

С. А. ГУСЕВ

ОЧЕРКИ
ПО ИСТОРИИ
РАЗВИТИЯ
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
ПЕРЕМЕННОГО
ТОКА

С.А.Гусев

ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ

РАЗВИТИЯ

ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Москва · 2022

В мире, где информация приобрела статус одной из главных ценностей, правильная, подходящая, редкая книга – замечательный подарок.

В 2019 году мы решили запустить проект «Библиотека энергетика», который будет включать в себя книги, рассказывающие о важных исторических событиях и явлениях в отрасли; посвященные выдающимся ученым или написанные личностями, делавшими эту самую историю в свое время.

Переиздание книг – это дань уважения исследователям, желание сохранить первоначальные мысли авторов так, как видели и понимали только они.

Для читателя это возможность открыть для себя новое и по-другому взглянуть на уже известное.

Редкие, но удивительно интересные издания должны, по нашему мнению, быть прочитанными.



ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемой читателям книге кратко изложена история развития гасительных устройств выключателей переменного тока высокого напряжения.

Выключатели вакуумные – электронные и ионные – не рассматриваются, так как они пока не нашли применения в современных электрических установках.

При работе над книгой автор ставил следующие задачи:

а) Свести воедино данные об основных типах выключателей в историческом аспекте.

б) Выявить закономерности смены одних типов выключателей другими, более совершенными, как следствие роста мощности электрических систем, увеличения напряжения в линиях электропередачи и общего прогресса техники.

в) Оказать помощь лицам, работающим в области конструирования новых типов выключателей, в установлении как новизны предлагаемых ими конструкций выключателей, так и в создании новых конструкций выключателей.

Систематизированный показ изменений конструкций выключателей, сопровождаемый анализом причин, вызвавших эти изменения, дает возможность советским изобретателям, используя отдельные элементы известных конструкций, найти такие новые решения в этой области, которые позволят отечественной электропромышленности перегнать зарубежные электротехнические фирмы. Ведь если разложить на составные части любую новую машину, станок, аппарат, то мы обнаружим известность каждой отдельной части, а в целом при сборке этих известных частей оказывается новая их комбинация, дающая замечательный технический эффект, ранее никому не известный.

г) Выявить не используемые в настоящее время конструкции или идеи выключателей, которые различными изобретателями предлагались, но не получили в то время применения. В развитии техни-

ки известны случаи, когда ценные предложения не находили сразу применений, а спустя некоторое время благодаря развитию техники и росту производительных сил общества являлись прекрасным решением для удовлетворения требований сегодняшнего дня.

Автор должен отметить, что история изобретения выключателей с гашением открытой дуги в воздухе и масляных выключателей была освещена в книге М. Фогельзанга «История развития высоковольтной выключающей техники», Берлин, 1929 г. и в книге Вилкинса и Креллина «Масляные выключатели высокого напряжения», Нью-Йорк, 1930 г.

Эти материалы нами дополнены новыми данными за более поздний период времени.

В части истории изобретения масляных выключателей с гашением дуги за счет энергии, подводимой со стороны, и выключателей с гашением дуги сжатым воздухом автор не имел в своем распоряжении аналогичных работ других авторов и использовал материалы из русских и иностранных журналов, из отечественных и зарубежных патентов, хранящихся в Патентной библиотеке Комитета по изобретательству при Совете министров СССР.

Вопросы теории и расчета выключателей в книге не рассматриваются.

История развития отечественного производства выключателей дана в сокращенном виде, так как этому вопросу посвящается специальная глава в монографии «История энергетической техники СССР».

Все замечания и пожелания по изложенным в книге материалам прошу направлять по адресу: Москва, Шлюзовая набережная, д. 10, Госэнергоиздат.¹

Автор

¹ Книга издана по оригинальному произведению 1958 года

«Продолжение дела Гегеля и Маркса должно состоять в диалектической обработке истории человеческой мысли, науки и техники».

(Ленин, Ленинский сборник, т. IX, стр. 139)

ВВЕДЕНИЕ

До Великой Октябрьской социалистической революции Россия являлась в промышленном отношении отсталой страной.

В 1913 г. установленная на электрических станциях мощность составляла 1,1 млн. *квт*, а выработка электрической энергии в год 1,9 млрд. *квт · ч*.

В 1957 г. выработка электроэнергии в СССР достигла 209,7 млрд. *квт · ч*, т. е. возросла в 110 раз по сравнению с 1913 г. По величине выработки электроэнергии СССР вышел на первое место в Европе и на второе в мире. За этот же период времени выработка электроэнергии в США выросла только в 28 раз и достигла в 1957 г. 716 млрд. *квт · ч*.

В 1914 г. в царской России действовала только одна линия электропередачи высокого напряжения Богородск – Москва напряжением 70 *кв*, а в настоящее время работают линии электропередачи с напряжением 110, 220 и 400 *кв* общей протяженностью в десятки тысяч километров [рис. В-1].

В 1956 г. была пущена в эксплуатацию первая линия электропередачи с напряжением 400 *кв* Волжская ГЭС – Москва и строятся линии передачи с напряжением 500 *кв* Сталинград – Москва, Волжская ГЭС – Свердловск и др.

С ростом установленной мощности на электрических станциях проблема отключения рабочих токов и особенно токов коротких замыканий при эксплуатации электрических систем и линий передач все более усложняется.

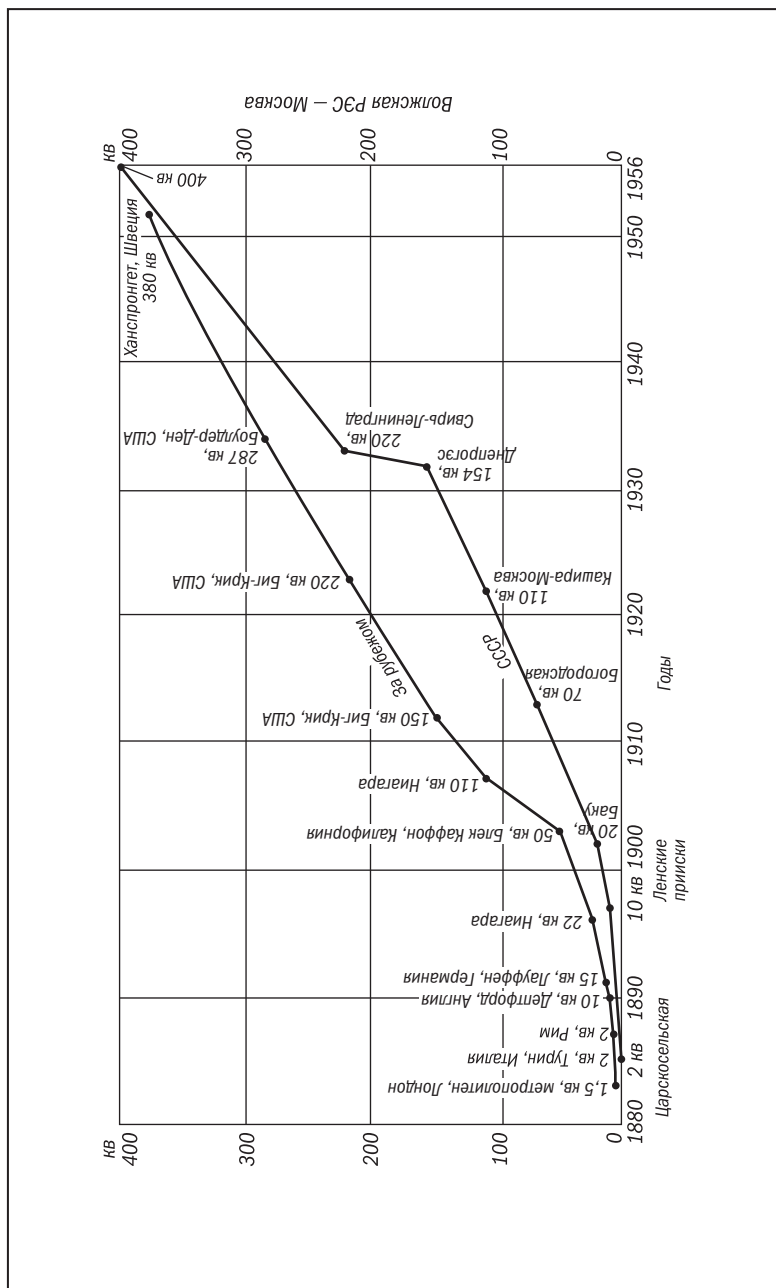


Рис. В-1 Рост напряжений линий передач в СССР и за рубежом.

Отключаемые мощности при коротких замыканиях в современных системах достигают 15–25 млн. *квa*.

Так, например, в системе линий передач 400–500 *кв* СССР отключаемая мощность при коротких замыканиях составляет 10–15 млн. *квa*, а в штате Огайо (США), где расположены атомные заводы, та же мощность в системе линий электропередач с напряжением 330 *кв* достигает 15–25 млн. *квa*.

В современных энергетических системах к выключателям предъявляются все более и более строгие требования, так как бесперебойное снабжение электрической энергией имеет первостепенное значение для народного хозяйства.

Главной задачей в настоящее время является создание таких электрических систем, которые бы осуществляли бесперебойное снабжение электрической энергией потребителей даже в тех случаях, когда в системе возникают аварийные режимы.

Единственным способом ликвидации аварий в системах являются быстрое отключение поврежденных участков и ввод в действие резервных машин и линий. Все эти мероприятия по выделению аварийной зоны из общей электросистемы и по включению резервов осуществляют выключатели высокого напряжения переменного тока, поскольку вся мировая электроэнергетика базируется на переменном токе.

Выключатели должны осуществлять свои функции не только при нормальной работе тех линий, где они установлены, но особенно бесперебойно они должны работать при отключении токов коротких замыканий, когда происходит в системе авария.

С целью уменьшения разрушительного действия токов коротких замыканий, которые могут достигать десятков тысяч ампер, выключение аварийных участков должно производиться в короткий срок. Увеличение быстродействия выключателя связано с быстротой гашения электрической дуги, возникающей на контактах выключателя в процессе отключения выключателя.

Первые выключатели высокого напряжения с открытой дугой в воздухе имели время горения дуги от 2 до 25 *сек*.

В выключателях с простым расхождением контактов в масле время горения электрической дуги составляло 0,15–0,3 сек и более.

В масляных выключателях с простой гасительной камерой оно уменьшилось до 0,1–0,15 сек, в выключателях с гасительной камерой продольного дутья – 0,07–0,08 сек, в баковых импульсных выключателях – 0,01–0,02 сек.

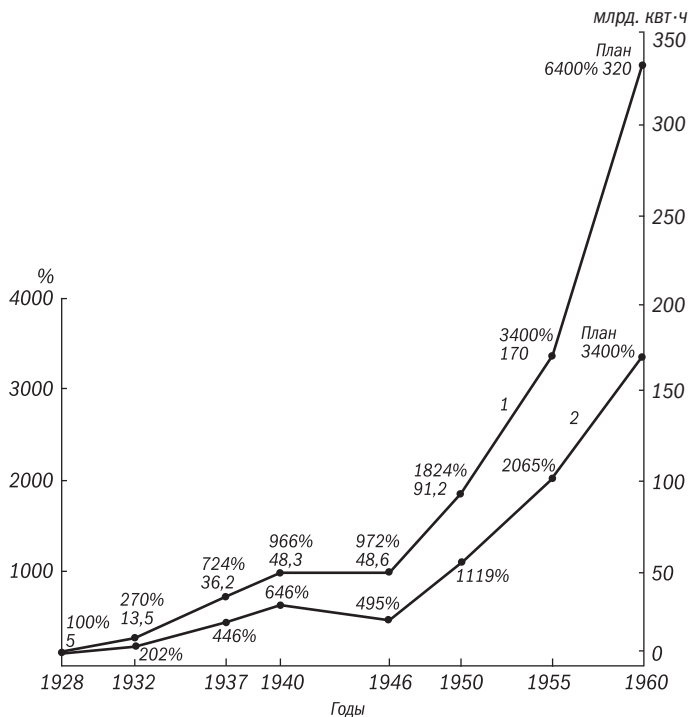


Рис. В-2 Рост промышленной продукции и выработки электроэнергии в СССР за период 1928–1960 гг. в процентах к 1928 г.
1 – выработка электроэнергии; 2 – объем валовой продукции промышленности.

В импульсных маломасляных выключателях и в выключателях с гашением дуги сжатым воздухом время горения составляло 0,01–0,015 сек.

Как показала эксплуатация электрических систем, ликвидация аварий и устранение перерывов в электроснабжении потребителей достигаются наиболее эффективно путем применения автоматического повторного включения и автоматического включения резервов. При наличии таких устройств время перерыва подачи потребителям электроэнергии настолько уменьшается, что они даже не успевают заметить, что произошла какая-то авария в системе и имел место перерыв в подаче энергии. Это новое требование к выключателям заставило конструировать гасительные устройства выключателей так, чтобы они давали возможность быстрого повторного включения и вновь отключения, если аварийное состояние во включенном участке не самоликвидировалось.

В современных баковых импульсных масляных выключателях время повторного включения составляет $0,3 \text{ сек}$, а в выключателях с гашением дуги сжатым воздухом — $0,1 - 0,3 \text{ сек}$.

Кроме того, выключатели должны обладать термической и электродинамической устойчивостью, соответствующей их мощности отключения и рабочим токам.

Здесь следует отметить, что выработка электрической энергии в Советском Союзе растет значительно быстрее, чем валовый выпуск промышленной продукции отечественных предприятий [рис. В-2]. За период с 1928 по 1960 г. (план) выработка электроэнергии вырастает в 64 раза: с 5 до 320 млрд. $\text{квт} \cdot \text{ч}$ в год, за тот же период объем валовой продукции промышленности возрастает только в 34 раза.

Бурный рост потребности в электроэнергии требует строительства мощных электрических станций и систем, что в свою очередь создает более тяжелые условия работы коммутирующих устройств.

В тезисах доклада товарища Н.С.Хрущева на XXI съезде КПСС «Контрольные цифры развития народного хозяйства СССР на 1959–1965 годы» указано, что предстоящее семилетие явится решающим этапом в осуществлении идеи Ленина о сплошной электрификации страны.

В 1965 г. выработка электроэнергии в стране увеличится до 500–520 млрд. $\text{квт} \cdot \text{ч}$. За семилетие будут созданы единые энер-

гетические системы Европейской части СССР и Центральной части Сибири, а также объединенные энергетические системы в районах Северо-Запада и Запада, Закавказья, Казахстана и Средней Азии. Предусматривается увеличение протяженности электрических сетей напряжением 35–500 кВ примерно в 2,5–3 раза.

Выполнение этих задач потребует от советской электропромышленности соответствующего выпуска электрооборудования и, в частности, коммутационной аппаратуры высокого напряжения.

Повышенные требования будут предъявлены и к выключателям, которые должны быть по мощности отключения, надежности и скорости действия, габаритам, удельным весовым показателям лучше, чем выключатели зарубежных электротехнических фирм.

Н.С.Хрущев в своем докладе ставит задачу в возможно короткие сроки догнать и перегнать капиталистические страны как по объему производства продукции, так и по уровню жизни населения. В развитии техники и особенно отдельных конструкций машин и аппаратов имеется возможность «обогнать технически зарубежные страны, не догоняя их». Это возможно выполнить и в отношении создания в Советском Союзе новых, более совершенных выключателей, чем выпускаемые в настоящее время зарубежными электротехническими фирмами.

Необходимо обязать наши исследовательские институты и проектные организации более внимательно изучать вносимые изобретателями предложения и не допускать повторения таких явлений, чтобы сделанные в СССР ценные изобретения не использовались у нас, а находили широкое применение за рубежом.

Советские ученые, инженеры, изобретатели помогут найти новые способы для гашения электрической дуги или для бездугового перерыва цепи тока, что позволит создать выключатели, которые по своим параметрам, надежности, скорости действия и стоимости будут лучше и дешевле выключателей зарубежных электротехнических фирм.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА И ЕЕ ГАШЕНИЕ

1–1 ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА

Электрический разряд под действием приложенной разности напряжений может иметь место в газовой среде при повышенном, нормальном или пониженном давлениях, а также в вакууме.

Электрическая дуга представляет собой одну из форм электрического разряда в газе, когда газ становится проводящей ток средой. Электрическая дуга характеризуется большой плотностью тока и малым падением напряжений в дуговом пространстве.

Проводимость газа возникает при появлении в нем свободных электронов и ионов, что может явиться следствием облучения газового промежутка или его электродов лучами радия, рентгеновскими, ультрафиолетовым светом, а также нагревом, наличием сильного электрического поля или внесением в газ свободных электронов и ионов.

Горение электрической дуги в атмосфере газа или воздуха сопровождается сильным разогреванием электродов. Электрическая дуга под воздействием внешних условий способна изменять свою вольт-амперную характеристику. Падение напряжения в дуговом промежутке при атмосферном давлении составляет 10–20 в на 1 см длины дуги. При горении электрической дуги в пространстве с повышенным давлением и в условиях интенсивной деионизации ду-

гового столба падение напряжения увеличивается до 100–200 в на 1 см длины дуги. Дуговой разряд в газовой среде при нагретом катоде и пониженном давлении 10^{-3} – 10^{-4} мм рт. ст. сопровождается падением напряжения в дуге 15–20 в. Электрический разряд в вакууме при холодном катоде сопровождается большим падением напряжения.

1–2 ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА ПРИ АТМОСФЕРНОМ И ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИЯХ

В современных выключателях высокого напряжения электрическая дуга образуется в газовой (воздушной) среде при атмосферном или повышенном окружающем давлении. Знание отличительных особенностей электрической дуги в этих условиях имеет особо важное значение при рассмотрении и оценке конструкций различных типов выключателей.

Возникновение электрической дуги в выключателе происходит за счет напряженности электрического поля. Даже при невысоком напряжении, но малом расстоянии между расходящимися контактами напряженность поля будет громадна. Это становится понятным, если учесть, что напряженность поля составляет частное от деления приложенного к контактам напряжения на величину расстояния между контактами, выраженное в сантиметрах. В начале расхождения контактов это расстояние близко к нулю, а отсюда следует, что напряженность поля представляет собой бесконечно большую величину.

Под действием интенсивного электрического поля электроны вырываются с поверхности катода и летят по направлению к аноду.

При расхождении контактов уменьшается площадь их соприкосновения, благодаря чему увеличивается плотность тока. Это создает местные нагревы и вызывает термическую эмиссию, что и является началом возникновения дугового разряда. При дальнейшем расхождении контактов напряженность электрического поля постепенно падает, и свободные электроны перестают вырываться с поверхности катода под действием поля. Однако поток электронов с поверхности катода не только не уменьшается, но значительно возрастает, что происходит за счет термической эмиссии катода под действием высокой температуры горячей электрической дуги и нагревания катода бомбардирующими его потоками ионов.

Поддержание электрической дуги в газовой (воздушной) среде между электродами возможно только при наличии в дуговом промежутке проводимости, которая появляется вследствие термической ионизации газа (воздуха), находящегося в этом промежутке.

Ионизация дугового пространства вследствие столкновения электронов с нейтральными атомами и молекулами в длинной дуге мало влияет на проводимость дугового промежутка. Это объясняется тем, что ионизация толчком является незначительной, так как падение напряженности поля на пути свободного пробега составляет при атмосферном давлении и температуре дуги 5000°K около $0,2 \text{ в}$, а требующаяся энергия для возбуждения молекул или атомов составляет $2-8$ электронвольт.

Основная масса свободных электронов и ионов в дуговом пространстве образуется за счет нагревания этого пространства под действием высокой температуры электрической дуги. Повышение температуры газа или воздуха до $2000-3000^{\circ} \text{K}$ сопровождается сильным увеличением скорости движения атомов и молекул. При взаимных столкновениях атомов и молекул газов, нагретых до такой температуры, электронные оболочки атомов и молекул частично разрушаются, образуя ионы и свободные электроны. Некоторые молекулы при столь высоких температурах распадаются на нейтральные атомы. Термическую причину ионизации дугового пространства установил в 1923 г. К.Т.Комптон. Столб дуги представляет собой раскаленный газ, в кото-

ром непрерывно протекают процессы возникновения, уничтожения и движения электрически заряженных частиц, которыми являются электроны, отрицательные и положительные ионы.

При увеличении ионизации дугового пространства ток в дуге возрастает. При исчезновении ионизации дугового пространства прохождение электрического тока прекращается. Во всякой горячей дуге одновременно с процессом ионизации дугового пространства идет процесс деионизации дугового промежутка.

1–3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ВАКУУМЕ

При наличии сильного электрического поля, возникшего под действием приложенного напряжения, из катода вырываются электроны и летят по направлению к аноду. Для возникновения электронной эмиссии в вакууме при холодном катоде требуется напряжение 20–25 кВ на каждый сантиметр расстояния между катодом и анодом.

