осуществляется поворотом вала рычагом.

Ручное включение выключателя с *электромагнитным приводом* под нагрузку ЗАПРЕЩАЕТСЯ!

**Отключение выключателя.** При подаче сигнала на электромагнит отключения или аварийного сигнала на один из расцепителей максимального тока, или на расцепитель минимального напряжения, или на расцепитель от независимого источника тока тяги электромагнитов воздействуют на защёлку. Блок защёлки освобождает вал привода. За счёт энергии, запасённой пружинами поджатия контактов КДВ блоков дугогасительных и отключающей пружины, вал привода выключателя возвращается в исходное положение. Происходит отключение выключателя. Механизм привода подготовлен к включению.

Ручное оперативное и неоперативное отключение выключателя осуществляется красной кнопкой «ОТКЛ», расположенной на панели выключателя.

### 3.3.3. Выключатели вакуумные ВБЭ-10-20/630-1600 УХЛ2

Выключатели предназначены для частых коммутаций электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в ячейках комплектных распределительных устройств в электрических сетях трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 6 ... 10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью (рис. 3.3 – 3.7).

Выключатели соответствуют требованиям ГОСТ 687–78, ГОСТ 18397–86, КУЮЖ.674152.001 ТУ.

В выключателях применена камера дугогасительная вакуумная КДВХ4-10-20/1600 УХЛ2 по ИМПБ.686484.017 ТУ и КДВА5-10-20/1600 УХЛ2 по МИБД.686484.025 ТУ.

В случае необходимости эксплуатации выключателей в условиях непредусмотренных в ТУ, завод имеет возможность модернизации выключателя по заявке заказчика.

### **Основные технические характеристики**

Номинальное напряжение, кВ .....	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.....	12
Номинальный ток, А.....	1600 (630; 1000; 1250)*
Номинальный ток отключения, кА.....	20
<i>Сквозной ток короткого замыкания:</i>	
ток электрической стойкости, кА.....	51
ток термической стойкости, кА.....	20
время протекания тока термической стойкости, с	3
Собственное время включения, мс, не более.....	100
Собственное время отключения, мс, не более ...	40
<i>Токи потребления электромагнита включения:</i>	
при номинальном напряжении 220 В переменного и постоянного тока, А .....	40
при номинальном напряжении 110 В постоянного тока, А .....	80
<i>Расцепитель минимального напряжения:</i>	
номинальное напряжение .....	не более 100 В
напряжение срабатывания .....	переменного тока от 0,35 до 0,5 ном.
напряжение возврата .....	не более 0,85 ном.
выдержку времени срабатывания при полном снятии напряжения (в зависимости от величины подключённой ёмкостной батареи, входящей в состав выключателя) ...	0,5 с или 1 с, или 2 с, или 3 с, или 4 с
отклонение времени срабатывания относительно среднего значения при полном снятии напряжения, с, не более .....	±0,3
потребление мощности при подтянутом якорей при номинальном напряжении, В·А, не более .....	30
<i>Расцепитель с питанием от независимого источника:</i>	
номинальное напряжение питания постоянного тока .....	220В
диапазон отклонений номинального напряжения	154 ... 242 В
ток потребления при номинальном напряжении	не более 0,5 А
<i>Масса выключателей должна быть не более:</i>	
стационарного исполнения, кг .....	120
выкатного исполнения, кг .....	200

Внешний вид исполнений выключателя приведён на рис. 3.3 – 3.7.

#### **Условия эксплуатации:**

- выключатели изготавливаются в климатическом исполнении УХЛ, категория размещения 2 по ГОСТ 15150–69;
- выключатели предназначены для работы на высоте над уровнем моря до 1000 м;
- верхнее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации +55°С;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации –60°С;
- относительная влажность воздуха при температуре +25°С 100% с конденсацией влаги;
- атмосферные конденсированные осадки – в условиях выпадения росы.

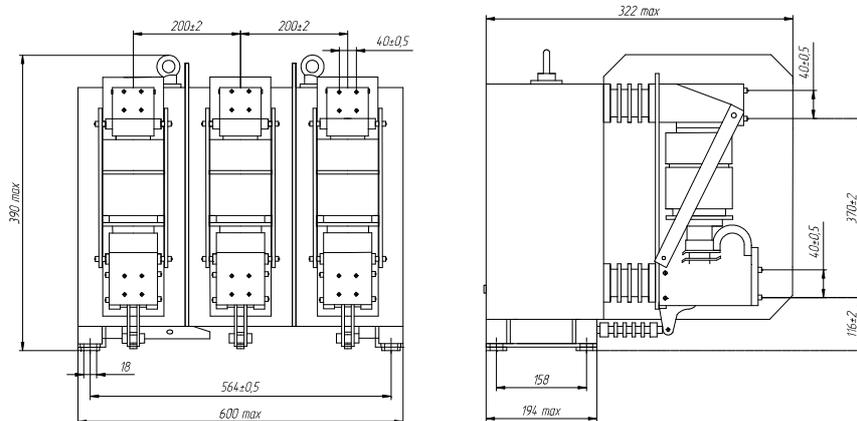
#### **Требования к надёжности:**

- ресурс по механической стойкости – 50 000 циклов «ВО»;
- ресурс по коммутационной стойкости при нагрузочных токах – 50 000 циклов «В- $t_n$ -О», где  $t_n$  – произвольная пауза;
- ресурс по коммутационной стойкости при номинальном токе отключения – 100 циклов «ВО»;

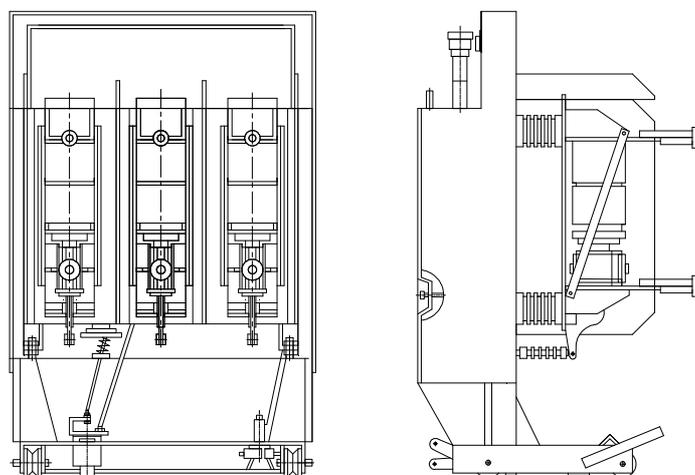
---

\* Допускается использование выключателей с номинальным током 1000 А на номинальный ток 630 А.  
Допускается использование выключателей с номинальным током 1600 А на номинальный ток 1250 А.

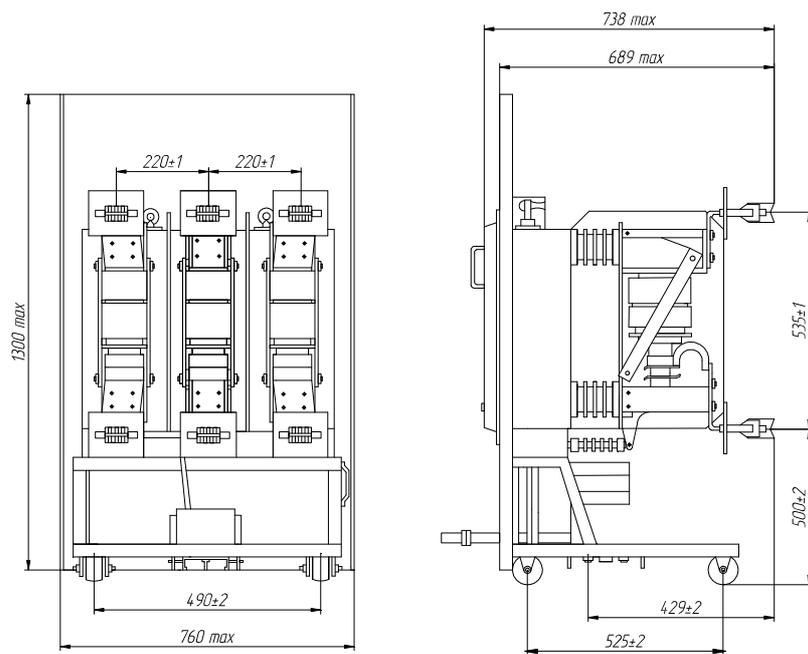




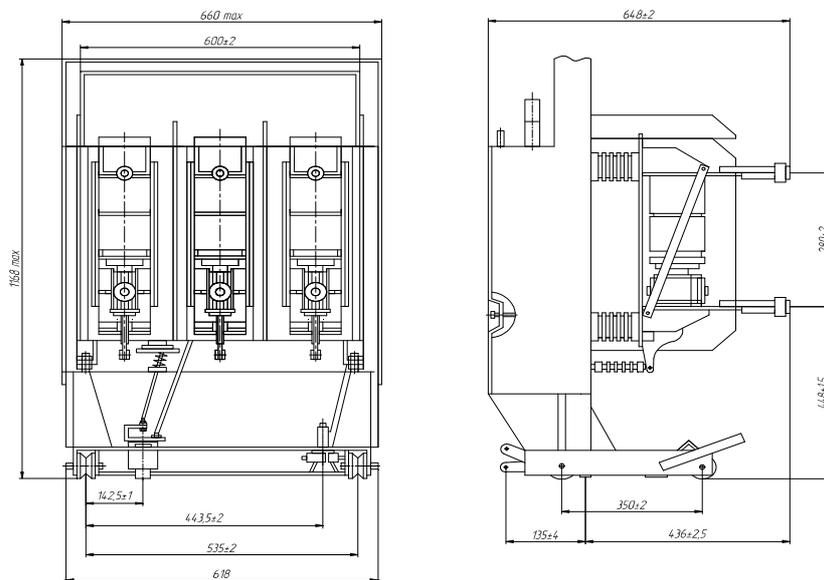
**Рис. 3.3. Конструктивное исполнение выключателя типа ВБЭС**



**Рис. 3.4. Конструктивное исполнение выключателя типа ВБЭК для ячейки К-104М**



**Рис. 3.5. Конструктивное исполнение выключателя типа ВБЭК для ячейки ST-7**



**Рис. 3.6. Конструктивное исполнение выключателя типа ВБЭК для ячейки К-59**

**Отключение выключателя.** При подаче сигнала на электромагнит отключения или на один из расцепителей максимального тока, или на расцепитель минимального напряжения, или на расцепитель от независимого источника тока тяги электромагнитов воздействуют на блок защёлки. Блок защёлки освобождает вал привода. За счёт энергии, запасённой пружинами поджатия контактов КДВ блоков дугогасительных и отключающей пружины, вал привода выключателя возвращается в исходное положение. Происходит отключение выключателя. Механизм привода подготовлен к включению.