Для поддержания возникшей эмиссии электронов требуется напряжение около 20–30 В. Электронная эмиссия теоретически мыслима даже при отсутствии термических процессов. Практически электронная эмиссия всегда сопровождается выделением тепла на аноде, вследствие его бомбардирования потоком электронов.

В современных электронных вакуумных приборах эмиссия электронов из катода происходит в основном не за счет воздействия электрического поля, а за счет термических процессов в металле катода при его нагревании от отдельного источника тока.

В отличие от ионных вакуумных приборов электрический ток между анодом и катодом в вакуумных электронных аппаратах может быть прекращен при подаче отрицательного потенциала на проме-

жуточную сетку, установленную между анодом и катодом. Это свойство дает возможность применять вакуумный электронный прибор в качестве выключателя в электрических цепях постоянного тока небольшой мощности. Отсутствие разработанных конструкций мощных вакуумных электронных аппаратов и трудности, стоящие на пути их создания для высоких напряжений, пока не позволяют использовать их в промышленных установках.

1–4 ГАШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Температура дугового пространства в момент перехода тока через нулевое значение не падает ниже $3200\text{--}3700^\circ\text{K}$ и является достаточной для поддержания термической ионизации промежутка между контактами. Затем происходит быстрое спадание температуры дугового пространства, что сопровождается исчезновением свободных ионов и электронов.

Принудительное гашение электрической дуги может быть осуществлено при быстром удалении из дугового пространства свободных электронов и ионов, т. е. при деионизации этого пространства. Деионизацию создают следующие факторы:

а) Рекомбинация (воссоединение) положительно и отрицательно заряженных частиц при их соприкосновении. Хаотическое тепловое движение заряженных частиц и противоположно направленные движения электронов и положительных ионов под действием электрического поля приводят к многочисленным столкновениям между ними, в результате чего возникают новые нейтральные молекулы и атомы. Интенсивность воссоединения повышается с уменьшением температуры дугового пространства и уменьшением интенсивности электрического поля.

Рекомбинация ионов происходит также вблизи электродов, когда положительные и отрицательные ионы приближаются соответственно к аноду и катоду, где превращаются в нейтральные частицы. Быстрое воссоединение заряженных частиц наблюдается на поверхности твердого диэлектрика при соприкосновении с ним электрической дуги.

б) Деионизация за счет диффузии (проникновения) ионов из дугового пространства в окружающую среду под действием разности температур дугового пространства и окружающей среды, а также разницы в концентрации ионов в дуге и окружающей среде. Диффузия возрастает при обдувании дуги холодным не ионизированным газом. Аналогичный обдуванию эффект получается при перемещении дуги в окружающей среде.

в) Термическая диссоциация газа (распадение молекул газа) содействует понижению температуры дугового пространства. При распаде молекул газа на атомы затрачивается тепловая энергия, что ведет к снижению температуры дугового пространства.

г) Увеличение давления в области дугового пространства содействует гашению дуги. В этом случае увеличиваются теплоемкость и теплопроводность дугового пространства, а также возрастает его электрическая прочность.

д) Удлинение дуги при быстром расхождении контактов увеличивает ее сопротивление и содействует охлаждению дугового столба, что снижает величину протекающего тока, уменьшая тем самым подводимую к дуговому пространству энергию.

е) Разделение дуги на несколько последовательно включенных коротких дуг. Гашение дуги в данном случае происходит за счет мгновенного образования запирающего слоя около каждого катода в момент перехода тока через нулевое значение. Это явление было обнаружено М.О.Доливо-Добровольским в 1911 г. и получило теоретическое объяснение, данное Слепяном в 1929 г.

ж) Уменьшение скорости восстановления напряжения на контактах выключателя после очередного гашения дуги при переходе тока через нулевое значение, что уменьшает интенсивность поля между разошедшимися контактами.

По вопросу гашения дуги в выключателе Слепян высказал в 1928–1930 гг. следующее суждение:

«Условия зажигания и угасания зависят от своего рода соревнования характеристики цепи (то есть скорости восстановления напряжения) и характеристики дуги (то есть скорости восстановления диэлектрической прочности). Если характеристика дуги лежит выше характеристики цепи, то дуга угасает, и наоборот».

Ту же мысль высказал профессор А.Я.Буйлов в своей работе «Исследование условий гашения дуги переменного тока», опубликованной в 1936 г.

Для гашения дуги необходимо, чтобы после прохода тока в дуге через нуль кривая роста диэлектрической прочности промежутка лежала выше кривой роста напряжения на нем.

1–5 ОСОБЕННОСТИ ГАШЕНИЯ ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При горении дуги переменного тока последний в течение одного периода переходит 2 раза через нулевое значение, т. е. 2 раза гаснет дуга, что облегчает создание условий для предотвращения ее повторного возникновения в выключателе.

Условия и способы гашения дуг переменного тока существенно отличаются в зависимости от длины столба дуги, горящей между электродами.

У короткой дуги после каждого очередного погасания около будущего катода образуется положительный объемный заряд, что восстанавливает около холодных электродов электрическую прочность дугового промежутка порядка 250 в. Это явление объясняется тем, что скорость движения положительно заряженных ионов

меньше скорости электронов, вследствие чего в момент перехода тока через нулевое значение в течение нескольких микросекунд слой газа у будущего катода лишается свободных электронов и там концентрируются только положительные ионы. Поэтому если амплитудное напряжение в сети окажется ниже 250 в действующих, то дуга переменного тока после погасания вновь не зажжется.

На этом принципе гашения электрической дуги основано действие роликовых, пластинчатых и деионных выключателей.

Современные мощные выключатели переменного тока работают при напряжениях 110–220–400 кВ. Организовать в них гашение электрической дуги путем ее разделения на ряд коротких дуг при столь высоких напряжениях не представляется возможным. Такой выключатель требовал бы установки нескольких тысяч разделительных пластин и был бы очень громоздким и дорогим. Кроме того, практика работы деионных выключателей напряжением 10–15 кВ показала, что они требуют переборки и чистки контактных разделительных пластин через каждые 10–20 отключений.

В настоящее время мощные выключатели высокого напряжения строятся в виде масляных или с гашением электрической дуги струей сжатого воздуха.

В этих выключателях после каждого перехода тока через нулевое значение электрическая дуга может вновь зажечься только в том случае, если скорость нарастания напряжения и связанный с этим процесс ионизации дугового пространства будет превышать скорость деионизации промежутка между расходящимися контактами выключателя.

При гашении электрической дуги переменного тока особое значение приобретает фактор расхождения во времени достижения максимальных значений тока и напряжения в отключаемой цепи. Здесь следует рассмотреть следующие три возможных случая отключения цепи.

Первый случай. Векторы тока и напряжения отключаемой цепи совпадают по фазе (времени), и ток прерывается в момент перехода напряжения через нулевое значение. Такое положение

в цепи переменного тока может быть при равенстве индуктивной и емкостной составляющих нагрузки, т. е. когда коэффициент мощности цепи равен единице.

В момент погасания электрической дуги при очередном переходе тока через нулевое значение напряженность поля также равна нулю. Если рост электрической прочности промежутка между контактами превышает рост ионизации под действием нарастающей напряженности электрического поля и термической эмиссии катода, то дуга гаснет.

При гашении дуги перенапряжения, которые могли бы увеличить естественный ход процесса нарастания восстанавливающего напряжения на контактах выключателя, не появляются.

Второй случай. Ток в отключаемой цепи значительно опережает по фазе напряжение, что наблюдается при отключении ненагруженных линий большой протяженности.

Емкостные токи при отключении ненагруженных линий могут достигнуть нескольких десятков и сотен ампер. При отключении выключателя в момент перехода тока через нулевое значение напряжение на расходящихся контактах в первый момент отсутствует. Емкость отключаемой линии в момент расхождения контактов выключателя оказывается заряженной до потенциала, равного амплитуде фазового напряжения.

Спустя полупериод напряжение изменит свой знак, и между контактами выключателя окажется разность потенциалов, равная двойному фазовому напряжению. Если электрическая прочность промежутка в этот момент окажется недостаточной, произойдет пробой между контактами выключателя и возникнет колебательный процесс. Это явится причиной возникновения перенапряжений в линии, что при определенных условиях может сопровождаться повреждением изоляции линии и аппаратуры.

Для борьбы с этим явлением в выключателях устанавливают сопротивления, шунтирующие дуговой промежуток между контактами выключателя, которые обеспечивают стекание зарядов, образовавшихся на линии при расхождении контактов выключателя.

При величине активного шунтирующего сопротивления меньшей $\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ получается аperiодический процесс восстановления, т. е. процесс восстановления напряжения сводится к постепенному нарастанию напряжения до величины нормального напряжения сети.

ТРЕТИЙ СЛУЧАЙ. Наиболее часто отключение цепей переменного тока в рабочем состоянии происходит при индуктивной нагрузке, когда вектор тока отстает от вектора напряжения.

Размыкание цепи тока нормально происходит в момент естественного перехода тока через нулевое значение, и потому не сопровождается перенапряжением. Между тем начало расхождения контактов выключателя обычно не совпадает по времени с нулевым значением тока. Образовавшаяся между расходящимися контактами дуга поддерживает цепь замкнутой до перехода тока через нулевое значение, благодаря чему погасание дуги происходит без перенапряжений. Таким образом, электрическую дугу в выключателях следует рассматривать как положительное явление, помогающее свести к нулю перенапряжения во время размыкания цепи, т. е. осуществить разрыв цепи в момент перехода тока через нулевое значение. Эту мысль образно сформулировал в 1929 г. Слепян так: «Если бы дуги не было, ее пришлось бы изобретать».

При отключении малых индуктивных токов, особенно ненагруженных электродвигателей, перерыв цепи тока может быть произведен выключателем не в момент естественного периодического перехода тока через нулевое значение, а несколько раньше. Такие факты особенно наблюдаются при отключении цепи импульсным масляным выключателем или выключателем с гашением дуги сжатым воздухом. Под действием мощной струи масла или воздуха, направленной между расходящимися контактами выключателя, сопротивление дуги сильно возрастает и она обрывается при токе среза $i_{\text{среза}}$. Запасенная в отключаемой цепи энергия, равная $\frac{L i_{\text{среза}}^2}{2}$, будет израсходована частично на дуговой разряд, а в основном на зарядку емкости отключаемой линии.

Если срез тока происходит очень быстро, то можно считать, что вся энергия $\frac{Li_{среза}^2}{2}$ пойдет на заряд емкости контура цепи. Чем меньше величина емкости, тем больше величина перенапряжений в отключаемой цепи, которая составит:

$$U = i_{среза} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Величину этих перенапряжений можно значительно снизить, шунтируя разрывы выключателя линейными или нелинейными сопротивлениями.

Если пробивное напряжение промежутка между контактами выключателя при их расхождении окажется недостаточно высоким, то под действием возникшего перенапряжения произойдет пробой промежутка между контактами и дуга загорится вновь. При этом выключатель выполняет также роль разрядника, ограничивающего величину перенапряжения в отключаемой линии. Опыт показывает, что при подобном срезе тока перенапряжения могут достигнуть четырехкратной величины фазового напряжения.

Для снижения перенапряжений при отключении малых токов обычно применяют шунтирующие сопротивления, через которые протекает ток, и электромагнитная энергия цепи, вызвавшая перенапряжение в линии, превращается в тепловую энергию.

При конструировании выключателей необходимо учесть эти три случая, значительно влияющие на процесс гашения дуги.

Одним из существенных условий, которому должен удовлетворять современный выключатель, является требование не только отключать ток коротких замыканий, но и обеспечить отключение без значительных перенапряжений ненагруженных линий большой протяженности и ненагруженных мощных трансформаторов.

1—6 РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ И ПРОЦЕССА ЕЕ ГАШЕНИЯ

Герта Айртон провела исследования электрической дуги постоянного тока, горящей между угольными электродами. В результате своих исследований, опубликованных в 1902 г., Айртон установила зависимость между напряжением, током и длиной дуги и предложила следующую формулу:

$$U_{\delta} = \alpha + \beta l + \frac{\gamma + \delta l}{i},$$

где U_{δ} — напряжение дуги, *в*;

l — длина дуги, *см*;

i — сила тока, *а*;

α , β , γ и δ — постоянные коэффициенты, равные:

$\alpha = 30$ *в*; $\beta = 10$ *в/см*; $\gamma = 10$ *ва* и $\delta = 30$ *ва/см*.

Одновременно с Айртон такие же исследования проводил Штейнмец, который дал свою формулу следующего вида:

$$U = a + \frac{b(l + c)}{\sqrt{i}}.$$

Произведенные в 1923 г. исследования Ноттингам показали, что выведенные Айртон и Штейнмцем зависимости правильны только для дуги, горящей между угольными электродами. Для дуги, горящей между металлическими электродами, Ноттингам дал свою формулу, следующего вида:

$$U_{\delta} = \alpha + \beta l + \frac{\gamma + \delta l}{i^n}.$$

Показатель степени n зависит от металла электродов, и для меди он имеет значение 0,67.

Если сравнить все эти три формулы между собой, то можно установить, что формулы Айртона и Штейнмеца являются частными случаями формулы Ноттингама.

Если в формуле Ноттингама n примет значение 1, то мы будем иметь формулу Герты Айртона. Если же примет значение 0,5, а β будет равняться нулю, то мы получим формулу Штейнмеца. Эти исследования относились только к дуге постоянного тока, горящей в воздухе, и не были пригодны для анализа процесса гашения дуги в жидкостном выключателе.

Первые исследования работы масляного выключателя в сети переменного тока были выполнены в 1903 г. Бенишке. В результате своих исследований Бенишке установил, что прекращение тока в цепи переменного тока всегда происходит в момент перехода тока через нулевое значение. Кроме того, он показал, что в момент погасания дуги междуэлектродное пространство сохраняет некоторую проводимость, что и содействует уменьшению перенапряжений, могущих возникнуть в процессе отключения цепи.

По вопросу процесса гашения дуги в масляном выключателе господствовала долгое время теория, что в момент перехода тока через нулевое значение масло проникает между расходящимися контактами выключателя и создает между ними изолирующую прослойку. Если эта прослойка имеет недостаточное сопротивление, то нарастающее напряжение между расходящимися контактами пробивает ее и происходит повторное зажигание. Этот процесс повторяется при следующем переходе тока через нулевое значение до тех пор, пока увеличивающаяся по своей толщине масляная прослойка между электродами не окажется достаточной, чтобы предотвратить новое зажигание дуги.

Более правильный взгляд на процесс гашения дуги в масляном выключателе впервые высказал А. Симон в 1913 г. Он указал, что дуга гаснет в масляном выключателе не под действием прослойки масла между расходящимися контактами, а под действием массы газов, образующихся вокруг дуги при термическом действии дуги на окружающее масло. Образовавшийся вокруг дуги газовый пузырь, окруженный

со всех сторон маслом, подвергается сильному давлению благодаря инерции масла, препятствующей расширению газового пузыря. Так как газы при больших давлениях увеличивают свою электрическую прочность, то это является причиной окончательного гашения дуги в масляном выключателе. Кроме того, образовавшиеся при разложении масла газы содержат в большом количестве водород, что способствует в значительной степени быстрому охлаждению дугового пространства, так как водород обладает большой теплопроводностью.

В 1915–1917 гг. Бауэр произвел исследования гашения дуги переменного тока в масляных выключателях, применив выводы Г.Айртона к дуге переменного тока, и дал формулу для определения времени отключения в зависимости от напряжения сети.

Хотя дальнейшие исследования и показали, что формула Бауэра неправильна, его заслугой является то, что он положил начало математическому изучению энергетических процессов, происходящих в дуге в период отключения выключателя, и дал приближенную формулу для выражения баланса энергии в электрической дуге.

Применение электронной теории к процессу образования дуги показало значение напряженности электрического поля для возникновения ионизации толчком междуэлектродного пространства в момент расхождения электродов. Процесс вырывания свободных электронов из катода особо интенсивно наблюдался у нагретых электродов. Расходящиеся контакты нагревались в процессе отключения выключателя благодаря термическому нагреву (I^2rt) и значительному увеличению переходного сопротивления, так как при расхождении контактов площадь их соприкосновения постепенно уменьшалась до ничтожно малых размеров. Плотность тока в этот момент неизмеримо возрастает, и создаются раскаленные точки, излучающие под действием электрического поля громадные потоки электронов, ионизирующие толчком междуэлектродное пространство и служащие первопричиной образования дуги между расходящимися контактами выключателя.

На основании опытов Штольц пришел к выводу, что электрическая дуга может образовываться и гореть при холодных электродах,

для чего требуется создать значительно больший градиент электрического поля.

В 1923 г. К. Комптон установил, что ток в газовом столбе электрической дуги поддерживается в основном не за счет ионизации толчком, а за счет тепловой ионизации газа под термическим воздействием горящей дуги.

И. Слепян в 1928 г., обратив особое внимание на физическую сущность явлений, происходящих при горении электрической дуги, четко разграничил процессы, происходящие в электрических дугах – короткой и длинной.

В 1930 г. Ф. Кессельринг дал эмпирическую формулу, определяющую условия гашения дуги в выключателях.

Для гашения дуги необходимо, чтобы спадание температуры происходило быстрее, чем нарастание напряжения (при перерыве дуги во время прохождения тока через нуль), умноженное на коэффициент $K = 0,3^\circ \text{C/кв}$. Теоретически этот закон не поддается обобщению, но он хорошо согласуется с практическими данными.

Майр считает основным фактором деионизации дугового пространства распад нейтральных частиц и быстрых молекул газового столба, что сопровождается поглощением тепловой энергии, снижает температуру дуги и способствует быстрой деионизации дугового пространства.

Ван Сикл и Беркей в 1935 г. опубликовали исследование о качественной стороне процесса деионизации дугового промежутка. Они вновь установили наличие остаточной проводимости в дуговом промежутке после погасания дуги.

Проведенные в 1935–1936 гг. А.М.Буйловым исследования процессов, происходящих при гашении дуги, подтвердили правильность выводов Сикла и Беркея.

Процессы деионизации дугового пространства и гашения дуги, а также явлений, происходящих при образовании дуги и при ее горении, продолжают и в настоящее время оставаться предметом исследований советских и зарубежных ученых.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ С ГАШЕНИЕМ ДУГИ В ВОЗДУХЕ

2–1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Первым по времени появления был выключатель с открытой дугой в воздухе. У этого типа выключателей электрическая дуга в процессе ее гашения не подвергалась воздействию каких-либо специальных устройств, усиливающих деионизацию дугового столба. Электрическая дуга использовалась в них для превращения части контура цепи из проводящего состояния в изолятор после погасания дуги. Такие выключатели устанавливались на электрических станциях постоянного тока. В выключателе с открытой дугой в воздухе образовавшаяся при отключении электрическая дуга под действием электродинамических сил и потока нагретого дугой воздуха поднималась вверх и удлинялась; сопротивление ее увеличивалось; она интенсивно охлаждалась окружающим ее воздухом и при достижении критической длины гасла. Погасание дуги происходило в тот момент, когда рассеиваемая дугой тепловая энергия стала превышать электрическую энергию, подводимую к дуговому столбу из внешней цепи.

При протекании переменного тока процесс гашения электрической дуги облегчался тем, что она периодически погасала и вновь зажигалась при каждом переходе тока через нулевое значение.

В первых конструкциях выключателей с открытой дугой в воздухе применялся один разрыв цепи тока на полюс, а затем стали

строить выключатели с многократным разрывом тока в отключаемой цепи.

Полезность применения многократного разрыва цепи тока при отключении впервые показал Т.А.Эдисон. В полученном им английском патенте 1880 г. было сказано: «Выключение главной цепи вызывает в месте разрыва большую искру, которая производит более разрушительное действие, чем если бы она была разбита на несколько искр. Поэтому, если надо выключить цепь, то я разрываю ее в нескольких точках одновременно, чтобы разделить искру и уменьшить ее общее разрушительное действие» [Л. 2-1].

Этот прием многократного разрыва цепи тока для облегчения гашения дуги при разрыве цепи тока был применен в 1887 г. инженером будапештской фирмы «Ганц и К°» Отто Блати при создании им выключателя с ртутными контактами и гашением дуги в воздухе.

С целью облегчения растягивания и удлинения дуги в 1895 г. стали применять горизонтальное расположение расходящихся контактов. В этом случае растягивание дуги происходит более интенсивно под действием электродинамических сил и восходящего потока нагретого воздуха. Дальнейшим этапом развития выключателя с гашением электрической дуги в воздухе был роговой выключатель.

М.О.Доливо-Добровольский снабдил в 1910 г. роговой выключатель гасительной камерой, состоящей из пластин, выполненных из изолирующего материала. Камера ограничивала распространение за ее пределы дуги и способствовала более интенсивному охлаждению благодаря соприкосновению дуги с холодными перегородками камеры. Для затягивания электрической дуги в гасительную камеру М.О.Доливо-Добровольский применил магнитное дутье.