Ручное оперативное и неоперативное отключение выключателя осуществляется красной кнопкой, расположенной на панели выключателя.

### 3.3.4. Выключатель нагрузки вакуумный ВНБ-10/630-16 УХЛ2

Выключатели нагрузки вакуумные предназначены для работы в электрических сетях с изолированной нейтралью, а по требованию заказчика, с заземлённой нейтралью, а также для частых коммутационных операций трёхфазного переменного тока класса напряжения 10 кВ с частотой 50 Гц.

Вакуумные выключатели нагрузки разработаны с целью замены автогазовых выключателей нагрузки.

Выключатели соответствуют требованиям ГОСТ 17717–79 и техническим условиям КУЮЖ.674212.001 ТУ.

В выключателях применена камера дугогасительная вакуумная КДВА2-10-20/1000 УХЛ2.

#### **Основные технические характеристики**

Номинальное напряжение, кВ.....	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.....	12
Номинальный ток, А.....	630
Номинальная периодическая составляющая тока короткого замыкания, кА.....	16
Собственное время включения, мс, не более.....	150
Собственное время отключения, мс, не более.....	40
<i>Токи потребления силового электромагнита включения:</i>	
при номинальном напряжении –220 В, не более	35 А
при номинальном напряжении –110 В, не более	70 А
при номинальном напряжении ~220 В, не более	35 А
<i>Токи потребления электромагнитов включения/отключения:</i>	
при номинальном напряжении –220 В, не более	1,5 А
при номинальном напряжении –110 В, не более	3,0 А
при номинальном напряжении ~220 В, не более	2,0 А
<i>Электрическое сопротивление постоянному току</i>	
главной цепи полюса, мкОм, не более.....	50
Ход подвижного контакта полюса, мм.....	6 <sup>+2</sup>
Масса выключателей должна быть не более, кг .....	70

Габаритные и установочно-присоединительные размеры выключателя приведены на рис. 3.7 и 3.8.

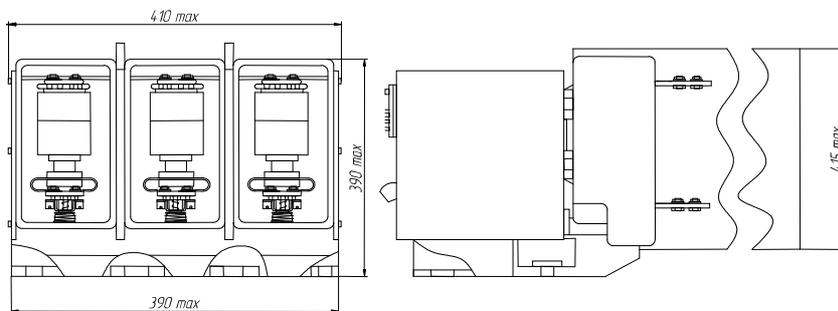


Рис. 3.7. Габаритные и установочно-присоединительные размеры выключателя (стационарное исполнение)

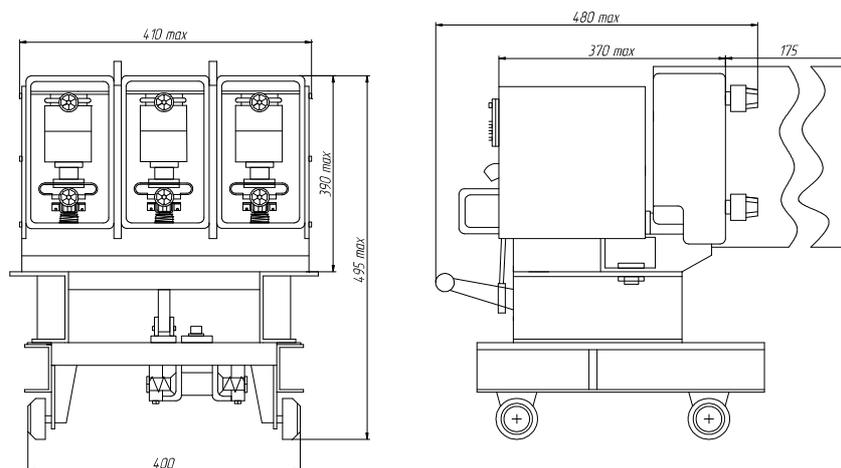


Рис. 3.8. Габаритные и установочно-присоединительные размеры выключателя (выкатное исполнение)

**Условия эксплуатации:**

- выключатели изготавливают в климатическом исполнении УХЛ, категория размещения 2 по ГОСТ 15150–69;
- выключатели предназначены для работы на высоте над уровнем моря до 1000 м;
- верхнее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации +50°C;
- нижнее значение температуры окружающего воздуха при эксплуатации –60°C;
- относительная влажность воздуха при температуре +25°C 100% с конденсацией влаги;
- атмосферные конденсированные осадки – в условиях выпадения росы.

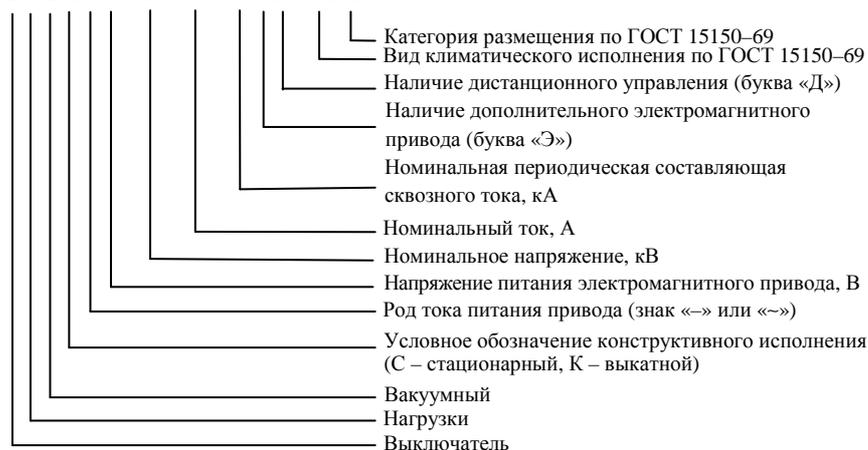
**Требования к надёжности:**

- ресурс по механической стойкости – 10 000 циклов «ВО»;
- ресурс по коммутационной стойкости выключателей при минимальном токе должен быть не менее 10 000 циклов «ВО»;
- срок службы выключателей до среднего ремонта не менее 12 лет;
- срок службы до списания – 25 лет.

Примечание. Срок службы указан для выключателей, у которых не исчерпан ресурс по коммутационной или механической стойкости.

**Структура условного обозначения выключателя**

В Н Б Х Х Х – 10 / 630 – 16 Х Х УХЛ 2



Пример записи обозначения выключателей в других документах и(или) при заказе:

*выключатель ВНК~220-10/630-16ЭД УХЛ2 КУЮЖ.674212.001 ТУ* – условное обозначение выключателя нагрузки вакуумного, выкатного исполнения, на переменное напряжение питания привода 220 В, с номинальным напряжением 10 кВ, на номинальный ток 630 А, с номинальной периодической составляющей сквозного тока короткого замыкания 16 кА, с дополнительным электромагнитным приводом и с дистанционным управлением операциями включения и отключения, климатического исполнения УХЛ, категории размещения 2.

**Устройство и работа выключателя.** Выключатели нагрузки имеют следующие исполнения:

- а) стационарный вариант выключателя нагрузки под установочные размеры ячейки КРУ;
- б) выкатной вариант выключателя нагрузки на тележке под вкатывание в колею ячейки КРУ.

Выключатели нагрузки всех исполнений оснащены встроенным пружинным приводом косвенного действия с ручным взводом включающей пружины и ручным включением и отключением с помощью кнопок.

Выключатели нагрузки исполнений ВНК~220-10/630-16Д УХЛ2 и ВНК~220-10/630-16 ЭД УХЛ2, ВНК~220-10/630-16Д УХЛ2 и ВНК~220-10/630-16ЭД УХЛ2, ВНК~110-10/630-16Д УХЛ2 и ВНК~110-10/630-16ЭД УХЛ2 оснащены дополнительно:

- электромагнитами управления;
- силовым электромагнитом включения (исполнения «ЭД»);
- коммутирующими контактами для внешних вспомогательных цепей – пять замыкающих и пять размыкающих на напряжение 220 В и ток не более 2 А;
- электрической блокировкой от самопроизвольных операций включения или отключения при непостановке на защелку;
- электрической блокировкой против повторения операций включения и отключения, когда команда на включение продолжает оставаться поданной после автоматического отключения выключателя;
- электрической блокировкой от самопроизвольного повторного включения при включении на КЗ на время действия сигнала включения;
- механической блокировкой и связанной с ней электрической блокировкой от самопроизвольных операций включения при вкатывании и выкатывании тележки.

Тележка выключателей нагрузки выкатного исполнения имеет:

- устройство для фиксации выключателя нагрузки в крайних положениях;
- устройство блокировки против выкатывания и закатывания выключателя во включённом положении;
- защитный щит.

**Включение выключателя.** Включение выключателей без дистанционного управления и дополнительного электромагнитного привода (исполнение ВНК-10/630-16 УХЛ2):

Для подготовки выключателя к включению необходимо взвести ручную включающую пружину.