Особый вид выключателя с гашением дуги в воздухе представляли собой роликовые (1896 г.), пластинчатые (1901 г.) и деионные (1912 г.) выключатели.

В деионных выключателях электрическая дуга при отключении загонялась при помощи магнитного дутья в гасительную камеру, представляющую собой ряд металлических пластин, между которыми загораются короткие электрические дуги, включенные

последовательно. М.О.Доливо-Добровольский установил, что для нового зажигания дуги в таком выключателе необходимо приложить напряжение 250 в переменного или 20 в постоянного тока на каждую короткую дугу.

Выключатели с открытой дугой в воздухе в комбинации с предохранителями, у которых плавкие вставки принудительно обрывались при отключении выключателя, применялись для напряжений до 22 кв.

Выключатели роговые строились для напряжений до 150 кв. Выключатели с деионными решетками выполнялись для напряжения до 15 кв.

Рычажные выключатели с открытой дугой в настоящее время применяются только в установках низкого напряжения.

2—2 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ С РТУТНЫМИ КОНТАКТАМИ

а) Первые ртутные контакты

Ртутные контакты являются первым по времени способом получения хорошего соединения отдельных проводников электрической цепи.

Подобные контакты в различных исполнениях применяли Петров (1802 г.), Ампер (1821 г.), Поль (1828 г.) [Л. 2-2], Барлоу (1824 г.) [Л. 2-3], Риччи (1823 г.) [Л. 2-4].

Впервые промышленное применение ртутных контактов для переключения цепи тока было осуществлено в 1884 г. Голлардом в автоматическом регуляторе, который был построен им для автоматического поддержания постоянства напряжения на подстанциях в линии электропередачи Турин — Ланцо. На выставке в Турине

была построена электрическая станция с установкой однофазного генератора мощностью 20 квт, 2000 в.

Описание конструкции этого автоматического регулятора с ртутными контактами Голлард дал в своем докладе в 1884 г. на собрании Международного общества электриков [Л. 2-5].

«Этот прибор [рис. 2-1] состоит из соленоида 1, втягивающего железный стержень 2, состоящий из железных проволок. Стержень 2 подвешен на конце коромысла 3 и уравновешен грузом 4. Металлический гребень 5, прикрепленный к коромыслу 3, пропускает ток возбудителя 6 через те или другие чашечки 7 с ртутью, соединенными с сопротивлениями 8 разной величины, которые... изменяют магнитное поле 9 соответственно с работой, поддерживаемой во внешней цепи».

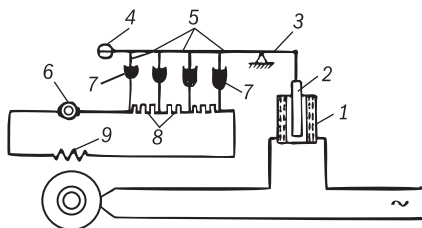


Рис. 2-1 Регулятор напряжения Голларда (1884)

Ртутные контакты в прошлом веке имели широкое применение. Они давали хороший электрический контакт, не требуя для этого ни больших механических усилий, ни сложного конструктивного оформления.

б) Выключатели с ртутными контактами фирмы «Ганц и К°»

Фирма «Ганц и К°» построила в 1886 г. в Риме крупнейшую в то время электростанцию однофазного тока мощностью 1500 квт при напряжении генераторов 2000 в. Энергия передавалась к местам потребления по трем отходящим линиям [Л. 2-6].

При установке первых двух агрегатов по 150 л. с. включение и выключение электрических генераторов и линий осуществлялись

простыми рычажными выключателями наподобие тех, какие применялись при низком напряжении.

При установке двух дополнительных агрегатов по 600 л. с. инженер фирмы «Ганц и К°» Отто Блати пришел к выводу, что при общей установленной мощности машин в 1500 л. с. недостаточно применять простые рычажные выключатели, эту проблему необходимо решить по-новому.

Условия устойчивой параллельной работы агрегатов в то время не были изучены, а практика показала, что гарантировать заранее устойчивую параллельную работу генераторов нельзя. Поэтому потребовалось создать такое распределительное устройство, которое позволило бы включать любую из шести машин электростанции на каждую из трех отходящих распределительных линий, а также производить их раздельное отключение.

Из-за неустойчивой работы регуляторов паровых машин при холостом ходе электрические генераторы при параллельном включении приходилось предварительно включать на балластное сопротивление, осуществляя их синхронизацию для параллельного включения под нагрузкой. Подключение балластного сопротивления к шести машинам требовало добавочной установки еще шести выключателей.

Таким образом, общее количество требующихся выключателей при шести машинах, трех отходящих линиях и балластного сопротивления составляло:

$$3 \times 6 + 6 = 24 \text{ выключателя.}$$

В качестве выключателей О. Блати применил двухполюсные выключатели с ртутными контактами, рассчитанные на рабочий ток 200 а при 2000 в с двумя разрывами на полюс [рис. 2-2 и 2-3] [Л. 2-6].

На металлическом каркасе 1 установлена стойка 2, по обе стороны которой укреплены на изоляторах шины 4. Шесть однофазных генераторов через предохранители 5 подключены к шинам 4. Вдоль обеих сторон распределительной доски над ртутными выключате-

лями на изоляторах смонтированы шины 6 трех отходящих линий и четвертая шина 7, к которой присоединено балластное сопротивление 8. Посредством кривошипного механизма 9 подставка 10 может подниматься или опускаться, тем самым осуществляя включение и выключение соответствующего ртутного выключателя 3. Кривошипный вал 9 подключался муфтой 11 и двумя коническими шестернями 12 к управляющему валу 13, при повороте которого в ту или иную сторону производилось включение или выключение ртутного выключателя. Шестерни 12 имеют передачу 1 : 2, поэтому управляющий вал 13 поворачивается на 90° , а кривошип 9 на 180° .

Рукоятки 14 служили для передвижения полумуфт. Защита от коротких замыканий осуществлялась плавкими предохранителями высокого напряжения, установленными в цепи генераторов и отходящих линий. С целью воспрепятствовать испарению ртути на ее поверхности находился слой глицерина.

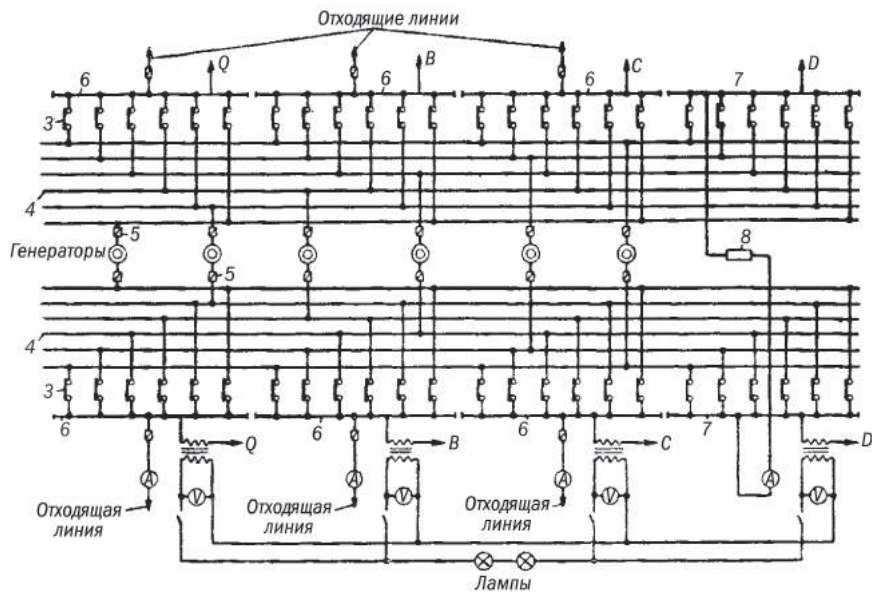


Рис. 2—2 Схема распределительного устройства электростанции в Риме (1887 г.). Боковой вид.

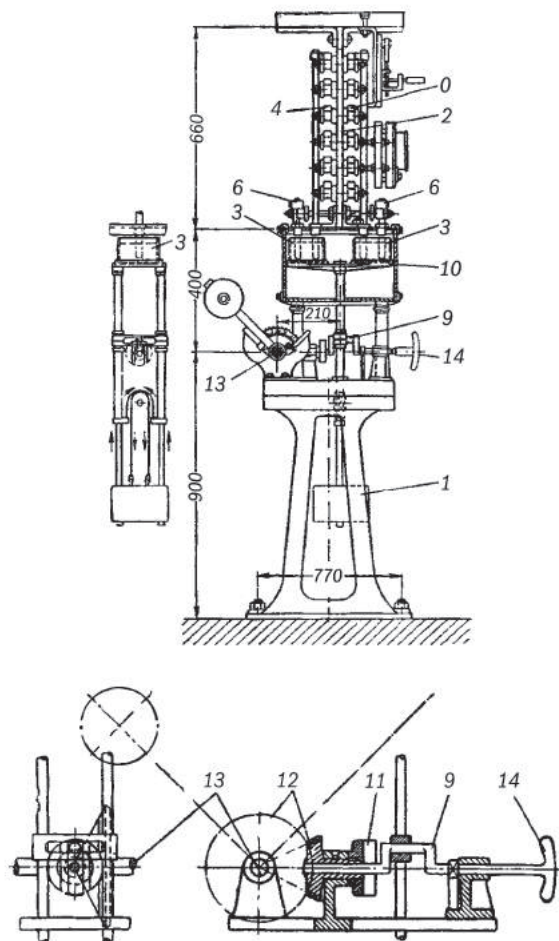


Рис. 2—3 Боковой вид и детали распределительного устройства, изготовленного фирмой «Ганц и К°» для электростанции в Риме в 1887 г.

Устройство работало 20 лет, а затем было заменено распределительным устройством с масляными выключателями.

Аналогичные выключатели с ртутными контактами в 1899 г. были установлены на электростанции в Амстердаме [рис. 2-4]. На вертикальной станине 1 укреплена эбонитовая полка 2, на которой установлены четыре цилиндрических горшка 3, наполненных ртутью.

На подвижной плите 4 из твердой резины укреплены четыре подвижных стальных контакта 5. Плита 4 посредством рычага 6 и зубчатой рейки 7 могла подниматься и опускаться, выключая или включая выключатель. На верху плиты 4 между четырьмя контактными болтами 8 помещались плавкие вставки.

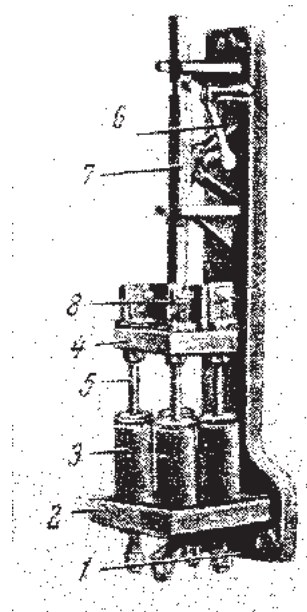


Рис. 2—4 Ртутный выключатель, установленный на электростанциях в Амстердаме в 1889 г.

Фирма «Ганц и К^о» строила выключатели с ртутными контактами для напряжений до 10 000 в.

Выключатели с ртутными контактами были дороги, нетранспортабельны и тяжелы. От таких выключателей отказались в начале девяностых годов прошлого столетия. Теперь выключатели низкого напряжения с ртутными контактами применяются в схемах автоматики и выполняются в виде стеклянных трубок, в стенки которых впаяны электроды, замыкаемые или размыкаемые ртутью при изменении положения выключателя (наклон, поворот, опрокидывание).

2—3 РЫЧАЖНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ЕВРОПЕЙСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ФИРМ

а) Общие сведения

В своем обзоре «Важнейшие высоковольтные распределительные устройства» Х. Пробст пишет [Л. 2-7]:

«Первые высоковольтные распределительные устройства не представляли существенного отличия от низковольтных распределительных щитов. Выключатели обладали только большими размерами, что имело целью получить увеличенный путь отключения контактов. Плавкие проволочки предохранителей выполнялись соответственно бóльшей длины. При напряжениях до 2200 в части предохранителей, находящиеся под высоким напряжением, в американских распределительных устройствах монтировались на передней стороне распределительной доски и не снабжались особыми защитными устройствами. В других странах они обычно защищались стеклянными или другими изоляционными крышками.

Измерительные приборы ставились обычные, и по ним протекали главные токи.

Высоковольтные выключатели приводились в действие с передней стороны распределительного щита посредством рычажного привода.

Собираемые шины располагались над выключателями, и поэтому часто наблюдались перекрытия шин электрической дугой, образующейся при размыкании выключателя.

Следует удивляться, что такие распределительные устройства десятилетиями могли поддерживать эксплуатацию электростанций. Объяснение этому обстоятельству находилось в том, что установленная мощность станций при таких распределительных устройствах была относительно небольшой».

Рычажные выключатели с открытой дугой в воздухе изготовлялись всеми электротехническими фирмами и отличались друг от друга по числу мест разрыва цепи тока и по форме исполнения.

б) Выключатели фирмы «Фойт и Гефнер» (Германия)

Рычажные выключатели с открытой дугой в воздухе конструкции фирмы «Фойт и Гефнер» были установлены на электрической станции во Франкфурте-на-Майне. Сооружение этой станции однофазного тока производилось фирмой «Браун-Бовери» в 1893 г. спустя два года после первой в мире демонстрации системы трехфазного тока в том же Франкфурте-на-Майне.

Общая мощность генераторов, установленных на Франкфуртской станции, составила 1565 *квa*, напряжение на шинах этой станции 3000 *в*.

В распределительном устройстве электростанции, изготовленном фирмой «Фойт и Гефнер» [рис. 2-5], были установлены рычажные выключатели 1, смонтированные на мраморных плитах 2 и управляемые рукояткой 3, расположенной на передней стороне распределительного щита. От собирательных шин 4 отводилось большое число отходящих линий, защита которых осуществлялась плавкими предохранителями высокого напряжения.

Эксплуатация распределительного устройства показала, что поставленные в цепи генераторов рычажные выключатели непригодны даже для отключения тока нормальной нагрузки. Расположение этих выключателей под собирательными шинами постоянно создавало угрозу замыкания шин ионизированными газами, образовавшимися при горении дуги между контактами выключателя в момент его отключения.

Выключатели фирмы «Фойт и Гефнер» пришлось заменить другими рычажными выключателями, но, как метко выразился один из известных специалистов того времени, распределительное устройство Франкфуртской электростанции оставалось «как больное дитя в доме».

Исцеление на этой станции наступило только после замены выключателей с открытой дугой трубчатыми выключателями.

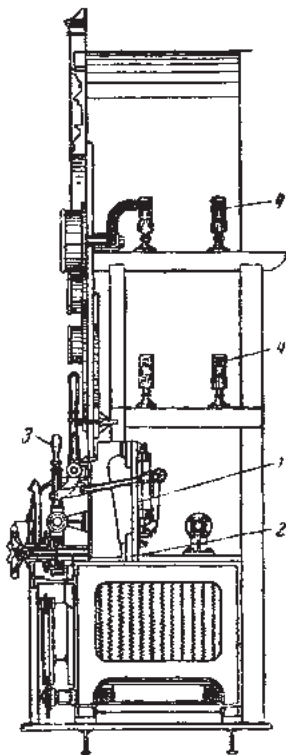


Рис. 2—5 Разрез распределительного устройства Франкфуртской станции с рычажными выключателями фирмы «Фойт и Гефнер» (1893 г.)

в) Выключатели фирмы «Сименс-Гальске» (Германия)

В июле 1895 г. началось строительство электростанции на Вдовьем берегу Южно-Африканской Республики около Йоганесбурга [Л. 2-8].

Электростанция предназначалась для снабжения энергией золотых приисков. Первый агрегат на этой электростанции был пущен в январе 1897 г. На электростанции были смонтированы четыре паровые машины, непосредственно соединенные с трехфазными генераторами фирмы «Сименс-Гальске», мощностью каждый 973 ква, 100 об/мин, 750 в, 750 а.

На электростанции было установлено 16 трехфазных трансформаторов по 200 ква каждый на напряжение 750/10 000 в. Все

16 трансформаторов были включены параллельно. На низкой стороне трансформаторов были установлены трехполюсные рычажные выключатели и плавкие предохранители. Такое решение задачи коммутации на распределительном устройстве электростанции являлось вынужденным решением и преследовало цель не устанавливать ненадежных выключателей на стороне высокого напряжения. К сборным секционированным шинам высокого напряжения трансформаторы были подключены через плавкие предохранители. От сборных шин станции отходили на золотые рудники шесть воздушных линий передач. Защита этих линий от перегрузок и коротких замыканий осуществлялась предохранителями. На каждой из приемных подстанций со стороны высокого напряжения были установлены рычажные выключатели [рис. 2-6]. Ножи выключателя были расположены наклонно, что создавало условия для расхождения контактов выключателя почти горизонтально, так как подвижные контакты двигались по дуге окружности, которая почти укладывалась по горизонтальной линии. При образовании электрической дуги между расходящимися контактами выключателя ионизированные газы не омывали при своем движении вверх неподвижного контакта выключателя, что создавало более благоприятные условия для гашения дуги, чем то имело место в выключателе фирмы «Фойт и Гефнер». Аналогичные рычажные выключатели были установлены в 1895 г. фирмой «Сименс-Гальске» на электростанции Дрезденского вокзала для напряжений 3100 в, а в 1896 г. на Охтинской электростанции в Петербурге. Фирма «Сименс-Гальске» строила рычажные выключатели с открытой дугой в воздухе для напряжений до 15 000 в.

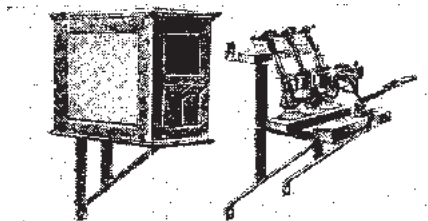


Рис. 2–6 Рычажный выключатель фирмы «Сименс-Гальске» (1895 г.) (общий вид)

г) Выключатели фирмы АЭГ (Германия)

С целью более быстрого расхождения контактов и тем самым более быстрого удлинения открытой дуги фирма АЭГ предложила в 1898 г. рычажный выключатель, у которого оба контакта были подвижными. Расхождение их совершалось горизонтально [Л. 2-9]. Между отдельными полюсами выключателя устанавливались перегородки из изолирующего материала для противодействия перебрасыванию дуги с одного полюса рычажного выключателя на другой, чем предотвращалось появление короткого замыкания между фазами в процессе отключения выключателя. Этого типа выключатели [рис. 2-7] выполнялись одно-, двух- и трехполюсными для напряжений 5–12 кВ при токе от 30 до 300 А.

На первой в Берлине электрической станции трехфазного тока, построенной фирмой АЭГ в 1898 г. с общей установленной мощностью генераторов 2800 кВт, коммутация на распределительном устройстве напряжением 6000 В осуществлялась при помощи описанных выше рычажных выключателей.

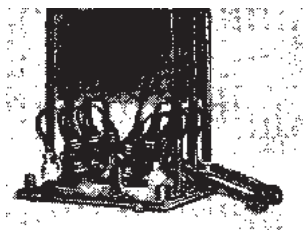


Рис. 2—7 Рычажный выключатель с двумя подвижными контактами (1898 г.)

Выключатели на Берлинской электростанции были смонтированы на верхней полке каркаса распределительного устройства [рис. 2-8], и управление ими производилось с передней стороны распределительного щита при помощи дистанционной рычажной передачи.

Образовывающаяся электрическая дуга при отключении имела возможность свободно распространяться вверх, не подвергая действию ионизированных газов каких-либо аппаратов или шин распределительного устройства.

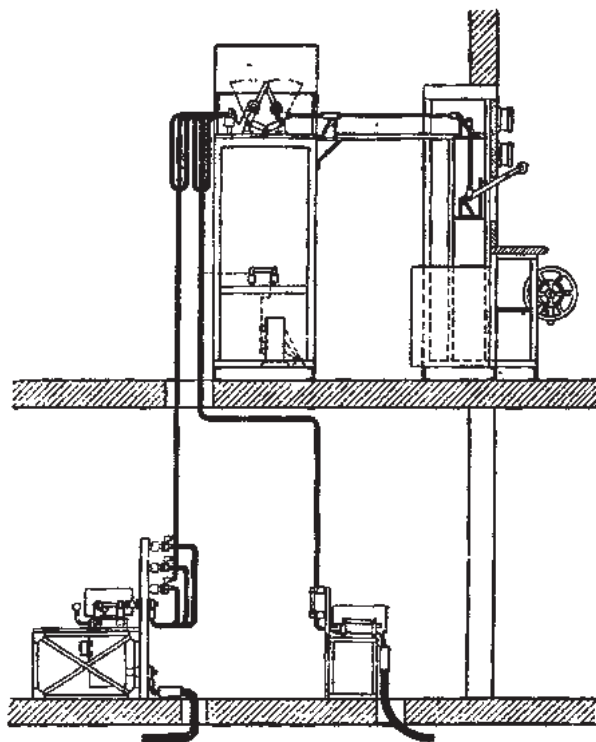


Рис. 2—8 Разрез распределительного устройства на 6 кв Берлинской электростанции (1898 г.)