Включение выключателя производится вручную с помощью кнопки включения, которая расцепляет механизм защёлки. Выключатель включается с помощью энергии запасённой в пружине включения. При этом сжимаются пружины отключения и выключатель становится на механическую защёлку. Он готов к операции отключения.

- Включение выключателей с дистанционным управлением (исполнения ВНК~220-10/630-16Д УХЛ2, ВНК~220-10/630-16Д УХЛ2, ВНК~110-10/630-16Д УХЛ2):

Для подготовки выключателя к включению необходимо взвести ручную включающую пружину.

Включение выключателя производится либо вручную с помощью кнопки включения, либо автоматически при подаче сигнала на включение. При этом срабатывает электромагнит включения, который расцепляет механизм защёлки. Выключатель включается с помощью энергии, запасённой в пружине включения. При этом сжимаются пружины отключения и выключатель становится на механическую защёлку. Он готов к операции отключения.

- Включение выключателей с дистанционным управлением и дополнительным электромагнитным приводом (исполнения ВНК~220-10/630-16 ЭД УХЛ2, ВНК~220-10/630-16ЭД УХЛ2, ВНК~110-10/630-16ЭД УХЛ2):

Для подготовки выключателя к включению необходимо взвести ручную включающую пружину и произвести включение либо вручную с помощью кнопки включения, либо автоматически при подаче сигнала на включение. Включение выключателей происходит аналогично включению, описанному для выключателей с дистанционным управлением.

Предусмотрена также возможность включения выключателей без предварительного взвода пружины, с помощью силового электромагнита включения. При подаче сигнала на включение, срабатывает контактор и замыкает цепь питания силового электромагнита включения, который притягивает плиту, рычаг поворачивается и сжимает пружины отключения.

**Отключение выключателя.** Отключение выключателей без дистанционного управления и дополнительного электромагнитного привода (исполнения ВНК-10/630-16 УХЛ2) производится вручную с помощью кнопки отключения, которая срывает с защёлки механизм отключения и выключатель отключается с помощью энергии, запасённой в отключающих пружинах.

Отключение выключателей прочих исполнений производится либо вручную (см. вышеописанный способ), либо автоматически при подаче сигнала на отключение. При этом срабатывает электромагнит отключения, который срывает с защёлки механизм отключения и выключатель отключается.

**ВНИМАНИЕ!** Конструкция выключателей всех исполнений предусматривает возможность следующей последовательности действий:

1. Ручной взвод пружины включения.
2. Включение выключателей любым из описанных способов.
3. Повторный ручной взвод пружины включения.
4. Отключение выключателя любым из описанных способов.
5. Включение выключателей любым из описанных способов.
6. Отключение выключателя любым из описанных способов.

### 3.4. КОНТАКТОРЫ НА 10 КВ

Логическим развитием и углублением работ по выключателям стали разработка и освоение высоковольтных (6 ... 10 кВ) контакторов (выключателей) малой и средней мощности на их конструктивной базе. Параметры выпускаемого контактора КВТ-10-4/400 У2, УХЛ5 приведены в табл. 3.5.

### 3.5. Параметры вакуумного контактора КВТ-10-4/400 У2, УХЛ5

Наибольшее номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный ток, А	400
Номинальный ток отключения, кА	4
Режим работы: продолжительный, прерывисто-продолжительный, повторно-кратковременный, кратковременный	
Механическая и коммутационная износостойкость при номинальном рабочем токе 400 А, циклы «ВО», не менее:	750 000
Коммутационная износостойкость при номинальном токе отключения, циклы «ВО»	не менее 50
Срок службы, лет	25
Масса, кг	не более 40

Используя конструктив контактора и применяя ВДК пятого поколения, разработали конструкцию выключателя на 10 ... 12 кВ с номинальным током 630 ... 800 А и номинальным током отключения 8 ... 12,5 кА исполнения УХЛ2. Такие выключатели необходимы сельским электросетям, малоэнергоёмким предприятиям, городским сетям.

### 3.5. НИЗКОВОЛЬТНЫЕ КОММУТАТОРЫ (1,14 ... 0,4 КВ)

Предприятие осуществляет программу освоения производства ВДК на напряжение 1,14 ... 0,4 кВ и номинальные токи от 150 А до 10 000 А переменного и постоянного тока. ВДК предназначены как для эксплуатации их в режиме контакторов (число циклов «ВО» 0,5 ... 1 млн.), так и в режиме автоматов с номинальными токами отключения 20 кА и более. Производство аппаратов осваивается на АО «Чебоксарский электроаппаратный завод» и АО «Ульяновский электроаппаратный завод».

По инициативе и при непосредственном финансовом и техническом участии АО «Саратовэнерго» закончена разработка и ведётся подготовка производства однофазного счётчика активной энергии, работающего в режимах предоплаты и авансового ограничения. Для применения в счётчиках разработан и производится низковольтный малогабаритный вакуумный расцепитель (выключатель) на номинальный ток 50 А, обеспечивающий пожаро- и взрывобезопасность, исключающий доступ к контактам и обладающий значительно большей коммутационной износостойкостью по сравнению с другими видами разъединителей.

В развитие этого направления планируется разработка трёхфазного счётчика, объединённого в единую систему с низковольтным или высоковольтным выключателем, с целью аппаратного обеспечения внедрения в энергораспределительных сетях режима предоплаты и авансируемого ограничения потребления энергии.

## 4. ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ «ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК» (ВВ/ТЕЛ)

### 4.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В 1967 г. в Севастопольском приборостроительном институте была организована научно-исследовательская лаборатория, в которой проводились исследования физики процесса коммутации токов в вакууме и разрабатывались вакуумные коммутационные аппараты, предназначенные преимущественно для электроустановок Военно-Морского флота [6].

В 1982 г. в лаборатории разработана принципиально новая конструкция вакуумного выключателя для класса напряжения 6 ... 10 кВ, имеющего необычный электромагнитный привод с магнитной защёлкой. Вакуумные выключатели и контакторы из первой опытно-промышленной партии, изготовленные в лаборатории в те годы, находятся в эксплуатации и по сей день.

В 1990 г. научно-исследовательская лаборатория Севастопольского приборостроительного института была реорганизована в независимое научно-производственное предприятие «Таврида Электрик».

В течение 1990 – 1992 гг. предприятие «Таврида Электрик» разработало по заказу Минэнерго (РАО «ЕЭС России») несколько модификаций вакуумных выключателей для сельских распределительных сетей 6 ... 10 кВ.

С 1992 г. предприятие «Таврида Электрик» приступило к созданию своего производства вакуумных выключателей и других аппаратов собственной разработки сначала в Севастополе и затем в России.

В 1993 г. было создано предприятие «Таврида Электрик» в России (Москва).

*С этого времени вся продукция предприятия выпускается под общей маркой ТЕЛ – «Таврида Электрик».*

В 1995 г. освоено собственное серийное производство вакуумных дугогасящих камер конструкции ТЕЛ в г. Черноголовка.

С 1996 г. начата разработка и производство малогабаритных комплектных распределительных устройств серии КРУ/ТЕЛ.

В 1999 г. разработана и изготовлена опытная партия вакуумных реклоузеров (столбовых выключателей).

К началу 2000 г. потребителям в эксплуатацию отгружено более 12 000 вакуумных выключателей серии ВВ/ТЕЛ.

В короткий период с начала деятельности предприятие «Таврида Электрик» смогло занять лидирующее положение среди крупных разработчиков и производителей вакуумной коммутационной техники, как в России, так и за её пределами. Разработкой и производством конкретных видов продукции и услуг занимаются соответствующие хозрасчётные производственные отделения, расположенные в Севастополе, Москве и Московской области.

Российское отделение сбыта и маркетинга, расположенное в Москве, осуществляет централизованный сбыт и доставку заказчикам всей продукции, производимой в отделениях предприятия.

«Таврида Электрик» имеет также дилерские региональные центры в Санкт-Петербурге, Липецке, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде, Омске и других городах России и странах СНГ.

Новая продукция для рынка и производственные отделения для её выпуска создаются с использованием последних достижений науки и техники, а также в сотрудничестве с научными центрами, признанными в мире, такими как Физико-технический институт им. Иоффе (Санкт-Петербург) и Аналитический центр по исследованию поверхностей вакуума.

### 4.2. ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВАКУУМНЫЙ ТРЁХФАЗНЫЙ

#### 4.2.1. Назначение и область применения

Выключатели вакуумные серии ВВ/ТЕЛ предназначены для коммутации электрических цепей с изолированной нейтралью при нормальных и аварийных режимах работы в сетях переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением 6 ... 10 кВ.

Вакуумные выключатели серии ВВ/ТЕЛ – это коммутационные аппараты нового поколения, в основе принципа действия которых лежит гашение возникающей при размыкании контактов электрической дуги в глубоком вакууме, а фиксация контактов КВД в замкнутом положении осуществляется за счёт остаточной индукции приводных электромагнитов («магнитная защёлка»).

Отличительная особенность конструкции вакуумных выключателей серии ВВ/ТЕЛ по сравнению с традиционными коммутационными аппаратами заключается в использовании принципа соосности электромагнита привода и вакуумной дугогасительной камеры в каждом полюсе выключателя, которые механически соединены между собой общим валом.

Оригинальность конструкции выключателей ВВ/ТЕЛ позволила достичь следующих преимуществ по сравнению с другими коммутационными аппаратами:

- высокий механический и коммутационный ресурс;
- малые габариты и вес;
- небольшое потребление энергии по цепям управления;
- возможность управления по цепям постоянного, выпрямленного и переменного оперативного тока;
- простота встраивания в различные типы КРУ и КСО и удобство организации необходимых блокировок;
- отсутствие необходимости ремонта в течение всего срока службы;

- доступная цена.

Принцип фиксации контактов ВДК в замкнутом положении с применением магнитной защёлки в настоящее время активно используется в новых конструкциях вакуумных выключателей ряда различных фирм (GEC Alsthom, Whipp & Bourne, Cooper), однако «Таврида Электрик» является первым предприятием-изготовителем, открывшим дорогу вакуумным выключателям с магнитной защёлкой к массовому потребителю (оригинальность выключателей ВВ/TEL защищена патентом Российской Федерации № 2020631).

Благодаря своим преимуществам вакуумные выключатели ВВ/TEL широко применяются во вновь разрабатываемых комплектных распределительных устройствах (КРУ, КСО, КРН), а также для реконструкции ячеек КРУ, находящихся в эксплуатации и имеющих в своём составе на момент реконструкции выключатели других конструкций, которые устарели морально и физически.

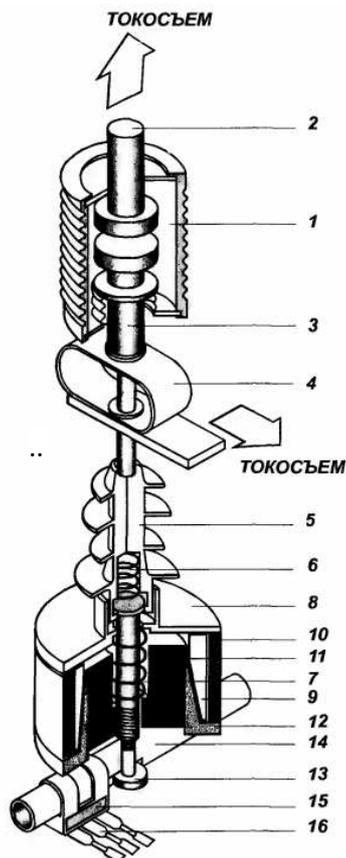
#### 4.2.2. Устройство и работа выключателя

Выключатель вакуумный серии ВВ/TEL состоит из трёх полюсов, установленных на общем основании. Все три полюса имеют одинаковую конструкцию, представленную на рис. 4.1.

Привод вакуумного выключателя серии ВВ/TEL состоит из электромагнитов (по одному на каждую фазу) электрически соединённых между собой параллельно, и блока управления БУ.

Механически якоря 11 приводных электромагнитов выключателя соединены между собой общим валом 14, который в процессе включения и отключения поворачивается вокруг своей продольной оси, и обеспечивает выполнение следующих функций:

- управление указателем положения выключателя «ВКЛ–ОТКЛ»;
- ручное отклонение выключателя при аварийных ситуациях;
- управление контактами для внешних вспомогательных цепей с помощью постоянного магнита;
- предотвращение срабатывания выключателя в неполнофазном режиме.



**Рис. 4.1. Схема устройства полюса ВВ/TEL:**

- 1 – неподвижный контакт ВДК; 2 – вакуумная дугогасительная камера;  
 3 – подвижный контакт ВДК; 4 – гибкий токосъём; 5 – тяговый изолятор; 6 – пружина поджатия; 7 – отключающаяся пружина; 8 – верхняя крышка; 9 – обмотка;  
 10 – кольцевой магнит; 11 – якорь; 12 – нижняя крышка;  
 13 – пластина; 14 – вал; 15 – постоянный магнит; 16 – герконы (контакты для внешних вспомогательных цепей)

**Включение выключателя.** Исходное разомкнутое состояние контактов 1, 3 вакуумной дугогасительной камеры выключателя обеспечивается за счёт воздействия на подвижный контакт 3 отключающей пружины 7 через тяговый изолятор

5. При подаче сигнала «ВКЛ» блок управления выключателя формирует импульс напряжения положительной полярности, который прикладывается к обмотке 9 электромагнита. При этом в зазоре магнитной системы появляется электромагнитная сила притяжения, по мере своего возрастания преодолевающая усилие пружин отключения 7 и поджатия 6, в результате чего под действием разницы указанных сил якорь электромагнита 11 вместе с тяговым изолятором 5 и подвижным контактом 3 вакуумной камеры 2 начинает движение в направлении неподвижного контакта 1, сжимая при этом пружину отключения 7. После замыкания основных контактов якорь электромагнита продолжает двигаться вверх, дополнительно сжимая пружину поджатия 6. Движение якоря продолжается до тех пор, пока рабочий зазор в магнитной системе электромагнита не станет равным нулю. Кольцевой магнит 10 имеет магнитную энергию, необходимую для удержания выключателя во включённом положении, а катушка 9 начинает обесточиваться, после чего привод оказывается подготовленным к операции отключения. Таким образом, выключатель становится на магнитную защёлку, т.е. энергия управления для удержания контактов 1 и 3 в замкнутом положении не потребляется.

В процессе включения выключателя пластина 13, входящая в прорезь вала 14, поворачивает этот вал, перемещая установленный на нём постоянный магнит 15 и обеспечивая срабатывание герконов 16, коммутирующих внешние вспомогательные цепи.

**Отключение выключателя.** При подаче сигнала «ОТКЛ» блок управления формирует импульс тока, который имеет противоположное направление по отношению к току включения и меньшее амплитудное значение. Магнит 10 при этом размагничивается, привод снимается с магнитной защёлки, и под действием энергии, накопленной в пружинах отключения 7 и поджатия 6 якорь 11 перемещается вниз, в процессе движения ударяя по тяговому изолятору 5, связанному с подвижным контактом 3. Контакты 1 и 3 размыкаются, выключатель отключает нагрузку.

**Ручное отключение выключателя.** Ручное оперативное отключение выключателя осуществляется путём механического воздействия на кнопку ручного отключения, которая в свою очередь через толкатель, шарнирно связанный с валом 14 выключателя, воздействует через этот вал на якоря 11 электромагнитов привода. При этом разрывается магнитная система привода, её магнитная энергия уменьшается, после чего механической энергии пружины отключения 7 оказывается достаточно для размыкания контактов 1 и 3 выключателя.

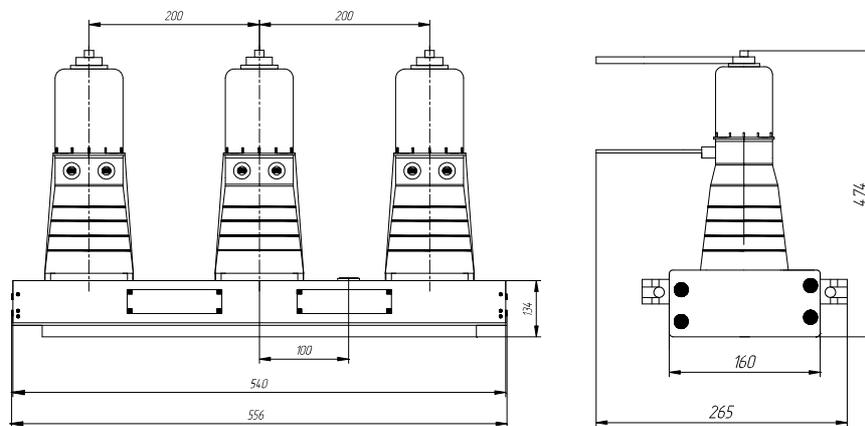
Кнопка ручного отключения одновременно выполняет функцию указателя положения выключателя «ВКЛ-ОТКЛ».

Ручное включение выключателя не предусмотрено. Для первого включения выключателя, когда на подстанции отсутствует питание цепей оперативного тока, разработан способ включения выключателя электрическим путём от автономного источника питания.

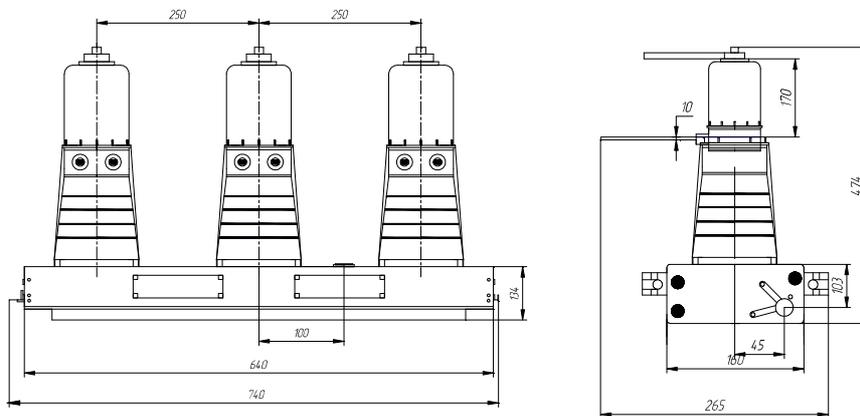
#### 4.2.3. Конструктивные исполнения и технические характеристики

В настоящее время выпускаются выключатели двух основных конструктивных исполнений (рис. 4.2):

- 1) конструктивное исполнение с межполюсным расстоянием 200 мм;
- 2) конструктивное исполнение с межполюсным расстоянием 250 мм.



a)



б)

**Рис. 4.2. Конструктивное исполнение ВВ/TEL с межполюсным расстоянием:**

*a* – 200 мм; *б* – 250 мм.

Выключатели конструктивного исполнения с межполюсным расстоянием 200 мм предназначены преимущественно для замены в ячейках КРУ выключателей типа ВМП-10, ВМПЭ-10, ВМПП-10, ВК-10, ВКЭ-10 и других, а также для применения во вновь разрабатываемых ячейках КРУ и выпускаются двух модификаций:

- 1) с выводом толкателя кнопки ручного отключения в сторону силовых токосъёмов;
- 2) с выводом толкателя кнопки ручного отключения в сторону, противоположную силовым токосъёмам.

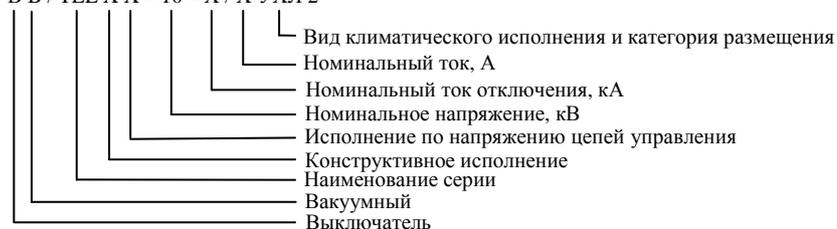
Выключатели конструктивного исполнения с межполюсным расстоянием 250 мм предназначены преимущественно для замены в камерах КСО и КРН выключателей типа ВМГ-133 и других, а также для применения во вновь разрабатываемых камерах КСО и КРН.