д) Выключатель Першаля (Англия)

В 1898 г. Х. Ф. Першалъ применил в Англии рычажные выключатели с открытой дугой и двойным разрывом цепи тока на полюс. Такой выключатель [рис. 2-9] был установлен на одной из электрических станций в Лондоне [Л. 2-6]. На плите 1, выполненной из изолирующего материала, расположены два неподвижных контакта 2 и 3. Подвижные рычажные контакты 4 и 5 помещены по обе стороны плиты 1 и приводятся одновременно в действие при помощи рукоятки и зубчатых секторов 6. Контакты 4 и 5 поворачиваются в разные стороны наподобие ножниц, образуя два разрыва цепи тока на фазу.

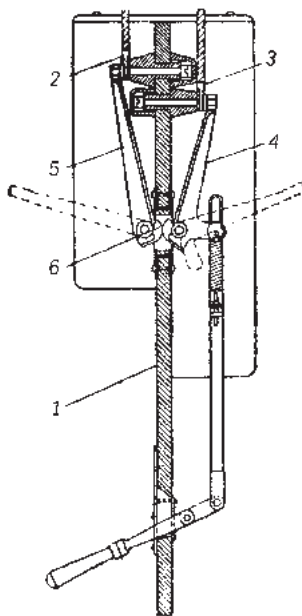


Рис. 2—9 Выключатель Першаля с двойным разрывом цепи тока (1898 г.)

е) Выключатель фирмы «Бергман и К°» (Германия)

Электротехническая фирма «Бергман и К°» предложила в 1900 г. [Л. 2-9] конструкцию рычажного выключателя с открытой дугой в воздухе и многократным разрывом цепи тока [рис. 2-10]. Выключатель представлял собой комбинацию нескольких рычажных выключателей с общим приводом одной рукояткой. Отдельные ножи 1 выключателя установлены рядом на мраморной доске и снабжены общей траверсой 4, выполненной из эбонита. Между верхними неподвижными контактами и основаниями ножевых контактов установлены токопроводящие перемычки 2. Подвод и отвод тока делались у оси левого ножа 1 и у правого верхнего зажима 3. В выключателе был использован принцип многократного разрыва цепи тока, ранее примененный в 1887 г. Блати в выключателе с ртутными контактами. Выключатель фирмы «Бергман и К°» не нашел широкого применения.

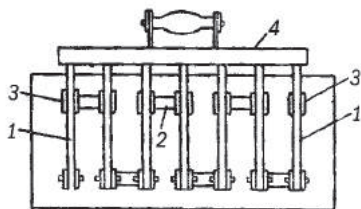


Рис. 2—10 Рычажный выключатель фирмы «Бергман и К°» с многократным разрывом цепи тока (1900 г.)

ж) Выключатель фирмы «Шуккерт и К°» (Германия)

Фирма «Шуккерт и К°» строила в 1900 г. рычажные выключатели [рис. 2-11] для напряжений до 3000 в в однофазном, двухфазном и трехфазном исполнениях для токов 15, 30, 60, 100 и 200 а [Л. 2-9].

На вертикальной плите 1, выполненной из изолирующего материала, установлен неподвижный контакт 4. Подвижной контакт 3 может быть моментально отключен пружиной 2.

При повороте рукоятки 5 вначале натягивается пружина 2 и по достижении достаточного тягового усилия нож 3 вырывается из пружинящего неподвижного контакта 4. Применение натяжения пружины 2 увеличивало быстроту действия выключателя, что способствовало более эффективному гашению дуги, так как быстрое расхождение контактов снижало величину выделяемой дугой энергии в процессе ее образования.

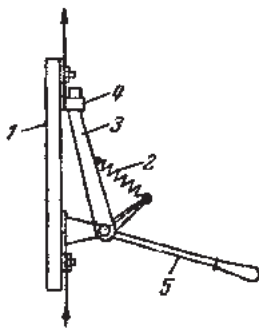


Рис. 2—11 Рычажный выключатель фирмы «Шуккерт и К°» с моментальным отключением (1900 г.)

Аналогичные устройства для моментального расхождения контактов в рычажных выключателях низкого напряжения постоянного тока применяются и в настоящее время. Дальнейшее конструктивное развитие выключатели с открытой дугой в воздухе получили в Америке в конце прошлого столетия, где началось бурное строительство мощных электрических станций с применением однофазного, двухфазного, а затем трехфазного тока высокого напряжения.

2—4 РЫЧАЖНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ АМЕРИКАНСКИХ ФИРМ

а) Выключатели фирмы «Вестингауз» (США)

Фирма «Вестингауз» приобрела патенты Голларда и Гибса на трансформаторы и развернула широкую деятельность в США по внедрению установок однофазного переменного тока. На заводах «Вестингауз» выполнялись электроустановки переменного тока мощностью свыше 1000 *квт* и напряжением 2200 *в* на склад, так что заказчики имели возможность в любое время приобрести их и вводить в кратчайшие сроки в эксплуатацию.

Английский профессор Форбс в 1889 г. сообщил по этому вопросу в Британской ассоциации инженеров [Л. 2-10], что система распределения энергии переменным током получила большое распространение в Америке, где такие установки сооружаются фирмой «Вестингауз».

В качестве выключателей высокого напряжения фирма «Вестингауз» применяла выключатели с открытой дугой в воздухе. Для защиты от коротких замыканий устанавливались плавкие предохранители.

Бурное строительство промышленных предприятий США, особенно энергоемких, как изготовление карбида, кальция, хлора и других

электрохимических производств, поставило вопрос о строительстве крупных электростанций и, в частности, по использованию гидравлических ресурсов страны.

Для использования энергии крупнейшего в мире Ниагарского водопада в 1889 г. была создана особая компания, которая получила право построить на американской стороне гидроустановку мощностью 200 000, а на канадской – 250 000 л. с.

Компания пригласила ряд первоклассных электриков мира для выяснения, каким путем лучше всего организовать использование энергии Ниагарского водопада, особенно в части передачи и распределения энергии.

По предложению английского профессора Форбса [Л. 2-11] было решено применить для распределения электрической энергии двухфазную систему Тесла с установкой на гидроэлектростанции агрегатов мощностью по 5000 л. с. (около 3500 квт), 2250 в, 25 гц в каждой несвязанной фазе. Электрическая энергия распределялась в основном на генераторном напряжении для предприятий, расположенных вблизи от гидроэлектростанции.

Для снабжения электрической энергией отдаленных от ГЭС потребителей была выделена группа агрегатов и установлены 10 повысительных трансформаторов, каждый мощностью 1000 ква с напряжением на высокой стороне 11 кв.

От Ниагарской ГЭС отходили две линии передачи напряжением 11 кв.

На этих линиях были установлены фирмой «Вестингауз» выключатели Р. Бельфильда [рис. 2-12], у которых при перегрузке линий отключение осуществлялось за счет сгорания плавкой вставки и откидывания длинного рычага с токоведущим проводом. На выключатель Р. Бельфильдом получен в 1901 г. патент в России за № 5000 по заявке от 5 декабря 1898 г.

Деревянная штанга 3 выключателя-предохранителя снабжена пружинящими контактами 4 и 5, которые вставлялись в контакты 6 и 7, электрически подсоединенные к цепи 11 кв. Нижняя часть штанги служила изолирующей рукояткой. Поворачивающийся деревянный

рычаг 2 снабжен на верхнем конце зажимом 8. Вдоль рычага 2 проложен провод, соединяющий зажим 8 с контактом 4. При включенном положении между зажимом и контактом 5 натянута плавкая вставка 1 из алюминиевой проволоки длиной 200 мм. Для ручного отключения служил шнур 9, натяжением которого освобождался один из концов плавкой вставки 1 и под действием пружины откидывался вниз рычаг 2. При перегрузках или коротком замыкании сгорала плавкая вставка 1, и рычаг 2, поворачиваясь, отключал линии.

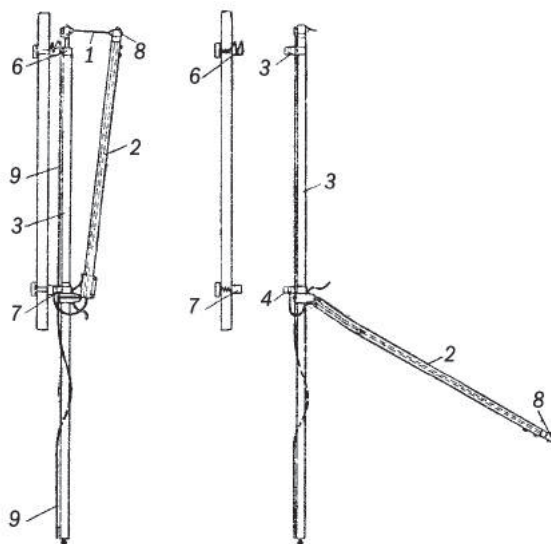


Рис. 2—12 Выключатель Бельфильда, совмещенный с предохранителем (1898 г.)

В Америке такие выключатели-предохранители применялись очень долго в качестве коммутирующих и защитных устройств.

В связи с ростом потребляемой мощности в 1900 г. напряжение в линиях Ниагарской ГЭС было повышено до 22 кв. В качестве выключателя на стороне 22 кв был применен выключатель с токоведущим ножом и электромагнитным максимальным отключением [рис. 2-13]. Нож этого выключателя первоначально имел открытие около 1,4 м. При испытании оказалось, что такое открытие ножа недостаточно,

так как при отключении иногда дуга не разрывалась, а продолжала устойчиво гореть.

Размеры выключателя были увеличены, и открытие ножа было доведено до 1,8 м, но все же и увеличенный выключатель работал плохо. Для гашения дуги, возникавшей при отключении такого выключателя, приходилось гасить напряжение у генераторов, питавших эту секцию распределительного устройства, так как другого способа ликвидировать дугу не было. Ввиду неудовлетворительной работы этих рычажных выключателей они в 1901 г. были заменены масляными.

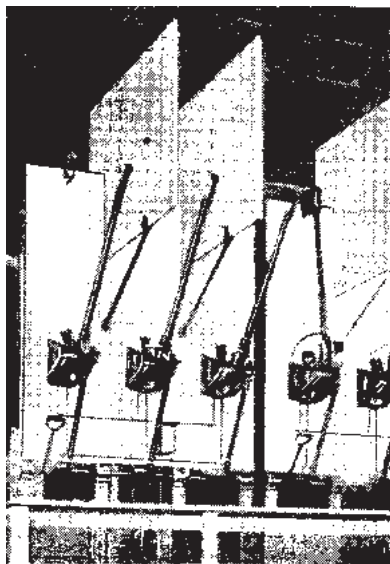


Рис. 2—13 Рычажный выключатель фирмы «Вестингауз» на 22 кв, установленный на Ниагарской ГЭС в 1899 г.

б) Выключатель фирмы ДЖИИ (США)

Компания Эдисона была ярким противником переменного тока высокого напряжения. Пользуясь таким положением, фирма «Вестингауз» развила громадную деятельность по строительству в США установок переменного тока высокого напряжения, которые оказывались более дешевыми и охватывали более значительные районы,

чем установки постоянного тока. Образованная на базе компании Эдисона новая «Всеобщая электрическая компания» (ДЖИИ) стала также строить установки с применением однофазного тока высокого напряжения.

Например, на установке по передаче энергии из Меканиквилля в Скенектеди в 1896 г. было применено напряжение 12 000 в и были установлены рычажные выключатели. Как сообщал журнал «Электричество» [Л. 2-12], «...ножи рубильников высокого напряжения не снабжены ручкой, но на концах их имеются дыры, которые позволяют захватить ножи достаточно длинным и хорошо изолированным крюком». Из этого описания видно, что применявшиеся фирмой ДЖИИ рычажные выключатели с открытой дугой в воздухе на 12 кв представляли собой то, что мы теперь называем разъединителем с включением и выключением от шальтштанги.

Описанные выше конструкции рычажных выключателей с открытой дугой в воздухе до конца прошлого столетия являлись единственным типом выключателя, который нашел широкое применение.

При дальнейшем развитии мощных установок высокого напряжения такие выключатели оказались непригодными. Взамен этих выключателей появился новый тип выключателей, а именно роговой.

2—5 РОГОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

а) Общие сведения

Недостатки ножевых рычажных выключателей с открытой дугой в воздухе при их применении в установках высокого напряжения делали ненадежной эксплуатацию электрических установок. Необходимо было найти какое-то новое решение проблемы коммутации в установках высокого напряжения.

Несмотря на то, что Элиу Томсон и Ферранти в 1894 г. использовали масло как дугогасящую среду, на их предложение современники не обратили надлежащего внимания. Многочисленные изобретатели и ученые направили свои изыскания на другие типы выключателей, а именно на роговые и трубчатые.

Еще Чарльз Браун в одном из своих писем к О. Миллеру в 1894 г. указывал на хорошее защитное действие рогового разрядника [Л. 2-13], но эту свою мысль Браун не оформил патентной заявкой.

В конце прошлого столетия в 1895 г. Эрнст Ольшлегер, инженер фирмы «Сименс-Гальске», предложил роговой разрядник для защиты воздушных линий от перенапряжений. На это предложение был получен германский патент в 1896 г. [Л. 2-14].

Вскоре у фирмы «Браун-Бовери» появилась мысль использовать хорошие дугогасящие свойства рогового разрядника для создания конструкции высоковольтного выключателя.

б) Роговой выключатель фирмы «Браун-Бовери» (Швейцария)

В мае 1897 г. фирма «Браун-Бовери» получила германский патент на роговой выключатель [Л. 2-15].

Выключатель представлял собой два рога, из которых один был неподвижный 1, а другой 2 поворачивающийся около горизонтальной оси. Во включенном состоянии [рис. 2-14] подвижной рог заходит за боковую поверхность рога неподвижного, и электрический контакт осуществляется за счет пружинящего действия рогов.

При отключении рогового выключателя образовывалась электрическая дуга, которая под действием потоков нагретого воздуха

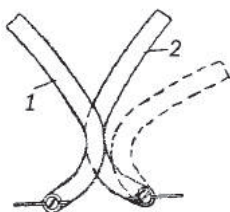


Рис. 2-14 Роговой выключатель фирмы «Браун-Бовери» (1897 г.)

и электродинамических сил выдувалась вверх и разрывалась на концах рогов. Применение рогов для направления перемещения электрической дуги явилось первой попыткой улучшить конструкцию выключателя с открытой дугой в воздухе. Совмещение контактного устройства и направляющего приспособления для перемещения дуги затрудняло постройку рогового выключателя на большие рабочие токи. Пружинящее действие рогов не могло обеспечить надлежащего нажима между контактами при их взаимном соприкосновении.

в) Роговые выключатели фирмы «Фойт и Гефнер» (Германия)

С целью получения более надежного контакта при прохождении рабочих токов Бертрам – конструктор фирмы «Фойт и Гефнер» – в 1900 г. предложил роговой выключатель [рис. 2-15], у которого рога не являлись токоведущими деталями при включенном положении выключателя [Л. 2-16]. Неподвижный рог 1, выполненный в виде прямого стержня, служит только направляющей для электрической дуги при ее перемещении вверх в момент размыкания цепи. Подвижной рог 2 является хвостовой частью рычажного выключателя 3.

Роговой выключатель этой конструкции демонстрировался фирмой «Фойт и Гефнер» на Парижской всемирной выставке 1900 г. Этот же принцип использования рогов, только как направляющих

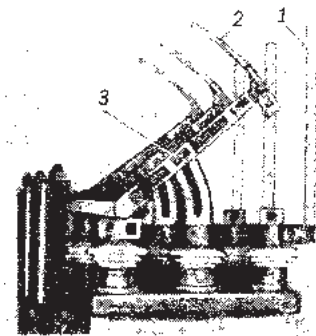


Рис. 2—15 *Роговой выключатель Бертрама, у которого рога не являются токоведущими деталями во включенном положении выключателя (1900 г.)*

для скольжения по ним электрической дуги, фирма «Фойт и Гефнер» применила в 1901 г. в другом роговом выключателе [рис. 2-16]. В этом выключателе токоведущий поворачивающийся нож 1 удлинен. Неподвижные контакты 2 выполнены в виде пружинящих губок, снабженных сверху неподвижными рогами 3. При отключении дуга возникает между неподвижными рогами 3 и удлиненной частью ножей 1. С целью воспрепятствовать перебрасыванию электрической дуги с одной фазы на другую между рогами различных фаз устанавливались изолирующие перегородки.

Третья модификация рогового выключателя этой фирмы [рис. 2-17] относится к 1902 г. и предназначена для сетей напряжением до 10 кв.

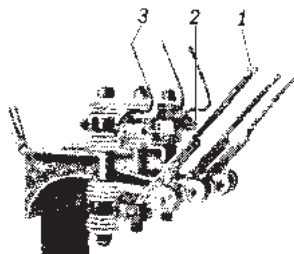


Рис. 2—16 Роговой выключатель фирмы «Фойт и Гефнер» (1900 г.)

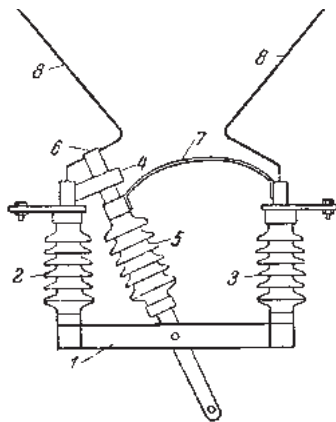


Рис. 2—17 Роговой выключатель фирмы «Фойт и Гефнер» с поворачивающимся изолятором (1902 г.)

На раме 1 установлены изоляторы 2 и 3, снабженные сверху неподвижными рогами 8. На головке изолятора 2 помещен пружинящий неподвижный контакт 4, а на поворачивающемся изоляторе 5 укреплен нож 6, имеющий гибкую токоведущую связь 7 с металлическим колпаком изолятора 3. При отключении дуга перебрасывается на неподвижные рога.

г) Роговой выключатель фирмы «Шпрехер и Шу» (Швейцария)

Дальнейшее улучшение конструкции рогового выключателя было сделано инженером Шпрехером [Л. 2-17] в 1899 г. У его выключателя [рис. 2-18] на головке изолятора 1 укреплен подпружиненный подвижной рабочий контакт 2, а выше помещен неподвижный рог 3. На изоляторе 4 укреплен неподвижный контакт 5, а выше установлен неподвижный рог 6. При натяжении троса 7 подвижной контакт 2 выдвигается и входит в неподвижный пружинящий контакт 5. Подпружиненная защелка 8 удерживает контакт 2 во включенном состоянии. При натяжении троса 9 освобождается подпружиненная защелка 8 и выключатель отключается. Электрическая дуга перекидывается на рога 3 и 6, растягивается и гасится.

В дальнейшем конструкция этого рогового выключателя была упрощена в том отношении, что включение и отключение осуще-

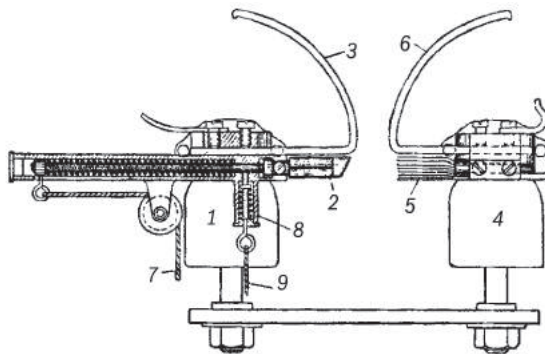


Рис. 2—18 Мачтовый роговой выключатель Шпрехера с тросовым управлением (1899 г.)

ствлялось поворотом рядом установленных качающихся изоляторов с соответственными рычагами.

Изготавливавшиеся фирмой «Шпрехер и Шу» роговые выключатели работали весьма хорошо. В г. Брюгге они были установлены в качестве мачтовых выключателей в сети с напряжением 8 кв и работали около 20 лет.

д) Роговые выключатели фирмы «Шуккерт и К°»

Своеобразную модификацию рогового выключателя предложила в 1899 г. фирма «Шуккерт и К°» [Л. 2-18]. Неподвижные рога 1 и 2 выключателя [рис. 2-19] в нижней своей части служат неподвижными рабочими токоведущими контактами, а в верхней – дугогасящими устройствами. Подвижным контактом в каждой фазе служат вспомогательные рога 3, которые в выключенном состоянии опускаются вниз под действием соответствующего рычажного привода. Образовавшаяся при отключении электрическая дуга перекидывается на рога 1 и 2, где растягивается и гасится.