#### *Технические характеристики*

Номинальное напряжение, кВ.....		10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ.....		12
Номинальный ток, А.....	630	1000
Номинальный ток отключения, кА.....	12,5	20
Сквозной ток короткого замыкания, наибольший пик, кА.....	32	52
Нормированное процентное содержание аperiodической составляющей, %, не более.....	40	40
Время отключения полное, мс, не более.....	25	25
Время отключения собственное, мс, не более.....	15	15
Время включения собственное, мс, не более.....	70	70
Ресурс по коммутационной стойкости при отключении:		
номинального тока, операций «ВО».....	50 000	50 000
60 ... 100% от номинального тока отключения, операций.....	100	100
Ресурс по механической стойкости, операций «ВО»	50 000	50 000
Номинальное напряжение электромагнитов управления, В.....	220	220
Диапазон напряжений электромагнитов при включении, % от номинального значения.....	85 ... 110	85 ... 110
Диапазон напряжений электромагнитов при отключении, % от номинального значения.....	65 ... 120	65 ... 120
Наибольший ток электромагнитов управления при номинальном напряжении, А.....	10	10
Срок службы до списания, лет.....	25	25
Масса, кг:		
исполнение с межполюсным расстоянием 200 мм	32	32
исполнение с межполюсным расстоянием 250 мм	35,5	35,5

#### *Структура условного обозначения выключателей серии TEL*

В В / TEL X X – 10 – X / X УХЛ 2



Вакуумные выключатели серии ВВ/ТЕL предназначены для эксплуатации в следующих условиях.

**Условия эксплуатации.** Климатическое исполнение и категория размещения У2 по ГОСТ 15150–69, при этом:

- наибольшая высота над уровнем моря – до 1000 м;
- верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха не должно превышать +55°C, эффективное значение температуры окружающего воздуха +40°C;
- нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха –40°C;
- верхнее значение относительной влажности воздуха 100% при температуре +25°C;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая газов и паров, вредных для изоляции, не насыщенная токопроводящей пылью в концентрациях, снижающих параметры выключателя;
- рабочее положение выключателей в пространстве – любое.

Вакуумные выключатели серии ВВ/ТЕL имеют сертификаты:

- соответствия ГОСТ 687–78, выданные Ассоциацией предприятий испытательных центров высоковольтного электрооборудования «Энергосерт», регистрационные номера РОСС.УА.МВ02.Н.00054, РОСС.УА.МВ02.Н.00088, РОСС.УА.МЕ25.В00299, РОСС.УА.МЕ25.Н0306, РОСС.УА.МЕ25.Н00315;
- соответствия требованиям безопасности ГОСТ 687–78 и ГОСТ 1516.1–76, выданные Госстандартом России, номера ГОСТ Р.УА.АЕ01.1.2.2920 и ГОСТ Р.УА.АЕ01.1.2.2945;
- соответствия стандарту международной электротехнической комиссии МЭК 56, выданные испытательной лабораторией КЕМА (Нидерланды), номера 245-94, 49-96, 80-97.

Производство вакуумных выключателей ВВ/ТЕL сертифицировано на соответствие требованиям международного стандарта качества ISO 9002 (сертификат № 75954).

#### 4.3. УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ

Устройства управления вакуумными выключателями серии ТЕL являются неотъемлемой частью привода этих выключателей, хотя конструктивно они выполняются в виде отдельных модулей и могут быть установлены как в релейном отсеке шкафов КРУ, так и на выкатных элементах этих шкафов.

Устройства управления серии ТЕL обеспечивают функционирование вакуумных выключателей ВВ/ТЕL при управлении ими от любого источника постоянного, выпрямленного или переменного оперативного тока.

В настоящее время выпускается блок управления ВU/ТЕL–220-05.

Для адаптации ВU/ТЕL–220-05 к различным источникам оперативного питания и различным схемам вторичных соединений шкафов КРУ разработаны и выпускаются следующие дополнительные виды устройств управления:

- блок разделения и размножения сигналов PR/ТЕL-01;
- блок разделения и размножения сигналов PR/ТЕL-03;
- блок питания ВР/ТЕL–220-02-У2;
- фильтр Ф/ТЕL–220-01;
- фильтр Ф/ТЕL–220-02;
- блок автономного включения ВAV/ТЕL–220-02.

Выбор необходимых устройств управления для организации вторичных цепей модернизируемых КРУ определяется видом источника оперативного питания (аккумуляторная батарея, БПНС, БПТ, УПНС и др.), а также схемой цепей защит и управления этих КРУ.

Выбор устройств управления для вновь разрабатываемых КРУ осуществляется на стадии их проектирования.

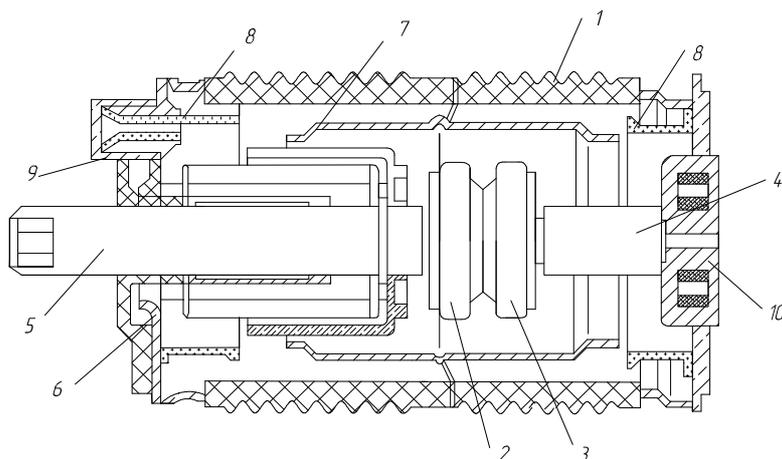
Предприятием «Таврида Электрик» разработан ряд схем подключения выключателя ВВ/ТЕL и устройств управления ко вторичным цепям шкафов различных КРУ.

В настоящее время предприятием «Таврида Электрик» разработан проект и осуществляется подготовка к производству привода ВU/ТЕL–220-10У2, который совмещает в себе функции всех перечисленных выше устройств управления и является функционально взаимозаменяемым с большинством приводов других выключателей.

## 5. ВАКУУМНЫЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ И ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, РАЗРАБОТАННЫЕ ВО ВСЕРОССИЙСКОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ (ВЭИ)

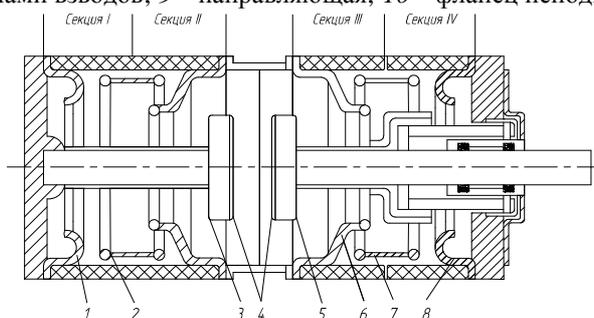
В ВЭИ разработаны ВДК трёх классов напряжения [9]: 10, 20 и 35 кВ. Схематические разрезы ВДК на напряжение 10 и 35 кВ показаны на рис. 5.1 и 5.2 соответственно. Общим в конструкции камер всех типоразмеров является следующее. Для изоляции корпуса применяется высокоглиноземистая керамика. Неподвижный вывод выполнен в виде фланца, снабжённого резьбовыми гнёздами, через которые ВДК подключается к токоведущей цепи и закрепляется в выключателе. Контакты окружены центральным медным экраном, который находится под свободным потенциалом. Сильфон защищён экраном из нержавеющей

стали от прожига каплями металла контактов, генерируемыми дугой. ВДК снабжены направляющими, закреплёнными снаружи на фланце корпуса со стороны подвижного вывода. Направляющая ограничивает боковое смещение подвижного вывода и задаёт его поступательное движение под действием привода выключателя вдоль оси ВДК.



**Рис. 5.1. Схематический разрез камеры на 10 кВ:**

1 – корпус; 2 – подвижный контакт; 3 – неподвижный контакт; 4 – неподвижный ввод; 5 – подвижный ввод; 6 – сильфон; 7 – центральный экран, находящийся под плавающим потенциалом; 8 – торцевые экраны, находящиеся под потенциалами взводов; 9 – направляющая; 10 – фланец неподвижного взвода



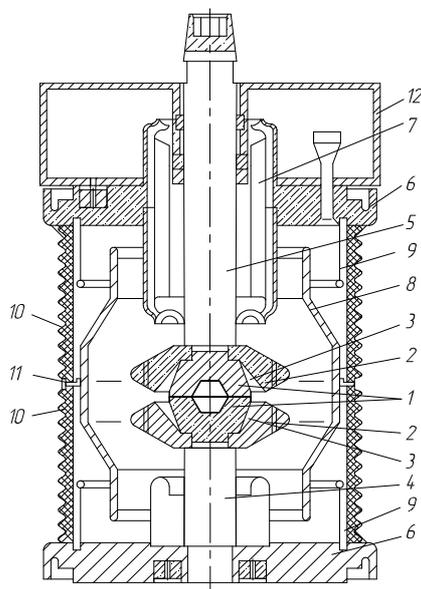
**Рис. 5.2. Схематический разрез камеры на 35 кВ:**

1, 8 – торцевые экраны, находящиеся под потенциалами вводов;  
2, 6, 7 – экраны, находящиеся под плавающим потенциалом;  
3, 5 – контакты; 4 – контактные накладки из композиции хром-медь-вольфрам;  
I ... IV – секции, между которыми распределяется напряжение

Все ВДК после изготовления проверяются одноминутным испытательным напряжением промышленной частоты. В них измеряется также давление остаточных газов. Мерой давления является ионный ток в цепи ВДК, помещённой в постоянное продольное магнитное поле, к разомкнутым контактам которой приложено постоянное высокое напряжение.