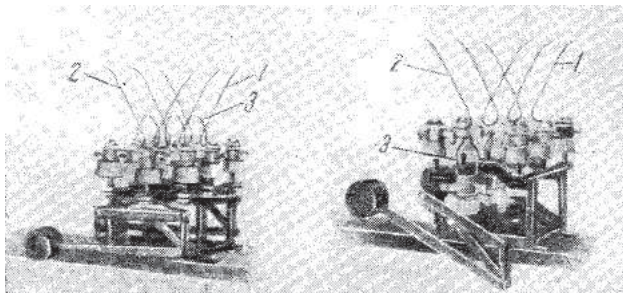


Рис. 2–19 Роговой выключатель с двумя парами рогов фирмы «Шуккерт и К°», во включенном и выключенном положениях (1899 г.)

Эти выключатели применялись на целом ряде установок, в частности на электростанции в Майнце. Они устанавливались на самом верху каркаса распределительного устройства, имели рычажный привод и были снабжены перегородками между отдельными фазами.

Фирма «Шуккерт и К^о» такие выключатели изготовляла в одно-полюсном, двухполюсном и трехполюсном исполнениях для рабочего тока: 50–400 *a* на 5 *кв*; 50–200 *a* на 10 *кв* и 50–100 *a* на 20 *кв* [Л. 2-9].

е) Роговой выключатель с гасительной камерой

М.О.Доливо-Добровольского

В 1910 г. фирма АЭГ подала заявку и получила германский патент [Л. 2-19] на «Устройство для ограничения пространственного распространения электрической дуги в высоковольтном аппарате». Этот выключатель был изобретен М.О.Доливо-Добровольским.

В патентном описании указывается, что целью изобретения было стремление ограничить распространение электрической дуги за пределы выключателя [рис. 2-20], тогда как в обычных роговых выключателях дуга свободно поднимается вверх и при высоком напряжении достигает чрезвычайно большой величины. При размыкании контактов 1 и 2 образуется электрическая дуга 7, которая катушкой магнитного дутья 5 выдувается на рога 3 и 4. Над рогами установлены перегородки 6 из изолирующего огнеупорного материала. Электрическая дуга 7 загоняется в щели между перегородками и удлиняется в виде зигзагов до тех пор, пока не погаснет при переходе тока через нулевое значение.

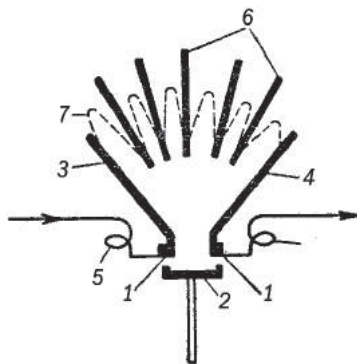


Рис. 2—20 Роговой выключатель Доливо-Добровольского с перегородками для удлинения дуги (1910 г.)

Современным примером применения идеи Доливо-Добровольского о создании рогового выключателя с изолирующими перегородками и магнитным дутьем может служить электромагнитный выключатель типа ВЭМГ-10 [рис. 2-21], изготавливаемый на заводе «Электроаппарат». Он строится для напряжения 10 кв, 600 а с мощностью отключения 200–250 Мва. Это так называемый воздушный

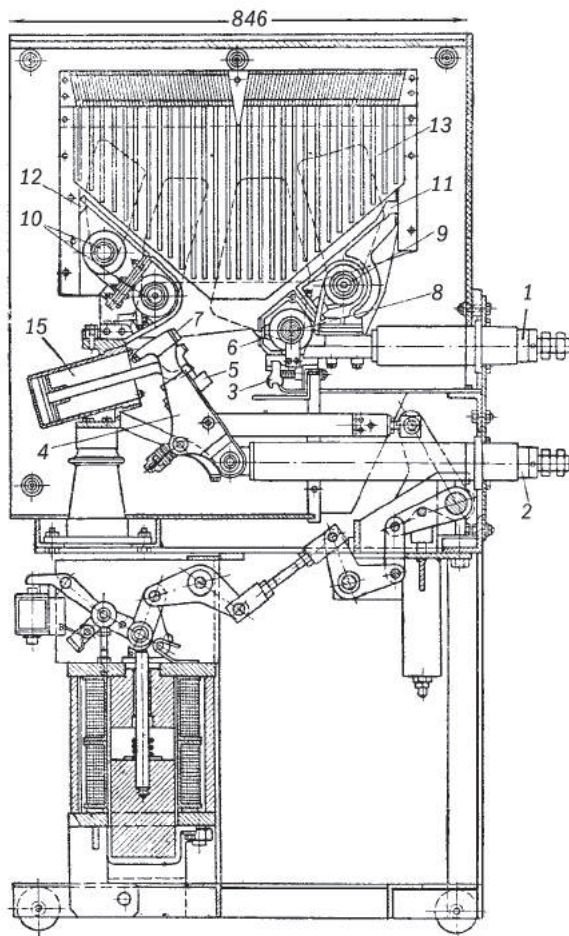


Рис. 2—21 Роговой выключатель завода «Электроаппарат» с гребенчатой гасительной камерой и воздушным дутьем

электромагнитный выключатель с гребенчатой камерой. Деионизация электрической дуги достигается при помощи быстрого перемещения дуги в узких щелях, образованных перегородками из керамического материала.

Ввод 1 выключателя электрически соединен с неподвижным контактом 3, а ввод 2 – с подвижным 5. При отключении выключателя образуется электрическая дуга между контактами 3 и 5, которая быстро перебрасывается на дугогасительные контакты 6 и 7, включая тем самым в цепь тока катушку магнитного дутья 8. Под действием магнитного поля, образованного катушкой 8, электрическая дуга переходит на рога 11 и 12.

Одновременно в цепь тока последовательно вводятся катушки магнитного дутья 9 и 10. Электрическая дуга магнитным дутьем загоняется в гребенчатую дугогасительную камеру 13, щеки которой образуют зигзагообразную узкую щель. В камере 13 дуга растягивается, охлаждается холодными стенками гребенчатой камеры и быстро деионизируется.

Для обеспечения гашения электрической дуги при малых отключаемых токах, когда действие магнитного дутья недостаточно для быстрого перемещения дуги в дугогасительную камеру, дополнительно вводится воздушное дутье. Оно создается воздушным компрессором 15, поршень которого кинематически связан с подвижным контактом 4. Шток поршня выполнен трубчатым. Сжатый в цилиндре компрессора воздух через трубчатый шток направляется в зону горения дуги, образующейся между контактами 3 и 5. Под воздействием струи воздуха дуга поднимается на рога, а оттуда в гасительную камеру.

Выключатели с гасительной гребенчатой камерой строятся также в США, Италии и Франции для напряжений до 17,5 кв.

ж) Роговые выключатели в США

После изобретения масляного выключателя роговые выключатели в Европе больше не применялись. В США же они изготавливались и применялись в сетях с напряжением 50–100 кв еще в течение первых двух десятилетий нашего века.

Сутсгет описывает в 1919 г. новую конструкцию рогового выключателя, предназначенного для сетей напряжением 100 кв. Мощность отключения этого рогового выключателя составляла 5000 ква [Л. 2-20], и особым достоинством его была низкая стоимость. Выключатель [рис. 2-22] имеет две колонны изоляторов 1 и 2, установленные в одной вертикальной плоскости и расположенные под углом 60° одна по отношению к другой. На концах колонн изоляторов 1 и 2 укреплены контакты 3 и 4, несущие рога 5 и 6.

При отключении колонны изоляторов 1 и 2 поворачиваются в разные стороны, и образовавшаяся дуга идет по рогам до ее обрыва.

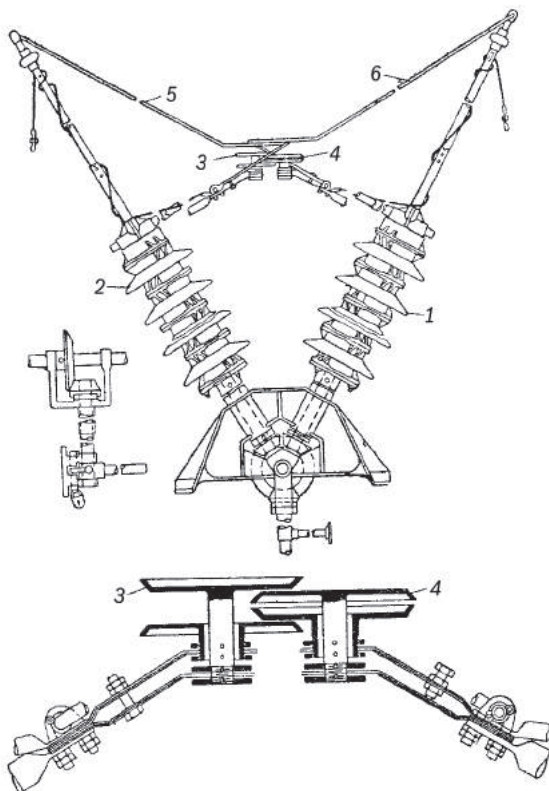


Рис. 2—22 Роговой выключатель для сети 100 кв с мощностью отключения 5000 ква

В журнале «ETZ» за 1921 г. сообщается [Л. 2-21], что в Южной Сиерре в США построена линия передачи от Бишон-Крик до мексиканской границы с роговыми воздушными выключателями. Рабочее напряжение в линии 60 кВ в дальнейшем будет повышено до 140 кВ. Установленные роговые выключатели имеют движение токоведущей части в вертикальной плоскости. Каждая фаза выключателя смонтирована на трех колонках изоляторов [рис. 2-23].

На двух колонках изоляторов 1 и 2 установлены неподвижные рога. Колонка изоляторов 3 вращается вокруг своей вертикальной оси и служит для привода ножа 4, имеющего точку вращения на средней неподвижной колонке изоляторов 2. Нож 4 поворачивается на 90° в вертикальной плоскости под действием рычажного привода с карданной передачей, идущего к ножу 4 от поворотной колонки изоляторов 3.

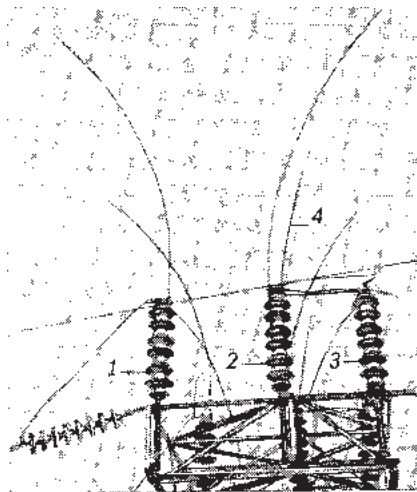


Рис. 2—23 *Роговой выключатель для сети 140 кВ.*

Чтобы снизить вес всех движущихся частей выключателя, ножи 4 выполнены коробчатыми и снабжены медными токоведущими лентами, укрепленными сбоку. Рога выполнены из оцинкованных стальных труб, сечение которых сверху уменьшается.

По поводу этой же установки В. Хютер пишет [Л. 2-22], что на открытых подстанциях особенно пригодны воздушные роговые выключатели и что в Америке в двадцатых годах были вновь сделаны попытки вернуться к роговым выключателям ввиду имевших место взрывов масляных выключателей. Линии передачи в Южной Сиерре в США имеют в эксплуатации воздушные роговые выключатели с 1912 г. Произведенные испытания показали, что электрическая дуга при напряжении линии 112 кв имеет длину 4,5 м. После 1930 г. американские компании отказались от роговых выключателей, оставив их лишь в роли разъединителей.

з) Испытание роговых выключателей

В 1903 г. Бенишке сделал доклад на заседании Электротехнического общества в Берлине относительно выключателей высокого напряжения [Л. 2-23]. Касаясь результатов испытания роговых выключателей, которые производились при отключении короткого замыкания генератора мощностью 700 кв, Бенишке пришел к выводу, что такие выключатели следует снабжать перегородками между фазами. Эти перегородки должны иметь соответствующую высоту, так как дуги отдельных фаз под действием потоков воздуха перемещаются, приходят в соприкосновение и создают короткое замыкание. По этой причине такие воздушные выключатели при больших отключаемых мощностях следует размещать в огнестойких камерах и каждую фазу устанавливать в отдельной камере.

В 1916 г. Х.Е. Беннетт поместил в журнале «El World» краткий обзор относительно работы роговых выключателей, установленных в сетях линий высокого напряжения. Было установлено, что процесс отключения в сети с напряжением 50 кв продолжается от двух до 25 сек при средней продолжительности 6 сек. В сети с напряжением 110 кв процесс отключения продолжался 3–16 сек, а средняя продолжительность процесса отключения составляла 7 сек. При испытании было установлено, что индукционная нагрузка отключается труднее, так как нулевые значения тока и напряжения при индукционной нагрузке не совпадали по времени [Л. 2-24].

Из приведенных выше данных видно, что роговые выключатели были изобретены в Европе, где нашли широкое применение для напряжений до 20 кВ и перестали применяться только в начале нашего столетия после изобретения масляного выключателя. В США роговые выключатели применялись для сетей напряжением до 150 кВ и находились в эксплуатации примерно первую четверть нашего столетия.

2—6 РОЛИКОВЫЕ, ПЛАСТИНЧАТЫЕ И ДЕИОННЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

а) Общие сведения

За период времени с 1896 по 1929 г. фирмами «Шуккерт и К°», «Сименс-Гальске», АЭГ и «Вестингауз» были предложены новые типы выключателей высокого напряжения, а именно роликовые, пластинчатые и деионные.

По своему конструктивному оформлению эти три типа не похожи друг на друга. Однако принцип гашения электрической дуги у них основан на разделении электрической дуги на отдельные короткие дуги, включенные последовательно. При переходе переменного тока через нулевое значение около катода образуется положительный пространственный заряд.

При холодных электродах для преодоления этого пространственного положительного заряда требуется создать электрическое поле, соответствующее эффективной разности напряжений около 175 в.

Впервые это явление было обнаружено Доливо-Добровольским, который на это указал в 1912 г. при получении германского патента на выключатель с деионной решеткой [Л. 2-25].

Первые изобретатели роликовых и пластинчатых выключателей знали только тот факт, что в роликовых грозозащищенных устрой-

ствах, предложенных Вурцом в 1892 г., наблюдается быстрое гашение коротких электрических дуг. При испытании конструкций роликовых и пластинчатых выключателей обнаружилось, что они работают хорошо только в сетях переменного тока, тогда как в сетях постоянного тока возникшие короткие дуги продолжают гореть.

б) Роликовые выключатели фирмы «Шуккерт и К°»

Инженер фирмы «Шуккерт и К°» Г. Мюллер в 1896 г. предложил роликовый выключатель для напряжения 6000 в, 50 а [Л. 2-26]. Этот выключатель [рис. 2-24] представляет собой обычный рычажный выключатель 1, на оси которого установлен барабанный замыкатель 2. При включенном положении рычажного выключателя 1 барабанный замыкатель поворачивается и расклинивает параллельно подключенные ролики 3. Когда рычажный выключатель 1 находится в выключенном положении, то ролики 3 занимают вертикальное положение и между ними образуются короткие электрические дуги. При переходе тока через нулевое значение дуги гаснут и не зажигаются вновь, так как напряжение на отдельных промежутках

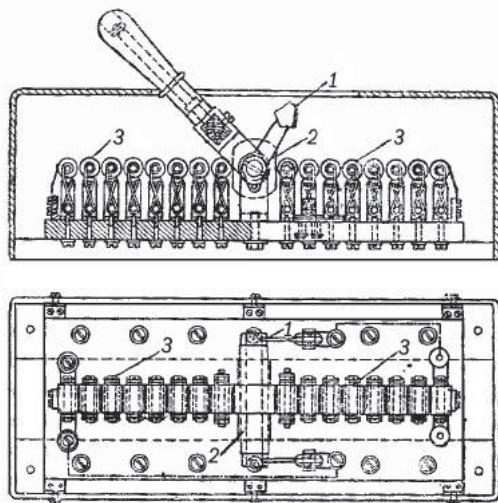


Рис. 2-24 Роликовый выключатель Мюллера (1896 г.)

выбирается меньшим, чем то необходимо для преодоления околокатодного положительного пространственного заряда.

Такие роликовые выключатели были установлены на городской электростанции в г. Нюрнберге и в ряде других мест.

Самые большие роликовые выключатели строились для токов 150 а при 2000 в и работали почти без новообразования.

в) Пластинчатые выключатели фирмы «Сименс-Гальске»

В 1901 г. фирма «Сименс-Гальске» получила германский патент [Л. 2-27] на «Выключатель электрического тока с установленными друг около друга отключающими ток пластинками» [рис. 2-25], который по принципу действия был аналогичен роликовому выключателю фирмы «Шуккерт и К°» с той разницей, что вместо роликов в нем установлены пластинки. Выключатель на рисунке показан во включенном состоянии.

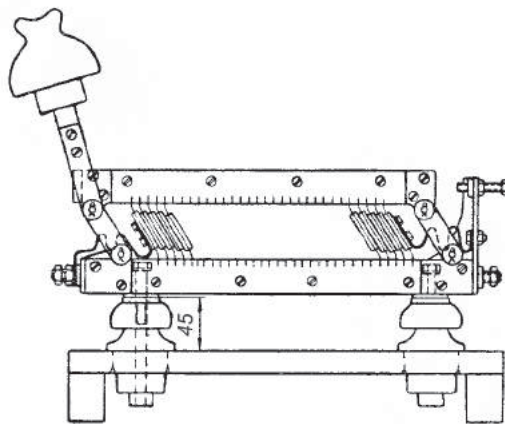


Рис. 2—25 *Пластинчатый выключатель фирмы «Сименс-Гальске» (1901 г.)*

При отключении пластинки становятся вертикально и между ними образуются просветы, в которых возникают короткие электрические дуги. Пластинчатый выключатель «Сименс-Гальске» следует рассматривать как модификацию роликового выключателя. Необходимо

отметить, что роликовые и пластинчатые выключатели не нашли широкого применения и приводятся здесь с целью показать их как предшественников деионного выключателя, основанного на том же принципе гашения дуги.

г) Деионный выключатель М.О.Доливо-Добровольского

Деионный воздушный выключатель характеризуется тем, что возникшая электрическая дуга после расхождения контактов при отключении выключателя вначале перебрасывается на рога, а затем под действием магнитного дутья загоняется в гасительную камеру, представляющую собой ряд металлических пластин, между которыми загораются короткие электрические дуги, включенные последовательно. Расчетное напряжение тока отдельных коротких электрических дуг принимается ниже, чем напряжение, требующееся для преодоления околоскатодного пространственного заряда. Изобретателем деионного выключателя является Доливо-Добровольский.

Заявка на выключатель с деионной решеткой была сделана фирмой АЭГ 4 мая 1912 г., и по ней был получен германский патент [Л. 2-25].

Деионный выключатель показан на рис. 2-26. В этом выключателе вначале расходятся рабочие контакты 7 и 8, а затем дугогасительные 1 и 2.

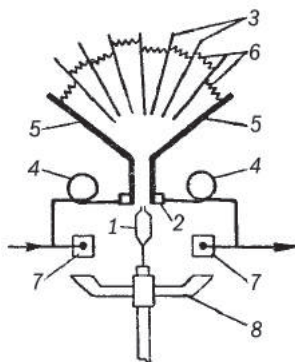


Рис. 2–26 Деионный выключатель Доливо-Добровольского (1912 г.)

Над местом разрыва дугогасительных контактов помещена деионная решетка, составленная из отдельных металлических пластин 3, электрически изолированных друг от друга. Под действием магнитного поля катушек 4 электрическая дуга переходит на рога 5 и деионной решеткой разбивается на ряд отдельных коротких дуг 6. Количество пластин деионной решетки подбиралось из того расчета, чтобы на каждую короткую дугу приходилось напряжение, меньше требуемого для ее зажигания.

В описании изобретения, изложенном в германском патенте, прямо указано, что для поддержания дуги при постоянном токе требуется напряжение между пластинами 15–20 в, а при переменном около 250 в (амплитудное).

Ценное изобретение М.О.Доливо-Добровольского находилось много лет в портфеле АЭГ и не было ею использовано.

Когда в 1928 г. фирма «Вестингауз» выпустила воздушный деионный выключатель, основанный на том же самом принципе гашения дуги, как в выключателе Доливо-Добровольского, то фирма АЭГ вынуждена была опубликовать изобретение Доливо-Добровольского.

В сборнике «Forschung und Technik» за 1930 г. помещена статья инженеров фирмы АЭГ Кона и Ульбриха под заголовком «Многоискровая камера для воздушного выключателя Доливо-Добровольского». В этой статье указывается на авторство Доливо-Добровольского по созданию выключателя с деионной решеткой, а также приводятся данные о результатах испытаний ее. В статье преследовалась цель показать приоритет создания выключателя с деионной решеткой в Германии.

д) Выключатель с деионной решеткой Слепяна (США)

В 1928 г. американская фирма «Вестингауз» начала изготавливать воздушные выключатели высокого напряжения с деионной решеткой. Предложенная конструкция этого выключателя была разработана шеф-электриком фирмы «Вестингауз» доктором Слепяном. В этом выключателе [рис. 2-27] подвижной 3 и неподвижной 2 кон-

такты и деионная решетка 4 смонтированы на стойке 1. Под действием магнитного дутья, создаваемого витком 5, электрическая дуга 6 переходит на рога 7, а затем загоняется в деионную решетку 4, выполненную из отдельных металлических пластин 8, электрически изолированных друг от друга. Попадая между пластинами 8, электрическая дуга разрезается на короткие дуги, включенные в цепь тока последовательно. Каждая из этих коротких дуг обладает катодным напряжением зажигания 250 в амплитудных. При переходе тока через нулевое значение все короткие электрические дуги гаснут, и для их повторного зажигания требуется напряжение, равное числу пластин деионной решетки минус одна, умноженному на 250. Количество пластин 8 выбирается в соответствии с рабочим напряжением, при котором будет работать выключатель. Между пластинами 8 установлены катушки 9, витки которых намотаны таким образом, чтобы две соседние катушки создавали магнитные поля, направленные навстречу друг другу. Концы обмоток катушек подключены к двум соседним пластинам 8. Противоположно направленные магнитные поля образуют радиальное магнитное поле, направленное перпендикулярно по отношению к осевой линии втулки 10, внутри которой проходит виток 5. Под действием радиальных магнитных полей короткие электрические дуги, горящие

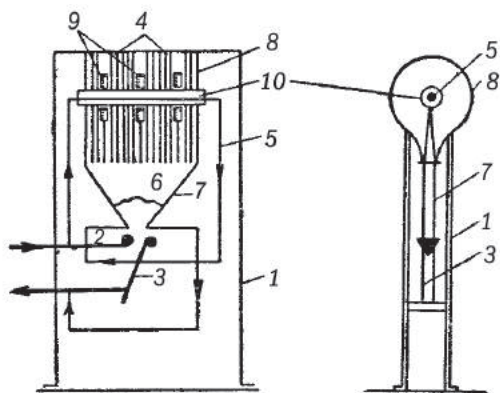


Рис. 2-27 Деионный выключатель фирмы «Вестингауз» (1928 г.)

между соседними пластинами 8, придут во вращение вокруг втулки 10 и во все время их горения будут находиться в соприкосновении с холодными электродами. При первом же переходе тока через нулевое значение происходит гашение электрических дуг. Магнитное поле, создаваемое витком 5, прижимает вращающиеся электрические дуги к внешней поверхности втулки 10.

Относительно деталей конструктивных данных деионного выключателя фирмы «Вестингауз» помещены данные в журнале «ETZ» [Л. 2-28].

Медные пластины решеток имеют толщину 1,6 мм и установлены на расстоянии 1,6 мм одна от другой. Расстояние между пластинами фиксировалось прокладками из изолирующего материала. На каждый промежуток между пластинами давалось эффективное напряжение 130 в. Для обеспечения равномерного распределения напряжения между пластинами устанавливались электростатические экраны, представляющие собой набор гладких круглых миканитовых цилиндров с соответствующими по форме станиолевыми прокладками. Электрическая дуга вращается со скоростью 15 оборотов в полупериод (60 гц). Исследованию подвергался деионный трехфазный выключатель на 15 кв, 2000 а. Он выдержал 12 трехполюсных отключений при 12 кв и токах от 7000 до 13 000 а за время испытания в течение 1 ч 42 мин.

Выключатель дополнительно подвергался 15 испытаниям для отключения токов от 12 600 до 22 400 а. Испытания продолжались 2 ч 40 мин, и было установлено, что такие токи явились предельными в отношении допустимого нагрева выключателя.

По этому принципу гашения дуги фирма «Вестингауз» строит выключатели и на более низкое напряжение в пределах 440–2300 в.

Деионный выключатель усиленно рекламировался фирмой «Вестингауз» и выдавался за оригинальное американское изобретение, тогда как в действительности выключатель с деионной решеткой был изобретен М.О.Доливо-Добровольским в 1912 г., т. е. на 16 лет раньше, как то было указано выше.

е) Выключатель с деионной решеткой К.Н.Петрова

В развитие выключателя с деионной решеткой Доливо-Добровольского советский изобретатель К.Н.Петров предложил в 1945 г., а в 1947 г. получил авторское свидетельство на «Устройство для гашения дуги в электрических выключателях» [Л. 2-29].

Основная мысль в предложении Петрова заключалась в том, что необходимо в деионной решетке [рис. 2-28] создать магнитное дутье, не прибегая к устройству отдельных катушек или витков. При расхождении рабочих контактов 4 и 5 дуга перебрасывается на рога 3, между которыми установлена деионная решетка. Каждая пластинка 1 деионной решетки выполнена изогнутой в виде буквы V. Образующиеся короткие дуги 2 расположены между внешними поверхностями этих пластин. В промежутке между отдельными короткими дугами ток протекает по петлям, образованным пластинами 1. Магнитный поток, создаваемый токами, протекающими по V-образным пластинам, взаимодействует с короткими дугами и гонит их вверх между пластинами. Для уменьшения тока рекомендуется выполнять пластины 1 из плохо проводящих материалов.

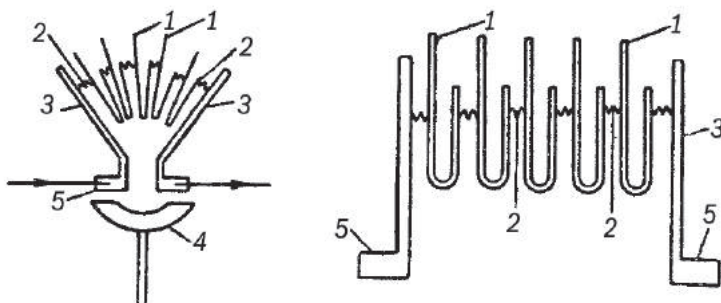


Рис. 2—28 Выключатель К.Н.Петрова с деионной решеткой (1945 г.)

Кроме того, рекомендуется один конец каждой пластины 1 делать более длинным, что затруднит образование общей дуги поверх деионной решетки.

2–7 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ С ГАСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРОЙ В ВИДЕ УЗКОЙ ЩЕЛИ М.О.ДОЛИВО-ДОБРОВОЛЬСКОГО

а) Общие сведения

Выключатель с узкой щелью был предложен Доливо-Добровольским в 1914 г., на этот тип выключателя был получен германский патент [Л. 2-30], в котором приведено несколько вариантов выполнения гасительной камеры этого выключателя.

В описании патента указывается, что гашение электрической дуги осуществляется действием магнитного поля на образовавшуюся между электродами дугу. У известных аналогичных выключателей с магнитным дутьем приходится предусматривать свободное пространство для роста электрической дуги при ее выдувании.

В отличие от этого типа выключателей дуга под действием магнитного дутья не растягивается, а загоняется в узкую щель, где соприкасается с холодными стенками гасительной камеры.

Кроме того, в патенте указывается, что в выключателях с узкой щелью могут быть использованы принципы гашения дуги, изложенные в германских патентах фирмы АЕГ.

Первый патент № 256517 предусматривал установку перегородок из изолирующего материала, а второй и третий (№ 265745 и 272742) – установку металлических перегородок с разделением дуги на ряд последовательно включенных коротких дуг.

Выполнение гасительной камеры в патенте предусматривалось в нескольких модификациях.

б) Первый вариант

Гасительная камера [рис. 2-29, а] собирается из железных пластин 1 V-образной формы с прокладками между ними пластинок из слюды или эбонита. Расходящиеся контакты, не показанные на рисунке, образуют электрическую дугу 4. Для создания магнитного поля установлена катушка 2.

Под действием магнитного потока дуга 4 перемещается по направлению стрелки 5 и сильным давлением поля прижимается к огнестойкой перегородке 3, где быстро охлаждается и гаснет. Верх и низ гасительной камеры выполнены из металлических пластин, электрически соединенных с расходящимися контактами, так что дуга при своем перемещении в узкой щели все время сохраняет неизменную длину. На рис. 2-29, б показана модификация щелевой гасительной камеры, у которой нет катушки магнитного дутья. В этом случае магнитный поток 6 создается самим током электрической дуги (пунктирная линия). Для создания магнитопровода гасительная камера собирается из железных пластин 1 вперемежку с изолирующими пластинами.

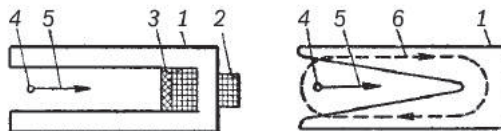


Рис. 2-29 Выключатель Доливо-Добровольского с открытой узкой щелью (1914 г.)

С целью улучшения действия этой гасительной камеры рекомендуется изолирующие пластины делать несколько бóльшими по ширине, чем стальные пластины 1. В этом случае электрическая дуга удлинится, что соответствует устройству по германскому патенту № 256517.

Следующей модификацией гасительной камеры с узкой щелью была постановка между стальными пластинками прокладок из токопроводящего огнестойкого материала. Эти прокладки разбивали дугу на ряд коротких дуг, включенных последовательно. В этом случае действие гасительной камеры с узкой щелью подобно действию деионной решетки по германскому патенту № 266745.

в) Второй вариант [рис. 2-30]

Электрическая дуга 4, образовавшаяся при расхождении контактов выключателя, не показанных на рисунке, охватывается стальными пластинчатыми сердечниками 1 электромагнита, снабженного

катушкой 2, получающей питание от источника тока. Концы пластин пластинчатого сердечника 1 сближены и образуют узкую щель, выходное отверстие которой закрыто перегородкой 3, выполненной из огнестойкого материала. Под действием магнитного поля дуга 4 перемещается по направлению стрелки 5 и попадает в узкую щель, где магнитное поле имеет наивысшую интенсивность.

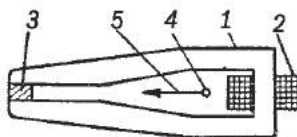


Рис. 2—30 Выключатель Доливо-Добровольского с закрытой узкой щелью (1914 г.)

Под действием давления магнитного поля дуга прижимается к перегородке 3. Дуга при своем перемещении имеет основанием крайние металлические пластины гасительной камеры, электрически связанные с расходящимися контактами.

г) Третий вариант [рис. 2-31]

Стальным пластинам гасительной камеры придана спиральная форма.

Одна сторона намагничивающей катушки 2 проходит через середину отдельных стальных пластин 1. Гасительная камера собрана из ряда стальных пластин 1 с прокладками из изолирующего огнестойкого материала. Щель 3 гасительной камеры представляет собой спираль, по которой перемещается дуга 4 по направлению стрелки 5 под действием магнитного поля, создаваемого катушкой 2.

Спиральная форма щели удлиняет путь дуги по узкой части щели 3, что способствует лучшему охлаждению дуги стенками гасительной камеры. Принцип затягивания электрической дуги в узкую спиральной формы щель гасительной камеры со стальными пластинами и намагничивающей катушкой был применен в 1929 г. фирмой «Вестингауз» при конструировании масляного выключателя для

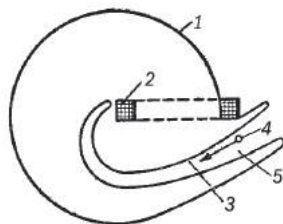


Рис. 2–31 Выключатель Доливо-Добровольского со спиральной открытой узкой щелью (1914 г.)

напряжения 287 кв. Отличие гасительной камеры фирмы «Вестингауз» заключалось в том, что вместо огнестойких изолирующих прокладок из слюды или эбонита были поставлены фибровые прокладки. Для более эффективного действия гасительной камеры с узкой щелью фирма «Вестингауз» поместила ее в бак с маслом, что дает новый технический эффект. Поэтому масляный выключатель фирмы «Вестингауз» с гасительными камерами с узкой щелью следует признать изобретением, в котором гасительная камера с узкой щелью Доливо-Добровольского нашла свое дальнейшее развитие.

2–8 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ С ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ В ВОЗДУХЕ, СНАБЖЕННЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ

а) Общий обзор

Изготавливаемые в начале нашего столетия первые трансформаторы и электродвигатели высокого напряжения не имели надежного крепления обмотки. При подключении к сети под действием толчка тока в обмотках этих трансформаторов и электродвигателей

возникали значительные электромагнитные силы, что приводило к смещению обмоток, повреждению их изоляции и выходу из строя трансформаторов и электродвигателей. Во избежание таких явлений крупные трансформаторы высокого напряжения и электродвигатели начали включать, предварительно вводя в цепь ограничивающие величину тока сопротивления, а затем производить закорачивание этих сопротивлений.

б) Выключатель фирмы «Вестингауз»

В 1897 г. американская фирма «Вестингауз» установила на Ниагарской ГЭС выключатели с гашением открытой дуги в воздухе, снабженные активными сопротивлениями для ограничения силы отключаемого тока [рис. 2-32]. Эти выключатели были рассчитаны на ток 1000 а, 2250 в и установлены в цепи каждого гидрогенератора [Л. 2-6]. Они включались и отключались при помощи пневматического привода. В положении *а* выключатель показан во включенном состоянии, в положении *б* ножевой контакт 2 отключен, и рабочий ток идет через дугогасительные контакты 3 и сопротивление 1.

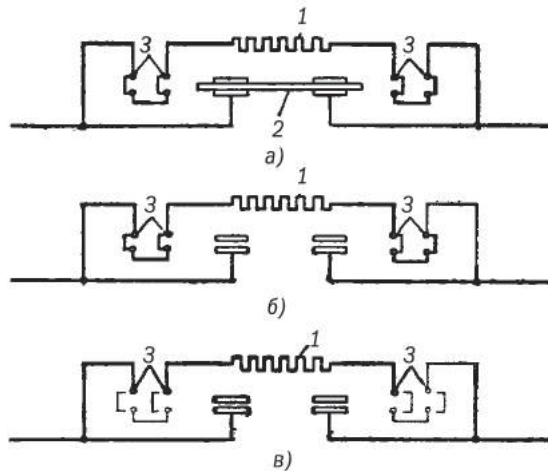


Рис. 2—32 Схема выключателя фирмы «Вестингауз» с открытой дугой в воздухе для 3 кв со встроенными сопротивлениями (1897 г.)

В положении *в* процесс отключения закончен. Пневматический привод представлял собой цилиндр, шток которого перемещает траверсу, выполненную из изолирующего материала. На траверсе были помещены главные (рабочие) ножевые контакты 2 и пальцевые дугогасительные контакты 3.

На каждый полюс выключатель имеет по одному главному ножевому контакту 2 и по восьми дугогасительным контактам 3. Главные ножевые контакты 2 отключаются раньше, чем дугогасительные 3, и поэтому каждый полюс имеет восемь мест разрыва тока, а каждая фаза по 16 разрывов тока. Активное сопротивление 1 в 1,2 *ом* ограничивает величину тока при отключении.

Применение пневматического привода для включения и выключения выключателя нашло впоследствии широкое распространение.

в) Выключатель Вудхауза (Англия)

В 1903 г. Вудхауз предложил выключатель с открытой дугой в воздухе с промежуточными зажимами и подключенными к ним активными сопротивлениями [рис. 2-33] [Л. 2-6].

Каждая фаза выключателя имеет три контакта, из которых контакты 1 и 2 снабжены выступающими вперед пружинящими пластинами. При включении контактные ножи 5 вначале замыкают контакты 1 и 2 и тем подключают электродвигатель или трансформатор к линии через активные сопротивления 4. При дальнейшем продвижении ножи 5 замыкают все три контакта 1, 2 и 3 и тем шунтируют сопротивление 4.

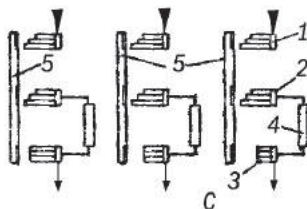


Рис. 2-33 Схема выключателя Вудхауза с открытой дугой в воздухе и ограничивающими величину отключаемого тока сопротивлениями (1903 г.)

При отключении процесс протекает в обратном направлении, т. е. вначале отключаются контакты 3 и последовательно в цепь отключаемого тока включаются сопротивления 4.

Выключатель Вудхауза по своей идее был повторением выключателя фирмы «Вестингауз», установленного на 6 лет ранее на Ниагарской гидроэлектростанции.

г) Выключатель Л.Г.Рашковского (СССР)

В 1930 г. Л.Г.Рашковский подал заявку и в 1931 г. получил авторское свидетельство № 23473 на разрядник-выключатель со ступенчатым автоматическим включением сопротивлений под действием самой электрической дуги, перемещающейся по контактам гасительного устройства.

В описании этого изобретения дана следующая формулировка предмета изобретения [Л. 2-31].

«Устройство для ступенчатого ограничения силы тока в вольтовой дуге разрядника (выключателя СГ), возникающей между контактами электрических выключателей при размыкании ими цепи тока..., отличающееся тем, что рога разрядника состоят из ряда расположенных один выше другого на изолирующем основании металлических электродов, электрически соединенных друг с другом в последовательный ряд через электрическое сопротивление».

Сущность изобретения Рашковского [рис. 2-34] заключалась в следующем:

При расхождении контактов 1 и 2 электрическая дуга под действием электродинамических сил и потока нагретого воздуха перескакивает с рабочих контактов 1 и 2 на добавочные контакты 3 и 3', укрепленные на плитах 4 и 4' из изолирующего огнестойкого материала.

Контакты 3 и 3' электрически соединены в каждом ряду друг с другом омическими сопротивлениями 5 и 5'.

При движении электрической дуги по контактам 3 и 3' в цепь электрической дуги автоматически вводятся все большие и большие сопротивления, что облегчает ее гашение. Металлические пласти-

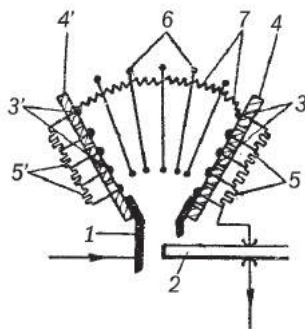


Рис. 2–34 Выключатель Л.Г.Рашковского со ступенчатым автоматическим включением сопротивлений в процессе отключения (1930 г.)

ны 6 разрезают дугу на ряд коротких дуг, благодаря чему получается действие, аналогичное действию деионной решетки Доливо-Добровольского.

Выключатель Рашковского не нашел применения в том виде, как он был предложен изобретателем. Спустя 5 лет французская фирма «Делль» предложила выключатель с гашением дуги сжатым воздухом, в котором было применено устройство для автоматического ступенчатого включения нескольких активных сопротивлений в цепь отключаемого тока при перескакивании гасимой дуги по контактам, встроенным в стенки гасительной камеры. Это устройство по своей идее аналогично выключателю Рашковского, приоритет которого подтверждается выдачей ему авторского свидетельства по его заявке 1930 г.

В заключение следует отметить, что выключатель с гашением дуги в воздухе продолжает применяться и в настоящее время, особенно широко в установках постоянного тока для напряжений до 15 кв. Все тяговые подстанции постоянного тока, а также промышленные установки с ртутными выпрямителями снабжаются выключателями с гашением дуги в воздухе.

Эти выключатели имеют различного типа гасительные камеры, в которых происходят удлинение дуги и охлаждение ее стенками камеры, что приводит к деионизации дугового столба и гашению электрической дуги.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ИЗОБРЕТЕНИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ С ПРОСТЫМ РАСХОЖДЕНИЕМ КОНТАКТОВ В МАСЛЕ

3—1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Рост мощности электрических станций и повышение напряжения в линиях передач электрической энергии ставили задачу по созданию такого выключателя, который был бы способен отключать не только рабочие токи, но и токи коротких замыканий.

Воздушный выключатель с открытой дугой в воздухе не отвечал этим требованиям. При работе с выключателями с открытой дугой в воздухе было экспериментально установлено, что с увеличением скорости расхождения контактов выключателя возрастает его отключающая способность. Поэтому такие выключатели стали снабжать пружинами для увеличения скорости движения подвижных контактов. Однако все известные конструкции выключателей с открытой дугой в воздухе и при этих условиях не смогли ответить возросшим в связи с ростом мощности электрических станций и систем требованиям.

Желая обойтись без выключателей высокого напряжения, одно время начали строить электрические генераторы высокого напряжения и подключать их непосредственно к отходящей линии электропередачи. По такой системе работали установки постоянного тока М.Депре, Тюри и установки однофазного тока Голларда и Гибса.

Далее наступил период, когда в электрических установках высокого напряжения с повысительными трансформаторами устанавливали выключатели только на низкой стороне трансформаторов. По этому принципу была сооружена в 1891 г. первая в мире линия передачи трехфазного тока из Лауффена во Франкфурт-на-Майне [Л. 3-1].