Кроме того, измеряется электрическое сопротивление ВДК на постоянном токе при дополнительном контактном нажатии, значение которого задаётся в технических условиях на ВДК для обеспечения их стойкости при протекании сквозных токов. Проверяются основные габаритные размеры ВДК. ВДК подвергаются также периодически, не реже одного раза в год, испытанию на коммутационный ресурс при номинальном токе, проверке напряжением громового импульса, механическим и климатическим испытаниям. Испытания на коммутационную способность, устойчивость к сквозным токам и испытания на нагрев номинальным током проводятся многократно: в процессе разработки, при освоении серийного производства, при разработке и постановке на серийное производство коммутационных аппаратов, в которых применяется ВДК, а также в процессе серийного производства ВДК раз в несколько лет.

На рисунке 5.3 представлено дугогасительное устройство КДВ-10-1600-20, разработанное ВЭИ. Номинальный ток проходит через торцевые контакты в виде колец. Под действием магнитного поля дуга перебрасывается через зазор 3 на дугогасительные контакты (в виде спиралей) 2 и перемещается по ним с большой скоростью, благодаря чему уменьшается температура опорной точки дуги. Подвод тока к контактам осуществляется с помощью медных стержней 4 и 5. Подвижный контакт крепится к подвижному контакту 6 с помощью сильфона 7 из нержавеющей стали толщиной 0,12 мм для передачи поступательного движения привода на подвижный контакт КДВ.



**Рис. 5.3. Вакуумная дугогасительная камера КДВ-10-1600-20:**

- 1 – торцевые контакты; 2 – дугогасительные контакты; 3 – зазор;  
 4, 5 – медные стержни для отвода тока к контактам; 6 – подвижный контакт;  
 7 – сильфон; 8 и 9 – металлические экраны; 10 – керамика;  
 11 – кольцо для крепления экрана 8; 12 – направляющий корпус

Металлические экраны 8 и 9 служат для защиты керамики 10 от напыления паров металла, образующихся при гашении дуги. Экран 8 крепится к корпусу с помощью кольца 11.

Параметры устройства КДВ-10-1600-20: номинальное напряжение – 10 кВ; номинальный ток – 1660 А; сопротивление камеры – 16 мкОм при дополнительном поджатии 1660 Н; номинальный ток отключения – 20 кА; номинальное относительное содержание аperiodической составляющей – 0,35; длительность дуги – не более 0,02 с; предельный ток включения:

а) амплитуда – 51 кА; б) начальное действующее значение периодической составляющей – 20 кА; предельный четырёхсекундный ток термической стойкости – 20 кА; амплитуда предельного сквозного тока – 70 кА; средний ток среза – не более 10 А; электрическая износостойкость – 10 000 циклов «ВО» при номинальном токе 1600 А и 25 – при номинальном токе отключения; механическая износостойкость 20 000 циклов «ВО»; допустимый износ контактов – не более 4 мм; ход подвижного контакта – 12 мм; скорости подвижного контакта: 1,7 ... 2,3 м/с при отключении и 0,6 ... 0,9 м/с при включении; камера обеспечивает работу в циклах по ГОСТ 687–78; минимальная бестоковая пауза – 0,3 с; средний срок службы камеры – 25 лет.

Обозначения типоразмеров камер расшифровываются следующим образом: К – камера, Д – дугогасительная, В – вакуумная, Х – хромосодержащие контакты, если буквы Х нет – контакты не содержат хрома. Первая цифра – номинальное напряжение в киловольтах, вторая цифра: в числителе – номинальный ток отключения в килоамперах, в знаменателе – номинальный ток в амперах. В КДВ-21 цифры означают номер варианта конструкции.

Серийный выпуск камеры КДВ-21 начат в 1968 г. производственным объединением ПО «Полярон», которое принимало участие в её разработке. Она имеет, как видно из табл. 5.1, две модификации. У камеры КДВ-21-М вольфрамовые контакты, она применяется в переключающих устройствах РНН трансформаторов. В камере КДВ-21-ХД1 контакты из композиции хром-медь-вольфрам. Она используется главным образом в выключателях для сельского хозяйства и экскаваторов. Остаточное давление в камере в течение всего периода эксплуатации не выше  $1 \cdot 10^{-2}$  Па, наибольшая длительность горения дуги 0,02 с, вибрация контактов при включении не более 0,002 с. Допустимый в эксплуатации износ контактов 4 мм (для КДВ-35 – 2 мм).

Камеры на 10 кВ и отключаемые токи 10, 20 и 31,5 кА: КДВХ-10-10/630, КДВХ-10-20/1600 и КДВХ-10-31,5/1600 представляют собой второе поколение. По сравнению с ВДК первого поколения изменены конструкция и материал ряда деталей. Вместо меди эти детали изготавливаются из железоникелевого сплава и нержавеющей стали. Оптимизирована междуэлектродная геометрия. Оба эти фактора позволили уменьшить массу ВДК второго поколения по сравнению с первым в 2–3 раза, диаметр – в 1,1–1,3 раза.

В ВДК второго поколения контакты изготавливаются из композиции хром-медь-вольфрам вместо меди и сплава медь-висмут-бор, использовавшегося в ВДК первого поколения. Более высокая электрическая прочность промежутков с контактами из этого материала позволила уменьшить ход подвижного контакта по сравнению с ВДК первого поколения в среднем на 30%. Благодаря этому, а также более высокой электроэрозионной стойкости этой композиции коммутационный и механический ресурс второго поколения ВДК по сравнению с первым был увеличен в 1,5–2,5 раза.

Корпус ВДК второго поколения состоит из двух изоляторов, наружная поверхность которых снабжена рёбрами для увеличения электрической прочности в условиях выпадения росы.

Типоразмерные КДВХ-10-10/630 и КДВХ-10-20/1000 освоены серийным производством, а КДВХ-10-31,5/1600 находится в стадии освоения на МЗВВ. ВДК второго поколения прошли неоднократно полный цикл испытаний в процессе их разработки и освоения в серийном производстве, а также при разработке и освоении серийного производства

выключателей, в которых они используются. Разработано несколько серий таких выключателей. Многие выключатели уже находятся в эксплуатации.

### 5.1. Основные технические данные ВДК

Наименование параметра	Типоисполнения ВДК												
	КДВ-21-ХД1/КДВ-21-П	КДВ-10-5/400 У2	КДВХ-10/630 УХЛ2	КДВХ-10-20/1600 УХЛ2	КДВХ-10-31,5/1600 УХЛ2	КДВХ-10-40/1600 УХЛ2	КДВ-10-40/3150	КДВХ-10-50/1600	КДВХ-10-50/3150	КДВ-20-100/1600	КДВ-35-20/1250 УХЛ2	КДВ-35-31,5/1000	КДВ-35-31,5/2500
Номинальное напряжение, кВ	10/15		10						20		35		
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12		12						24		40,5		
Номинальный ток отключения, кА	4/2	5	10	20	31,5	40	50		100	20	31,5		
Номинальный ток, А	400/320	400	630	1600			3150	1600	3150	1600	1250	1600	2500
Нормированное процентное содержание аperiodической составляющей, %	50/20		50			40		35		20		30	
Трёхсекундный ток термической стойкости, кА	4/2	5	10	20	31,5	40	50		100	20	31,5		
Циклы АПВ	0-0,3с-ВО-20с-ВО; 0-0,3с-ВО-180с-ВО; 0-180с-ВО-180с-80												
Испытательное напряжение промышленной частоты, одноминутное, кВ	42/55	32	42				65		95				
Испытательное напряжение грозового импульса, кВ полного срезанного	-		75				120		185				
	-		90				150		230				

Камеры с током отключения 40 кА КДВХ-10-40/1600 и КДВХ-10-40/3150 имеют конструкцию, аналогичную второму поколению ВДК. Для корпуса этих ВДК использованы изоляторы, применявшиеся в ВДК первого поколения с током отключения 31,5 кА. Наружная поверхность этих изоляторов гладкая, необходимая электрическая прочность в условиях выпадения росы достигается за счёт большей длины изоляторов. В КДВХ-10-40/1600 также, как и в ВДК второго поколения, для материала контактов применяется композиция хром-медь-вольфрам, в КДВ-10-40/3150 контакты состоят из двух материалов: контактирующая часть – из сплава медь-висмут-бор, дугогасящая – из меди. Использование сплава медь-висмут-бор позволило уменьшить электрическое сопротивление камеры в 2–3 раза (с учётом разброса переходного сопротивления контактов).

В отличие от ВДК других типоисполнений КДВ-10-40/3150 имеет на подвижном выводе контактную насадку, к наружной поверхности которой припаяна серебряная фольга. Контактная насадка служит для присоединения подвижного вывода ВДК к токоведущей цепи выключателя с помощью розеточного контакта, который скользит по серебряной фольге насадки. В детальных типоисполнениях ВДК присоединение их подвижного вывода к токоведущей цепи выключателя осуществляется с помощью гибкой связи и наконечника соответствующей конструкции. Серийное производство ВДК на 10 кВ, 40 кА освоено на МЗВВ. На базе этих ВДК разработаны и прошли испытания несколько типоисполнений вакуумных выключателей.

В описанных ВДК с током отключения 10 ... 40 кА применяются контактные системы спиральной конструкции с поперечным по отношению к току дуги магнитным полем. По сравнению с конструкциями контактных систем с продольным магнитным полем контактные системы спиральной конструкции обладают как достоинствами, так и недостатками. К достоинствам относятся: меньшая масса и сопротивление, большая механическая падение напряжения в дуге, и как оплавление центрального экрана на уровне токах отключения. В ВДК класса 10 кВ более значимыми, чем недостатки.

Камеры на 10 кВ, 50 кА: КДВХ-10-же габаритах, что и ВДК на 40 кА, но в систему с продольным магнитным полем. типоисполнениях используется

на базе этих ВДК разработаны несколько Все ВДК на 10 кВ, имеющие коммутировать в трёхполюсном режиме

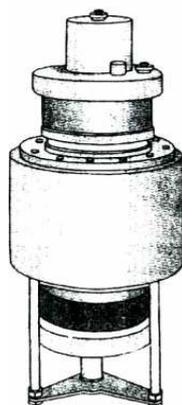


Рис. 5.4. Вакуумная дугогасительная камера на 20 кВ, 100 кА, 1600 А

продольные размеры, меньшее электрическое прочность. Недостатком является большое следствие, большее оплавление контактов, межконтактного промежутка при предельных при токах в 40 кА достоинства представляются

50/1600 и КДВХ-10-50/3150 разработаны в тех отличие от последних имеют контактную В качестве материала контактов в обоих композиция хром-медь-вольфрам-висмут. На типоисполнений вакуумных выключателей. хромосодержащие контакты, способны конденсаторные батареи в цепях с

изолированной нейтралью при токах до 450 А и напряжении 10 кВ.

Камеры на 10 кВ, приведённые в табл. 5.1, могут работать в условиях умеренного, холодного и тропического климата. В тропическом климате номинальные токи 1600 А уменьшаются до 1250 А, с 3150 А до 2500 А. Однако эти токи могут быть увеличены при соответствующих изменениях конструкции выключателей и радиаторов.

Вакуумные камеры могут работать под навесом или в помещениях, например, в КРУ, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе.

На рисунке 5.4 приведена ВДК на ток отключения 100 кА.

В классе 35 кВ разработано пять типоразмеров ВДК. Три из них имеют номинальный ток отключения 20 кА и номинальный ток 1250 А (и различаются исполнением наружной изоляции); два других типоразмера имеют номинальный ток отключения 31,5 кА, номинальные токи 1600 и 2500 А. Параметры типоразмеров ВДК на 20 и 31,5 кА приведены в табл. 5.1.

Корпус ВДК на 35 кВ состоит из четырёх изоляторов, в середине корпуса находится медный цилиндр, выполняющий одновременно функции центрального экрана. ВДК имеют контактную систему, образующую продольное магнитное поле. Материал контактов – композиция хром-медь-вольфрам. Экранная система содержит пять экранов, из которых три изолированы от вводов и находятся под плавающим потенциалом. Два экрана расположены у торцов корпуса и имеют потенциалы вводов. Таким образом, внутри корпуса вне контактной системы напряжение распределяется не между двумя промежутками, как в ВДК на 10 и 20 кВ, а между четырьмя. Это значительно снижает вероятность пробоя внутри ВДК по длинным путям, в обход межконтактного промежутка.

Камеры на 35 кВ могут работать в условиях умеренного и холодного климата. Одно из типоразмеров ВДК на 20 кА и оба типоразмера на 31,5 кА имеют армировку полимерной изоляцией концевых фланцев и могут работать в закрытых помещениях, исключающих конденсацию влаги. В третьем типоразмере на 20 кА наружная поверхность корпуса полностью армирована полимерной изоляцией с развитой ребристой поверхностью, вылет ребра 75 мм. Эта камера предназначена для работы на открытом воздухе. ВДК на 20 кА, не имеющие армировки внешней изоляции, предназначены для работы в среде с электрической прочностью выше, чем у воздуха, например, в масле или элегазе.

Благодаря армировке полимерной изоляцией торцов корпуса ВДК выдерживает испытательное напряжение при плавном подъёме 105 кВ вместо 95. Армировка всего корпуса позволила повысить это напряжение до 110 кВ.

Камеры на 35 кВ, 20 кА выпускаются серийно, производство ВДК на 35 кВ, 31,5 кА находится в стадии освоения на МЗВВ. ВДК на 35 кВ используются в выключателях на 35 и 110 кВ. В последнем случае несколько камер включаются последовательно. Эти выключатели разработаны и серийно выпускаются НПО «Уралэлектротяжмаш». Несколько лет они находятся в эксплуатации на металлургических предприятиях. На базе ВДК на 35 кВ разрабатываются выключатели для железнодорожного транспорта.

Таким образом, в результате многосторонних исследований разработаны ВДК на все основные параметры, требуемые в классах напряжения 10 ... 35 кВ.

Научно-технический уровень разработанных ВДК соответствует лучшим зарубежным аналогам. В настоящее время ведутся разработки ВДК на 10 кВ, 63 кА; 24 кВ, 25 кА; 35 кВ, 25 кА, расширяется номенклатура ВДК, ведутся разработки ВДК новых поколений с меньшими габаритами и массой. Разрабатывается ВДК с малым током среза, который не потребует применения средств ограничения перенапряжений.

Вакуумные выключатели обладают малыми габаритами и массой, большим ресурсом, надёжностью и сроком службы, экологически чисты и взрыво- и пожаробезопасны, виброустойчивы и сейсмостойки, работоспособны в условиях холодного и тропического климата, требуют малых эксплуатационных расходов. Эти качества способствовали распространению вакуумных выключателей во всём мире. Они постепенно вытесняют масляные и электромагнитные выключатели. В 1990 г. доля вакуумных выключателей на рынке ЕЭС достигла 40%, на рынке Японии – 70%, на мировом рынке – 55%.

В настоящее время в Российской Федерации и за рубежом достигнуты в основном все требуемые параметры ВДК в классах напряжения 3 ... 35 кВ. Наивысшие параметры серийно выпускаемых и готовых к серийному выпуску вакуумных выключателей (ВДК) в разных классах напряжения приведены в табл. 5.2.

## 5.2. Сравнительная таблица параметров вакуумных выключателей производства различных стран мира

Страна, фирма	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	Номинальный ток отключения, кА, кВ	Номинальный ток, А
Россия, ВЭИ	12	50	3150
	24	100	1600
	40,5	31,5	2500
США, «Westinghouse»	12	50	3150
	24	31,5	3150
Япония, «Toshiba»	12	50	3150
	24	25	2000
	36	25	2000
	13,8	100	3000
Япония, «Mitsubishi Electric»	15/12	37/50	2000
	25,8	31,5	2000
	38	31,5	2000

ФРГ, «Siemens»	15	63	4000
	24	25	2000
	36	31,5	2500

## 6. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Высоковольтные выключатели 6 ... 10 кВ с вакуумными дугогасительными камерами (ВДК) на сегодняшний день являются наиболее перспективными коммутационными аппаратами на данный класс напряжения [9].

В России аппараты с ВДК выпускают следующие предприятия:

1. ФГУП НПП «Контакт», г. Саратов.
2. Ассоциация «Элвест», г. Екатеринбург, Нижнетуринский электроаппаратный завод, г. Нижняя Тура.
3. АО «Электрокомплекс», г. Минусинск.
4. Предприятие «Таврида Электрик».

Технические характеристики и номенклатура выключателей обозначенных предприятий представлены в табл. 6.1.

Оценка вакуумных выключателей и выкатных элементов на их базе, выпускаемых различными производителями, с точки зрения потребителей представлена в табл. 6.2.

Достоинства и недостатки, присущие выключателям разных производителей, приведены в табл. 6.3.

Рекомендуется в опытную эксплуатацию преимущественно применять:

- для питающих центров – выключатели производства ГНПП «Контакт»;
- для неответственных потребителей в распределительных сетях – «Таврида Электрик».

### 6.1. Технические характеристики и номенклатура вакуумных коммутационных аппаратов на напряжение 6 ... 10 кВ

Производитель	Тип выключателей	Тип КДВ	Основные характеристики						
			$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном}$ , А	$I_0_{ном}$ , кА	$U_{л ном. пост. В}$ перем, В	$I_{потр. привода}$ , А	Ресурс циклов	
								$I_{ном}$	$I_0_{ном}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ФГУП НПП «Контакт», г. Саратов	ВБТ-10-20/630-1250 УХЛ3	КДВХ4-10-20/1600	10	630 1250	20	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{80;40}{40}$	25 000	50
	ВБЭ-10-20/1600 УХЛ2	КДВХ4-10-20/1600	10	1600	20	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{80;40}{40}$	25 000	50
	ВБЭМ-10-5/400 У2 УХЛ5	КДВ3-10-5/400	10	400	5	$\frac{110; 220}{220}$	10	75 000	–
	ВБПС-10-20/1600 УХЛ2	КДВХ4-10-20/1600	10	1600	20	$\frac{110; 220}{220}$	3,0 1,6	25 000	–
	ВБЭК-10-40/1600 УХЛ2	КДВ2-10-40/3150	10	3150	40	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{140;}{70;70}$	10 000	25
	ВБЭК-10-40/3150 УХЛ2	КДВ2-10-40/3150	10	3150	40	$\frac{110; 220}{220}$	$\frac{140;}{70;70}$	10 000	25
ЭЛВЕСТ, НТЭАЗ, г. Нижняя Тура	ВБКЭ-10	КДВХ4-10-20/1600, SIEMENS	10	630 ... 1600	20 31,5	$\frac{110; 220}{127; 220}$	25	25 000	50
	ВБМЭ-10	КДВХ4-10-20/1600, SIEMENS	10	2000 3150	40	$\frac{110; 220}{127; 220}$	30	5000	50

Продолжение табл. 6.1

Производитель	Тип выключателей	Основные характеристики				Тип привода	Типы ячеек, для которых выпускаются выкатные элементы
		$t_{вкл.}$ собств., с	$t_{откл.}$ собств., с	Срок службы, лет	Масса , кг		
1	2	11	12	13	14	15	16
ФГУП НПП «Контакт», г. Саратов	ВБТ-10-20/630-1250 УХЛ3	0,1	0,04	25	108 (200)	Эл.-маг.	КВС-13/630; КВС; К-12; К-13; К-37;
	ВБЭ-10-20/1600 УХЛ2	0,1	0,04	25	112 (200)	Пруж. (Польша)	КРУ-3; К-Ш-У; КВБ-6; КВП-6-13;
	ВБЭМ-10-5/400 У2 УХЛ5	0,15	0,03	25	42	Эл.-маг.	КВЭ-10/13; ST-7 (Польша);
	ВБПС-10-20/1600 УХЛ2	0,1	0,06	25	150	Эл.-маг.	АКА-10/800/20; КЗ-02 (Болгария)

	ВБЭК-10-40/1600 УХЛ2	0,22	0,055	25	370	Эл.-маг.	
	ВБЭК-10-40/3150 УХЛ2	0,22	0,055	25	420	Эл.-маг.	
ЭЛВЕСТ, НТЭАЗ, г. Нижняя Тура	ВБКЭ-10	0,06	0,06	–	–	Эл.-маг.	ВЭМ-6; К-Ш-У; К-ХП; К-ХХVI, КРУ2-10-20; К-104; К-59 Полностью совместимы с ячейками
	ВБМЭ-10	0,06	0,05	–	–	Пруж. с заводской эл.-маг.	