На электростанции в Лауффене был установлен трехфазный генератор мощностью 210 квт (300 л. с.) с фазным напряжением 45–60 в, 30–40 зц.

Всё коммутирующее устройство на стороне высокого напряжения во Франкфурте-на-Майне состояло из стального бруса, подвешенного на веревках над тремя проводами линии передачи.

Если по какой-либо причине требовалось прекратить подачу энергии, то стальной брус спускался на все три провода и создавал трехфазное короткое замыкание. Предохранители в Лауффене сгорали, и линия отключалась. Таково было первое коммутирующее устройство на линии электропередачи трехфазного тока высокого напряжения.

Такое решение вопроса при отсутствии выключателя на стороне высокого напряжения трансформатора, питающего линию электропередачи, позволяло эксплуатировать линию передачи только в том случае, если на трассе линии передачи не было ответвлений для передачи энергии одновременно на несколько подстанций. Между тем расширение радиуса действия электростанций требовало сооружения разветвленных линий передач, а следовательно, и независимого их отключения от общей высоковольтной сети. При этом такие отключения должны были производиться так, чтобы не нарушалась непрерывность подачи тока остальным потребителям электрической энергии.

Рост мощности электрических станций сопровождался также и ростом мощности отдельных агрегатов. Успехи в конструировании мощных генераторов сильно уменьшили их реактивность, что еще более утяжелило условия работы выключателей. Мелкие генераторы первых годов их изготовления имели значительное магнитное рассеяние. Поэтому при мощных коротких замыканиях вследствие

реакции якоря напряжение автоматически снижалось, что весьма облегчало работу выключателей.

В новых мощных машинах реакция якоря не оказывала такого сильного размагничивания магнитной системы генераторов, а потому значительно возросли токи короткого замыкания. Особенно остро стоял вопрос о создании надежных выключателей в тех странах, где сильно развивалось строительство электростанций и линий передач. Такими странами в конце прошлого столетия были Англия, Швейцария, США и Германия.

Исходя из создавшейся обстановки, можно сделать вывод, что задача создания надежного выключателя высокого напряжения, особо актуальная для этих стран, должна была найти разрешение именно в этих странах. Проведенные исследования по выяснению вопроса — когда, кто и где изобрел масляный выключатель, показали, что это изобретение было одновременно сделано в Англии, Швейцарии и США. Чтобы показать настоятельную необходимость в создании именно в этих странах нового выключающего аппарата, ниже приводится краткое описание наиболее мощных электрических станций, которые сооружались в этих странах и на которых впервые были установлены масляные выключатели.

3—2 РАБОТЫ С. ДЕ ФЕРРАНТИ (АНГЛИЯ)

а) Строительство электростанций в Лондоне

В 1885 г. Себастьян Циани де Ферранти построил электрическую станцию однофазного тока [Л. 3-2] для снабжения электрической энергией западной части Лондона.

Электростанция была расположена в Лондонской Гросвенорской галерее, где были установлены две вертикальные паровые машины

с соответствующими однофазными генераторами системы Ферранти мощностью по 300 *кв*а и напряжением 2400 *в*. К каждому потребителю подводился ток высокого напряжения и там трансформировался на напряжение 100 *в*. Наплыв потребителей энергии был так велик, что электростанция Гросвенорской галереи оказалась сильно перегруженной. Как сообщалось в «ETZ» [Л. 3-3], перегрузка машин Гросвенорской электростанции в часы пик достигала 50 %. Возник вопрос о строительстве в Лондоне новой, более мощной электростанции.

В 1887 г. в Лондоне была образована компания по снабжению электроэнергией восточного района города, которая поручила Ферранти строительство новой электростанции [Л. 3-4].

Ферранти поставил ряд опытов с токами различного напряжения и силы и наконец остановился на напряжении 10 000 *в* как наиболее экономичном. По проекту, первая очередь Дептфордской электростанции должна была иметь мощность 40 000 *л. с.* с возможностью расширения до 80 000 *л. с.* [рис. 3-1]. Постройка электростанции в Дептфорде началась в апреле 1889 г. [Л. 3-5 и 3-6]. Первый агрегат мощностью 1500 *л. с.* был пущен в ноябре 1890 г. На рис. 3-1 показан первый агрегат, установленный на Дептфордской электрической станции.

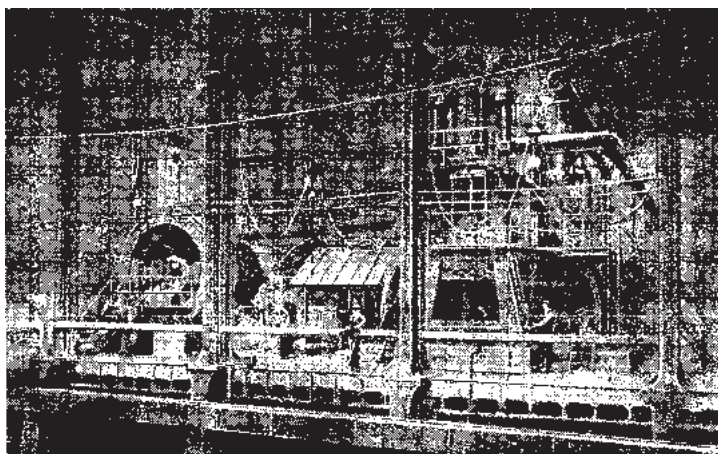


Рис. 3—1 Машинный зал электростанции в Дептфорде с генераторами Ферранти (1890 г.)

Первые генераторы, установленные на Дептфордской электростанции, имели напряжение на зажимах 2400 в. Напряжение, повышаемое трансформаторами до 10 000 в, передавалось в Лондон на электростанцию Гросвенорской галереи, где вновь понижалось до 2400 в.

На этой электростанции Ферранти установил выключатели и плавкие предохранители с гашением электрической дуги в масле.

б) Плавкий предохранитель с маслом системы Ферранти

В 1894 г. Ферранти получил английский патент на предохранитель с маслом [Л. 3-7], показанный на рис. 3-2.

Предохранитель представлял собой фарфоровую коробку 1 с фарфоровой крышкой 2. Коробка 1, заполненная маслом, перегородкой 3 разделена на две части. На задней стенке коробки 1 вмонтированы два втычных контакта 4, концы которых в коробке 1 имеют пружинные наконечники 5. Между концами пружинных наконечников устанавливается плавкая вставка 6, удерживающая оба подпружинных наконечника в приподнятом положении, указанном на рисунке. При сгорании плавкой вставки 6 наконечники 5 займут под

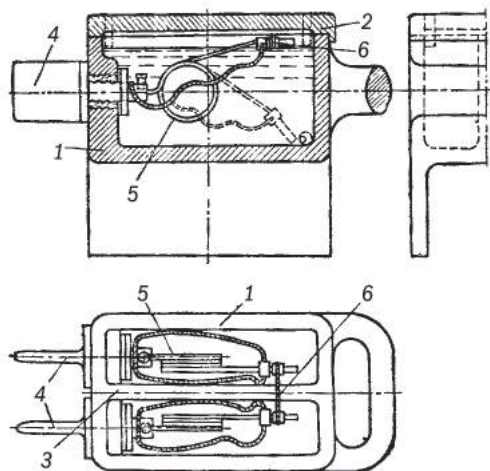


Рис. 3—2 Плавкий предохранитель Ферранти с гашением дуги в масле (1894 г.)

действием пружин положение, указанное на рисунке пунктиром, и образовавшаяся в воздухе электрическая дуга затянется в масло, где и погасит. Этот предохранитель был одним из первых аппаратов промышленного назначения, в котором использовалось масло для гашения электрической дуги.

в) Выключатель высокого напряжения с гашением дуги в масле

В 1895 г. Ферранти получил английский патент на выключатель высокого напряжения с гашением дуги в масле [Л. 3-8] [рис. 3-3]. Он снабжен двумя подвижными рабочими контактами 1 ножевого типа, находящимися в воздухе, и стержневым дугогасящим контактом 2, установленном в цилиндре 3, наполненном маслом. Конец дугогасящего стержневого контакта 2 выходит через крышку цилиндра 3 и электрически соединяется с неподвижным контактом, находящимся в воздухе.

При выключении, осуществляемом поворотом эбонитовой рукоятки 5, вначале поворачиваются ножевые контакты 1, и тогда рабочий

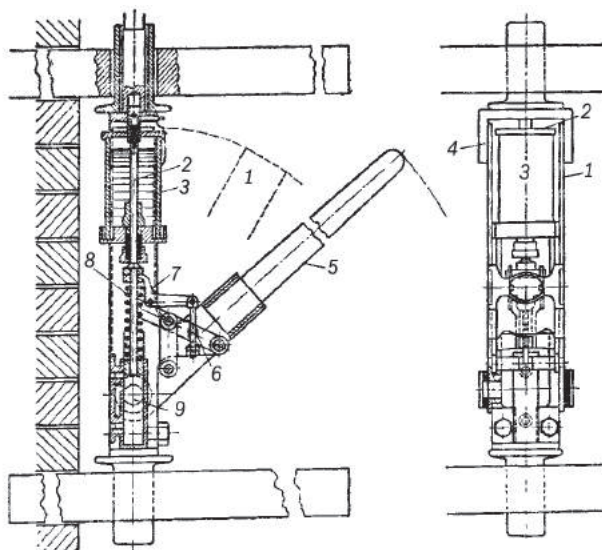


Рис. 3-3 Выключатель Ферранти на 3 кв с гашением дуги в масле (1895 г.)

ток проходит только через дугогасящий контакт 2. Под действием се-режки 6 освобождается защелка 7, и натяжением пружины 8 дуго-гасящий контакт 2 разрывает в воздухе цепь тока, а затем с большой скоростью втягивается в цилиндр 3, наполненный маслом.

Возникшая дуга между неподвижным 4 и дугогасящим 2 контак-тами затягивается в цилиндр 3, где и гасится маслом, находящимся в цилиндре. Внизу выключателя показан масляный демпфер 9, слу-жащий для смягчения удара при отключении выключателя. Этот вы-ключатель предназначался для напряжения 2–3 кв и был установлен у генераторов Дептфордской электростанции. Применение в этом выключателе рабочих и дугогасящих контактов являлось весьма про-грессивным мероприятием.

В современных масляных выключателях для больших рабочих токов, как правило, принимают две системы контактов: рабочие и ду-гогасительные.

г) Распределительное устройство Дептфордской электрической станции

На Дептфордской электростанции один полюс был заземлен, поэтому все операции по включению и отключению отдельных ге-нераторов производились однополюсными масляными выключате-лями [Л. 3-9].

На рис. 3-4 показан разрез одной ячейки распределительного устройства. Заземленная собирательная шина 1 помещена внизу рас-пределительного устройства, и к ней подсоединены внешние жилы кабелей, выполненных в виде двух концентрически расположенных медных трубок, изолированных друг от друга слоями бумаги.

Вторая шина 2 установлена на фарфоровых изоляторах, укреп-ленных на шиферной плите. Каждое ответвление от шины распре-делительного устройства идет через втычной разъединитель 3, через амперметр 4, выключатель 5 и предохранитель 6, а далее к внутрен-ней жиле кабеля.

Распределительное устройство стояло у стены, и все ячейки и пе-регородки были выполнены из шифера, покрытого эмалью.

Для включения электрических генераторов на параллельную работу каждый из них соединялся с первичными обмотками соответствующих трансформаторов напряжения 7.

Вторичные обмотки трансформаторов включаются последовательно через лампы накаливания. По показаниям вольтметров уравнивались напряжения включаемых генераторов, а по свечению или погасанию ламп устанавливался момент синхронизации включаемого генератора с работающими машинами.

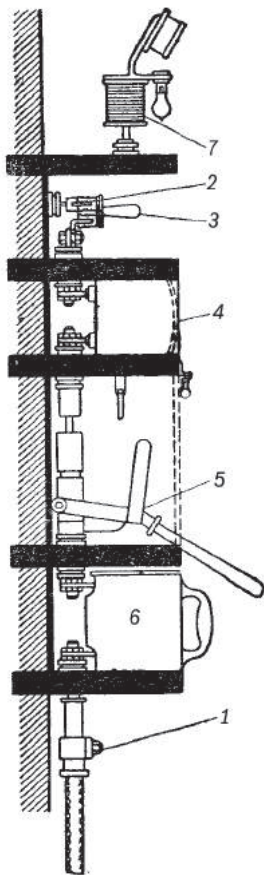


Рис. 3—4 Разрез распределительного щита Дентфордской электростанции с масляным выключателем Ферранти (1896 г.)

д) Масляный выключатель на 15 кв

В 1902 г. Ферранти построил масляный выключатель для напряжения 15 кв [рис. 3-5], у которого процесс образования и гашения электрической дуги при отключении выключателя происходил полностью под слоем масла.

Выключатель барабанного типа имеет рабочие неподвижные контакты 1 и 2 и подвижные контакты 3, находящиеся в воздухе. Семь дугогасительных контактов в виде поворачивающихся ножей 4 насажены на поворотный вал 5, на котором установлены и подвижные рабочие контакты 3. Неподвижные дугогасительные контакты 6 и 7 последовательно соединены друг с другом так, что при отключении получается одновременно 14 разрывов цепи тока на каждую фазу. Входной и выходной неподвижные контакты 6 и 7 параллельно подсоединены к рабочим неподвижным контактам 1 и 2. При повороте вала 5 вначале отключаются рабочие контакты, а затем под маслом в баке 8 происходит разрыв тока в 14 местах между дугогасительными контактами. Дугогасительные контакты помещены в цилиндрическом баке 8, заполненном маслом.

Для отключения токов коротких замыканий последовательно с выключателем устанавливались плавкие предохранители.

Из приведенных выше описаний двух типов масляных выключателей, которые предложил Ферранти, видно, что построенный им

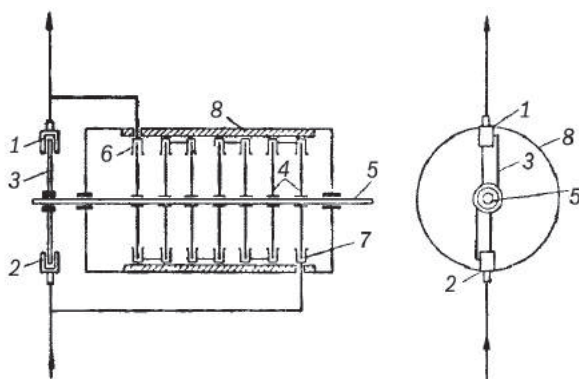


Рис. 3—5 Масляный выключатель Ферранти для напряжения 15 кв (1902 г.)

в 1895 г. выключатель для напряжения 3 кв не представлял собой масляного выключателя в современном понимании этого термина. В этом выключателе разрыв цепи тока и образование электрической дуги происходят не в масле, а в воздухе. Гашение электрической дуги осуществлялось втягиванием дуги в цилиндр с маслом. Второй выключатель для напряжения 15 кв был предложен Ферранти в 1902 г. По своей конструкции он был масляным выключателем, так как в нем образование и гашение дуги происходят под слоем масла.

3–3 РАБОТЫ Ч. БРАУНА (ШВЕЙЦАРИЯ)

а) Трехбаковый масляный выключатель для напряжения 13 500 в

В 1897–1898 гг. швейцарская фирма «Браун-Бовери» оборудовала в Падерно электрическую станцию для снабжения электроэнергией города Милана. Общая мощность трехфазных генераторов на станции составляла 10 000 квт. Максимальная мощность генератора составляла 1500 квт; напряжение на шинах было равно 13 500 в.

На этой электростанции были монтированы масляные выключатели, сконструированные Ч.Брауном [рис. 3-6], которые в 1898 г. были защищены швейцарским патентом № 17901 [Л. 3-10]. Каждая фаза выключателя снабжена двумя рабочими контактами 2, находящимися в воздухе, и четырьмя дугогасительными контактами 3, находящимися в масляном баке 1.

На рис. 3-6, а выключатель показан во включенном состоянии; на рис. 3-6, б – в момент расхождения дугогасительных контактов; на рис. 3-6, в – полностью отключенным.

При отключении вначале размыкаются в воздухе рабочие контакты 2. При дальнейшем повороте вала выключателя натягиваются

пружины 5. В положении в дугогасительные контакты 3 отрываются от неподвижных контактов 4, и процесс отключения заканчивается.

Отдельные фазы выключателя устанавливались на общей станине друг около друга на высоте около 2 м над уровнем пола. При помощи винтовых стяжек баки могли быть опущены вниз для осмотра находящейся в них контактной системы. Фарфоровые изоляторы находились вне масла. Приводной вал выключателя помещался выше уровня масла на 180 мм и поворачивался под действием рычажного привода с передней стороны распределительного щита.

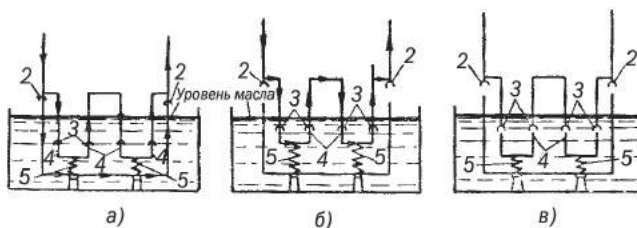


Рис. 3—6 Схема трехбакового масляного выключателя Брауна на 13,5 кв, установленного на Падернской электростанции (1898 г.)

Примененные Брауном многократные разрывы электрической дуги, глубокая установка под слоем масла дугогасительных контактов, быстрое разведение дугогасительных контактов под действием натяжения пружин создали все необходимые условия для хорошей работы выключателя. Построенные Брауном масляные выключатели подвергались многократным испытаниям и совершенно свободно отключали рабочие токи генераторов, а именно 80 а при 14 500 в. Фирма «Браун-Бовери» некоторое время скрывала детали конструкции, поэтому впервые описание выключателя было помещено в «ETZ» только в 1899 г., но в статье отсутствовали рисунки и чертежи.

Подробности об этом типе выключателя были получены непосредственно из швейцарского патента № 17931.

В 1898 г. Браун конструирует аналогичный масляный выключатель облегченного типа для напряжения 8 кв, у которого каждая фаза разрывалась под маслом в двух местах.

Первые масляные выключатели применялись Брауном только для включения и отключения генераторов и не имели автоматического отключения при перегрузке.

На отходящих фидерах по-прежнему устанавливались плавкие предохранители высокого напряжения.

б) Однобаковый трехфазный масляный выключатель

В 1900 г. Браун построил однобаковый масляный выключатель значительно облегченной конструкции и выполнил его в виде чугунного ящика с верхними вводами и без встроенного воздушного выключателя [рис. 3-7].

На этот выключатель получен германский патент за № 121420 [Л. 3-11].

Выключатель имел чугунный бак 1, на крышке которого были установлены шесть проходных изоляторов 2 с неподвижными контактами 3, выполненными в виде пружинящих пластин, концы которых находились ниже уровня масла. Подвижные контакты 4 представляли собой двойные ножи, укрепленные на поворачивающейся штанге 5, изготовленной из изолирующего материала. Во включенном состоянии выключателя подвижные контакты 4 находятся выше уровня масла. При отключении выключателя отрыв подвижных контактов 4 от неподвижных 3 происходил в масле.

Из приведенных выше материалов можно установить, что Ч.Браун в 1898 г. построил свой первый масляный выключатель для напряжения 13,5 кв, снабженный рабочими контактами, расположенными на крышке выключателя, и дугогасительными контактами в масляных баках, предназначенный для гидростанции 10 000 кв. Это был

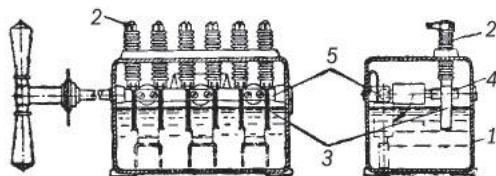


Рис. 3-7 Однобаковый масляный выключатель Брауна (1900 г.)

масляный выключатель в полном соответствии с современным пониманием этого термина. Прекрасные эксплуатационные качества этого выключателя много содействовали не только внедрению в Европе масляных выключателей на вновь строящихся электростанциях, но и замене ранее установленных роговых и рычажных выключателей на эксплуатирующихся станциях.

3—4 РАБОТЫ В США

а) Строительство электростанций

Наиболее мощные электрические станции строились в конце прошлого столетия в США. К числу таких установок следует отнести гидроэлектрическую станцию на Ниагарском водопаде, где к началу 1900 г. было установлено восемь двухфазных генераторов мощностью каждый по 3500 *квт* и два таких же генератора находились в стадии монтажа.

В 1898 г. была построена первая очередь Бруклинской электростанции в Нью-Йорке, где общая мощность установленных генераторов составляла 25 000 *квт* с напряжением на шинах станции 6000 *в*.