### 6.2. Оценка потребительских качеств различных вакуумных выключателей

Характеристика	ФГУП НПП «Контакт», г. Саратов	ЭЛВЕСТ НТЭАЗ, г. Нижняя Тура	АО «Электроком плекс», г. Минусинск	«Таврида Электрик», г. Севастополь, Украина
Номинальный ток выключателей (ячеек), А до 1600 1600 ... 3150	+ +	+ +	+ –	+ –
Номинальный ток отключения выключателей, кА до 20,0 до 31,5 до 40,0	+ – +	+ + –	+ – –	+ – –
Привод выключателя	Эл. магн./ Пружин.- мотор	Эл. магн./ Пружин.-эл. магн.	Эл. магн./ Пружин.- мотор	Эл. магн. защёлка
Габаритные размеры базового выключателя (высота, ширина, длина), мм	530×704×510	Габариты выключателя зависят от типа применяемой ВДК	640×547×436	728×244×467
Масса, кг	108 ... 420	Масса выключателя зависит от типа применяемой ВДК	74 ... 108	28 ... 35
Объём производства в год, шт.	Зависит от заказов	Зависит от заказов	Зависит от заказов	6000 ... 7000
Реконструкция	+	+	+	+
Наличие сертификатов: России зарубежных стран	+ –	– –	– –	+ + (КЕМА, Голландия)
Возможная	Питающие	Питающие	Питающие	Распред.

область применения	е центры, распрд. сети	центры, распрд. сети	е центры, распрд. сети	сети, кабельные сети
--------------------	------------------------	----------------------	------------------------	----------------------

### 6.3. Достоинства и недостатки выключателей различных производителей

Наименование производителя	Достоинства	Недостатки
ФГУП НПП «Контакт», г. Саратов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокий уровень производства.</li> <li>2. Возможность выпуска выключателей на весь спектр номинальных токов и токов отключения.</li> <li>3. Возможность комплектования выключателей как электромагнитными, так и пружинно-моторными приводами.</li> <li>4. Продукция сертифицирована.</li> <li>5. Возможность приобретения выключателей по взаимозачёту.</li> </ol>	<p>Выкатные элементы не являются полностью совместимыми с существующими ячейками КРУ в части механических блокировок: при встраивании необходима доработка ячеек с использованием комплектов, предлагаемых заводом</p>
«Элвест» НТЭАЗ, г. Нижняя Тура	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выкатные элементы полностью совместимы с существующими ячейками КРУ и КРУП.</li> <li>2. Применение ВДК как отечественного («Контакт»), так и импортного («Siemens») производства</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Существует возможность самопроизвольного включения выключателя с пружинным приводом при неуспешном взводе пружины.</li> <li>2. Отсутствует индикатор выработки контактов.</li> <li>3. На сегодняшний момент продукция не имеет сертификатов</li> </ol>
АО «Электро-комплекс», г. Минусинск	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большой ресурс выключателей при коммутации номинальных токов.</li> <li>2. Возможность комплектования выключателей как электромагнитными, так и пружинно-моторными приводами.</li> <li>3. Малые габаритные размеры и вес выкатного элемента</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкое качество изготовления.</li> <li>2. Корпуса электромагнитов управления изготовлены из нетермостойкого материала.</li> <li>3. Слабые втычные контакты</li> </ol>
«Таврида Электрик», г. Севастополь, Украина	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Малые габариты и вес.</li> <li>2. Использование при производстве современных технологий и материалов.</li> <li>3. Большой ресурс выключателей при коммутации номинальных токов.</li> <li>4. Возможность приобретения выключателей по взаимозачёту.</li> <li>5. Продукция сертифицирована в России и ЕЭС</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствуют выключатели на номинальные токи более 1600 А и токи отключения более 20 кА.</li> <li>2. Ненадёжный блок управления</li> </ol>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вакуумные выключатели являются одними из наиболее перспективных направлений развития коммутационных аппаратов.

Полупроводниковые выключатели занимают область наименьших напряжений и отключаемых токов, и их использование оправдано только в случаях, когда требуется чрезвычайно частое оперирование. Из-за относительно низких параметров тиристоров приходится соединять их в последовательные и параллельные цепочки, что удорожает выключатель и усложняет схему управления им. К недостаткам полупроводниковых выключателей относят также значительные тепловые потери в тиристорах.

В сетях средних классов напряжений (до 35 кВ) основным типом коммутационных аппаратов скоро станут вакуумные выключатели, хотя на сегодня серьёзную конкуренцию здесь создают элегазовые выключатели. По техническим параметрам эти выключатели в основном равноценны, но вакуумные выключатели имеют большие преимущества в установках с частыми коммутациями.

Основные преимущества вакуумных выключателей отмечены во введении.

Основные трудности, сдерживающие развитие вакуумных коммутационных аппаратов связаны с теплоотводом от контактов как при длительной нагрузке номинальным током, так и в процессе отключения. Это обусловлено тем, что теплопередача от контактов через объём камеры к её стенкам чрезвычайно низка, передача тепла конвекцией отсутствует. В связи с этим, вся выделяемая в контактах и токоведущих стержнях теплота должна быть отведена практически лишь посредством теплопроводности в аксиальном направлении к выводам камеры, присоединяемым, как правило, к охлаждающим радиаторам.

Выравнивание распределения температуры путём снижения её в контактной зоне позволит повысить токовую нагрузку аппарата. Одним из способов такого выравнивания является применение высокоэффективных теплопередающих устройств («тепловых труб»), имеющих способность до 2 ... 3 кВт на 1 см<sup>2</sup> сечения теплопередающего устройства. Отводимая из зоны контактирования посредством теплопередающего устройства на охлаждающие радиаторы теплота интенсивно рассеивается в окружающую среду, что существенно облегчает условия работы токоведущих элементов электрических аппаратов, позволяет значительно увеличить токовую нагрузку на токопроводы без увеличения их активного сечения и повышает эффективность использования контактных материалов в коммутационных аппаратах.

Другим важным направлением в развитии вакуумных коммутационных аппаратов является расширение области применения по классу напряжения электрических сетей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балаков, Ю.Н. О достигнутых параметрах выключателей / Ю.Н. Балаков, Б.Н. Неклепаев, А.В. Шунтов // Электрические станции. – 1996. – № 10. С. 56 – 60.
2. Электротехнический справочник / под ред. И.Н. Орлова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – Т. 2. – 711 с.
3. Чунихин, А.А. Электрические аппараты / А.А. Чунихин. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
4. Афонин, В.В. Элегазовые выключатели распределительных устройств высокого напряжения / В.В. Афонин, К.А. Набатов. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2009. – 96 с.
5. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.
6. Румянцев, Д.Е. Современное вакуумное коммутационное электротехническое оборудование сетей и подстанций / Д.Е. Румянцев. – М. : ИПК госслужбы, 2000. – 71 с.
7. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С.Л. Кужеков. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 492 с.
8. Вакуумные коммутационные аппараты / Г.Н. Александров, В.В. Борисов, Г.А. Евдокимов и др. – СПб., 1995. – 62 с.
9. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ / Е.Ф. Макаров. – М. : Папирус Про, 2005. – Т. 5. – 624 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ВАКУУМНЫЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА.....	6
1.1. Особенности процессов в вакуумных дугогасительных устройствах .....	6
1.2. Вакуумные дугогасительные устройства .....	8
1.3. Токоведущие и контактные системы .....	11
1.4. Отключающая способность вакуумных дугогасительных камер .....	17
1.5. Виды вакуумных дугогасительных камер .....	21
1.6. Конструкции вакуумных выключателей. Основные сведения .....	24
2. ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «ЭЛЕКТРОКОМПЛЕКС» («ЭЛКО»), г. МИНУСИНСК .....	31
2.1. Основные сведения .....	31
2.2. Вакуумные выключатели .....	33
2.3. Вакуумные контакторы .....	38
3. ВАКУУМНЫЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ, КОНТАКТОРЫ И ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФГУП НПП «КОНТАКТ», г. САРАТОВ. ....	39
3.1. Основные сведения .....	39
3.2. Вакуумные дугогасительные камеры .....	41
3.3. Вакуумные выключатели .....	43
3.3.1. Выключатель вакуумный ВБЭМ-10-20(12,5)/1000(800) УХЛ2.....	47
3.3.2. Выключатели вакуумные ВБ-10-20/630-1600 УХЛ2.....	50
3.3.3. Выключатели вакуумные ВБЭ-10-20/630-1600 УХЛ2.....	56
3.3.4. Выключатель нагрузки вакуумный ВНБ-10/630-16 УХЛ2 .....	62
3.4. Контактторы на 10 кВ .....	67
3.5. Низковольтные коммутаторы (1,14 ... 0,4 кВ) .....	68
4. ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ «ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК» (ВВ/TEL) .....	69
4.1. Основные сведения .....	69
4.2. Выключатель вакуумный трёхфазный .....	70
4.2.1. Назначение и область применения .....	70
4.2.2. Устройство и работа выключателя .....	71
4.2.3. Конструктивные исполнения и технические характеристики .....	74
4.3. Устройства управления вакуумными выключателями .....	77
5. ВАКУУМНЫЕ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ И ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, РАЗРАБОТАННЫЕ ВО ВСЕРОССИЙСКОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ (ВЭИ) .....	78
6. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ .....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	95