Создание надежного выключателя для обеспечения работы столь мощных станций в США являлось весьма актуальной проблемой. Над задачей создания нового типа выключателя в США работал ряд изобретателей.

б) Выключатель Томсона

Первое применение масла как дугогасящей и изолирующей среды в выключателе было предложено Э. Томсоном, который 14 ноября 1893 г. получил американский патент № 508652 на масляный выключатель. В этом выключателе во включенном его положении подвиж-

ные и неподвижные контакты находились над поверхностью масла. При отключении выключателя электрическая дуга загоралась в воздухе, а затем при перемещении подвижного контакта дуга затягивалась в масло, где и гасилась.

Выключатель Томсона по своей идее был аналогичен выключателю Ферранти, но был запатентован в США на 2 года раньше, чем то сделал Ферранти в Англии. Данными относительно изготовления этого выключателя и места его первого применения мы не располагаем.

в) Выключатель А. Вурца

Инженер фирмы «Вестингауз» А. Вурц получил в США в 1894 г. патент на масляный выключатель [Л. 3-12]. На крышке 1 выключателя [рис. 3-8] масляного бака установлены неподвижные контакты 2 и 3, к которым подключены кабельные вводы 4 и 5. Ножевой контакт 6 укреплен на валу 7, снабженном рукояткой 8 для поворота вала.

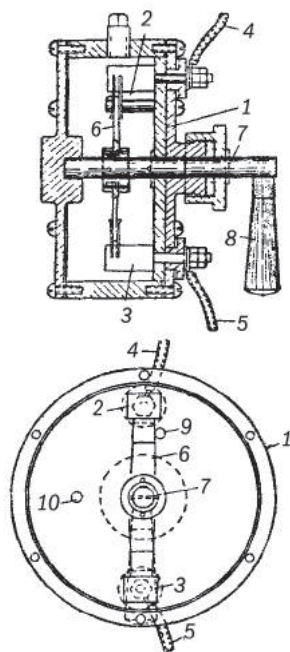


Рис. 3-8 Масляный разъединитель Вурца (1894 г.)

Упоры 9 и 10 ограничивают движение ножевого контакта 6 при включенном и отключенном положениях выключателя. Выключатель Вурца был назван изобретателем «недуговым» выключателем и предназначен для отключения линии под напряжением, но без нагрузки. По современной терминологии его следует назвать масляным разъединителем, а не масляным выключателем.

г) Работы Хьюлетта

Над проблемой создания нового типа выключателя работал инженер фирмы ДЖИИ Хьюлетт. Первый масляный выключатель низкого напряжения был построен Хьюлеттом в 1895 г. Этот выключатель был барабанного типа и предназначался для установки на предприятии, где имелись взрывчатые газы. Выключатель при испытании показал хорошие результаты, что навело на мысль строить масляные выключатели для установок высокого напряжения. Первые масляные выключатели для напряжения 6000 в [рис. 3-9] были изготовлены Хьюлеттом в 1898 г. для Бруклинской электрической станции в Нью-Йорке [Л. 3-9]. Выключатели предназначались для отключения генераторов и для связи между тремя системами сборных шин станции. На отходящих линиях выключатели не устанавливались. Для защиты от коротких замыканий и перегрузок на линиях были применены плавкие предохранители. По углам треугольника установлены три деревянных цилиндрических бака 1, наполненных маслом. На плите 2 укреплены подвижные контакты 3 в виде перевернутой буквы V. Неподвижные контакты помещены на дне деревянных баков 1, и ток к ним подводился кабельными вводами снизу. На станине 4 помещен пневматический привод, при помощи которого плита 2 с подвижными контактами 3 при отключении поднимается вверх, благодаря чему под слоем масла получают два разряда цепи тока на полюс.

Примечание. Здесь следует отметить, что применение пневматического привода для действия выключателя было осуществлено в 1896 г. фирмой «Вестингауз» на Ниагарской гидроэлектростанции для генераторных выключателей с открытой дугой в воздухе.

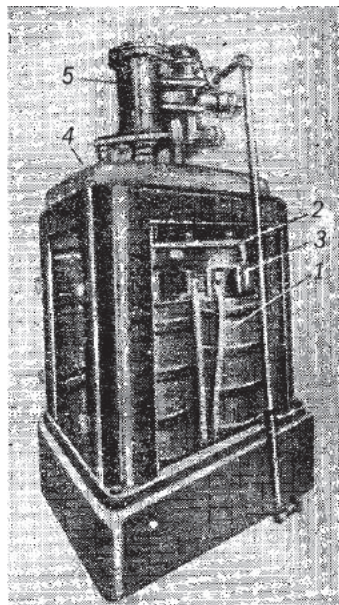
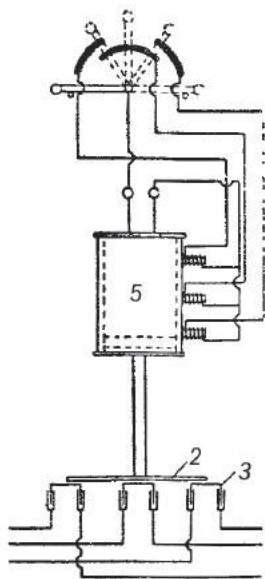


Рис. 3-9 Трехбаковый масляный выключатель Хьюлетта для распределительного устройства 6 кв Бруклинской электростанции (1898 г.)

3-5 РАБОТЫ В ГЕРМАНИИ

В конце прошлого столетия германская электропромышленность по объему выпуска электротехнической продукции занимала первое место в Европе и являлась ведущей в техническом отношении.

Германские электротехнические фирмы, как то: АЭГ, «Сименс-Гальске», «Гелиос», «Шуккерт и К°», «Фойт и Гефнер», «Унион» и др., имели значительные технические достижения и пользовались хорошей репутацией.

В конце девяностых годов прошлого столетия в Германии делались попытки применить воздушное дутье для гашения дуги в выключателях, т. е. зародилась идея построения выключателя с гашением дуги сжатым воздухом. Такие опыты в 1897 г. проводились на электростанции Обершпре в Берлине, но опыты оказались неудачными.

В 1900 г. германская фирма «Гелиос» построила выключатель с гашением дуги струей сжатого воздуха и продемонстрировала его на Всемирной выставке в Париже.

Вследствие изобретения в США и Швейцарии масляного выключателя идея использования струи сжатого воздуха для гашения электрической дуги была оставлена.

Масляные выключатели в Германии стали изготавливаться только в начале нашего столетия. Первые образцы масляных выключателей, выпускавшиеся германскими электротехническими фирмами, повторяли и копировали американские выключатели. Таким образом, Германия не может претендовать на изобретение масляного выключателя.

Из приведенных выше сопоставлений видно, что впервые рекомендовал применять масло для гашения электрической дуги в выключателе Томсон в 1893 г. Аналогичный по своей идее выключатель был выполнен Ферранти в Англии в 1895 г. Выключатели Томсона и Ферранти нельзя считать масляными в современном понимании этого термина, так как электрическая дуга при отключении образовывалась не в масле, а в воздухе.

Выключатель Вурца 1894 г. по своему назначению и конструкции являлся масляным разъединителем.

Отсутствие данных об изготовлении и эксплуатации этого выключателя не дают возможности установить его эксплуатационные качества.

Масляные выключатели весьма совершенной по тому времени конструкции для напряжений 6 и 15 кВ были построены и установлены в 1898 г. на электрических станциях Хьюлеттом в США и Брауном в Швейцарии. Эти выключатели были выполнены в трехфазном исполнении с отдельными баками для каждой фазы. В выключателе Хьюлетта имелся пневматический привод, а в выключателе Брауна

быстрота расхождения дугогасительных контактов обеспечивалась применением подпружиненных контактов.

Выключатели Хьюлетта и Брауна находились длительное время в эксплуатации и показали себя надежными коммутирующими аппаратами, что весьма способствовало дальнейшему развитию идеи постройки масляных выключателей, которые в нашем столетии нашли широкое применение на электрических станциях, подстанциях и линиях передач высокого напряжения.

Чтобы решить вопрос, кого же из всех названных выше лиц следует признать изобретателем масляного выключателя, уместно привести высказывание М.О.Доливо-Добровольского о том, кого вообще надлежит рассматривать действительным изобретателем, когда имеется несколько претендентов на честь назваться автором какого-то изобретения.

По этому поводу Доливо-Добровольский писал:

«...Бесспорным остается технический приоритет того изобретателя или фирмы, которые сумели сделать свое открытие жизнеспособным и на основании своей идеи и опыта создать применимый технический агрегат».

Исходя из такой трактовки прав на приоритет в изобретении масляного выключателя, справедливо считать Хьюлетта и Брауна изобретателями масляного выключателя в современном понимании этого термина.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РАЗВИТИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ С ПРОСТЫМ РАСХОЖДЕНИЕМ КОНТАКТОВ В МАСЛЕ

4—1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основным отличительным качеством бакового выключателя с простым расхождением контактов в масле является то, что гашение электрической дуги, образовавшейся между одной или несколькими парами контактов при отключении цепи, осуществлялось путем растягивания дуги или дуг в масле при расхождении контактов. Электрические дуги, возникшие в момент разъединения контактов, мгновенно создают вокруг себя ионизированную газовую раскаленную атмосферу, обладающую проводимостью для поддержания горения дуги. Дуги гаснут и вновь зажигаются при каждом переходе тока через нулевое значение. Процесс повторных зажиганий дуг после их очередного погасания происходит до тех пор, пока расстояние между неподвижными и подвижными контактами не делается настолько большим, что деионизация этого пространства под охлаждающим действием масла делает невозможным новое зажигание дуг. Процесс отключения заканчивается, и цепь тока оказывается окончательно разомкнутой. В такого типа масляных выключателях гашение дуг осуществляется без какого-либо внешнего воздействия, начиная с момента возникновения и кончая погасанием. При небольших отключаемых токах время гашения дуги вначале возрастает, но

при достижении некоторой критической величины тока начинает уменьшаться. Такое явление объясняется тем, что при малых отключаемых токах пары масла и газа, находящиеся в газовом пузыре около каждой из горящих дуг, пребывают в относительно спокойном состоянии, и процесс деионизации дугового пространства происходит медленнее, чем при более сильных отключаемых токах.

С момента появления масляного выключателя и до двадцатых годов нашего столетия все масляные выключатели исполнялись с простым расхождением контактов в масле.

В первых исполнениях масляных выключателей часто применяли общую штангу для перемещения траверс с подвижными контактами.

Эксплуатация масляных выключателей, снабженных общей горизонтальной траверсой, которая служила для одновременного привода подвижных контактов всех трех фаз, показала их неудовлетворительную работу.

Осаждавшиеся на горизонтально расположенной траверсе продукты разложения масла, получавшиеся в процессе гашения электрических дуг, создавали токопроводящие мостики, что приводило к появлению разряда вдоль горизонтально расположенной траверсы и к взрывам масляных выключателей. В новых типах масляных выключателей для передвижения траверс были установлены отдельные штанги.

Опытным путем было установлено, что при увеличении скорости расхождения контактов работа масляного выключателя улучшалась и гашение дуги достигалось в более короткий срок. На основе этих данных были усовершенствованы кинематические устройства, приводившие в движение подвижные контакты, и повышена их скорость.

Наиболее широкое развитие и применение масляный выключатель получил в США.

4–2 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ ДЖИИ (США)

а) Однобаковый масляный выключатель

После удачной постройки в 1898 г. первого масляного выключателя высокого напряжения для Бруклинской электрической станции инженеры фирмы ДЖИИ Эммет и Хьюллет разработали в 1901 г. конструкцию выключателя напряжением 2,5–15 кВ для рабочих токов 100–300 А [Л. 4-1]. Крышка этого выключателя [рис. 4-1] имеет прилив 1 для крепления к стенке 2 распределительного щита. Три подвижных контактных мостика 3 подвешены на вертикальных штангах 4, выполненных из изолирующего материала. Подвижные контакты имеют форму четырехгранной пирамиды и при включении входят в соответствующие по форме неподвижные пружинящие контакты 5.

Выключатель был снабжен максимальной защитой, действующей от двух электромагнитных реле, подключенных к трансформаторам тока. Электромагнитные реле втягивали стальной сердечник, который при коротком замыкании или большой перегрузке ударял по защелке и тем осуществлял отключение. Испытание выключателя показало возможность отключения короткого замыкания одного генератора мощностью 2500 кВт, что приблизительно соответствовало мощности отключения около 25 МВА.

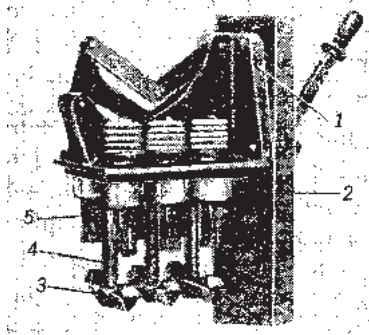


Рис. 4–1 Однобаковый трехполюсный масляный выключатель фирмы ДЖИИ (1901 г.)

б) Горшковые масляные выключатели

С изобретением автоматической максимальной защиты постепенно стали отказываться от плавких предохранителей, включаемых в цепь последовательно с масляными выключателями. Масляные выключатели показали себя столь надежными аппаратами, что возникла мысль об их применении для защиты генераторов при перегрузках [Л. 4-2]. Для этой цели фирма ДЖИИ в 1899 г. спроектировала и поставила распределительное устройство на электростанции метрополитена в Нью-Йорке с применением горшковых масляных выключателей как в цепях генераторов, так и на отходящих линиях. На электростанции было установлено 11 генераторов мощностью по 3500 квт, 6600 в и смонтировано свыше 100 горшковых масляных выключателей [рис. 4-2].

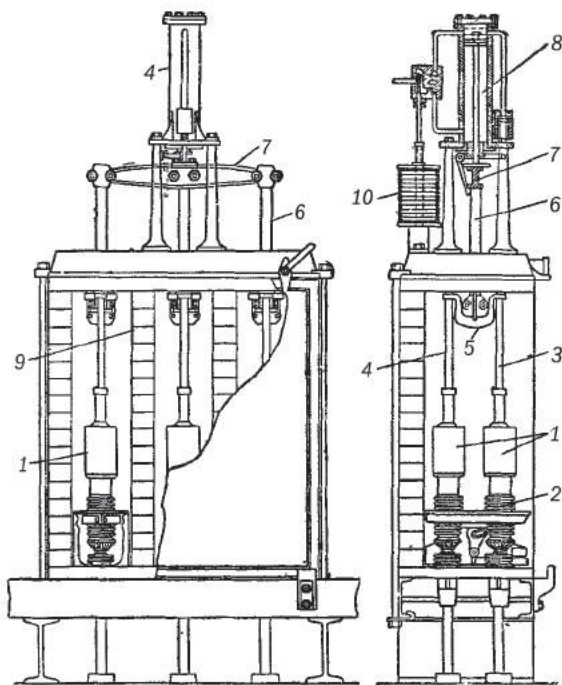


Рис. 4-2 Шестибачковый трехполюсный масляный выключатель горшкового типа для электростанции Нью-Йоркского метрополитена (1899 г.)

Каждая фаза выключателя имела два цилиндрической формы горшка 1 с маслом, установленных на изоляторах 2. Подвод тока осуществлялся снизу. Подвижные контакты 3 и 4 в виде стержней, укрепленные на токоведущей траверсе 5, входили в горшки 1, на дне которых были установлены неподвижные контакты. Токоведущая траверса 5 была подвешена на штанге 6, выполненной из изолирующего материала. Все три штанги 6 при помощи общей траверсы 7 поднимались или опускались под действием пневматического привода 8, управляемого электромагнитом 10. Каждый полюс имел двойной разрыв цепи тока.

Горшки 1 были металлические и внутри обложены фиброй для предохранения от перекидывания дуги на корпус горшка. Каждый полюс выключателя отделялся от соседнего огнестойкой перегородкой 9. При больших рабочих токах горшковые выключатели снабжались двойной системой контактов – рабочих и дугогасящих [рис. 4-3]. Рабочие контакты выполнялись в виде пружинящей цилиндрической крышки 1, которая во включенном положении контактировала с металлическими горшками 2. Дугогасящие подвижные контакты 3 выполнялись в виде сплошных стержней. Неподвижные контакты 4 устанавливались на дне горшка 2. При отключении вначале размыкались рабочие контакты 1, а затем дугогасящие 3. Горшковые выключатели оказались очень компактными и менее опасными в пожарном отношении благодаря небольшому объему масла. Горшковые выключатели, снабженные дугогасительными устройствами, широко применяются на современных станциях и подстанциях.

в) Горшковые масляные выключатели на 100 кВ

В 1908 г. Хьюлетт сконструировал трехбаковый масляный выключатель горшкового типа для напряжения 110 кВ, предназначенный к установке на электростанции в Сиерре [рис. 4-4 и 4-5].

Каждый полюс выключателя представлял собой стальной цилиндр 1 диаметром 500 мм и длиной 2350 мм, снабженный внутри изолирующей обкладкой. Вводы 2 и 3 установлены на верхней и нижней крышках цилиндра. Нижний ввод 2 снабжен пневматическим механизмом для управления подвижным контактом 4.

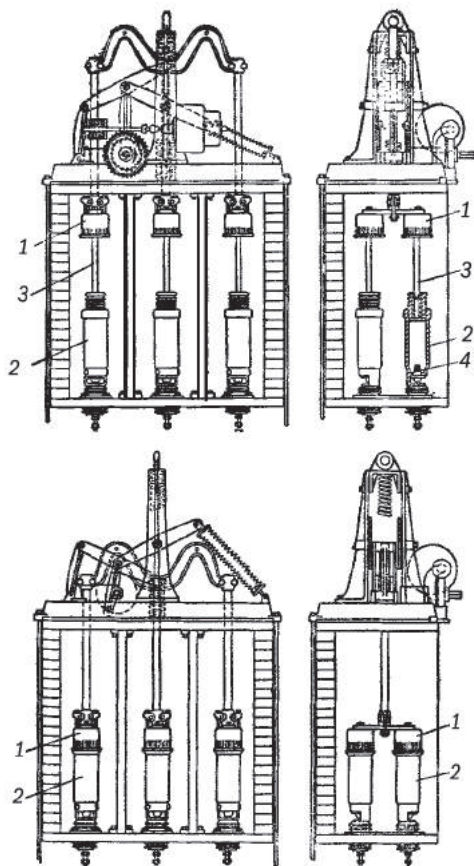


Рис. 4-3 Шестибаковый масляный выключатель горшкового типа фирмы ДЖИИ с рабочими контактами в воздухе и дугогасящими в масле (1901 г.)

При включении сжатый воздух по трубопроводу 5, выполненному из изолирующего материала, подается в нижнюю часть воздушно-го цилиндра 6. Поршень 7 быстро передвигает контакт 4 в крайнее верхнее положение. Утонченный конец контакта 4 входит в неподвижный контакт 8, укрепленный на верхнем вводе 3. Контакт 8 имеет небольшую камеру 9, заполненную маслом, что имеет некоторое сходство с современной простой гасительной камерой.

При отключении сжатый воздух подается по трубопроводу 10 в рубашку воздушного цилиндра б и через окна 11 под его верхнюю крышку. Этот тип выключателя оказался весьма несовершенным в его механической части. Наиболее трудной задачей оказалось надежно выполнить уплотнение между подвижным контактом 4 и крышкой воздушного цилиндра б.

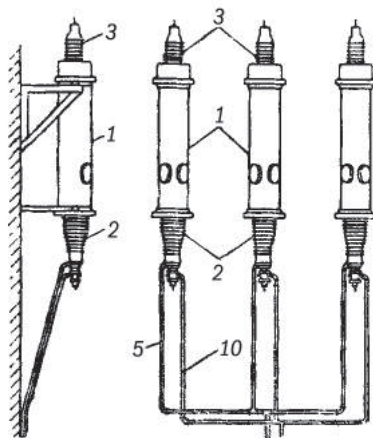


Рис. 4—4 Трехфазовый масляный выключатель горшкового типа на 100 кв (1908 г.)

При эксплуатации выключателя масло из цилиндра 1 перетекало в воздушный цилиндр б, где скапливалось в нижней его части. В этом случае при отключении поршень 7 не мог занять крайнего нижнего положения, и контакты 4 и 8 размыкались недостаточно и не обеспечивали гашения дуги; это приводило к тяжелым повреждениям выключателя. Регулировка контактов у выключателя была весьма затруднительной, так как трудно было обеспечить их центровку по одной линии. При необходимости произвести осмотр подвижного контакта 4 приходилось демонтировать нижний ввод 2. После каждой переборки выключателя не было гарантии хорошей работы, так как возможны были течь и неточность центровки контактов.

Недостатки данной конструкции выключателя горшкового типа заставили фирму ДЖИИ перейти в 1907 г. на изготовление выключателей высокого напряжения в виде баковых выключателей.

Горшковый тип выключателя сохранился и до настоящего времени для напряжений до 20 кв.

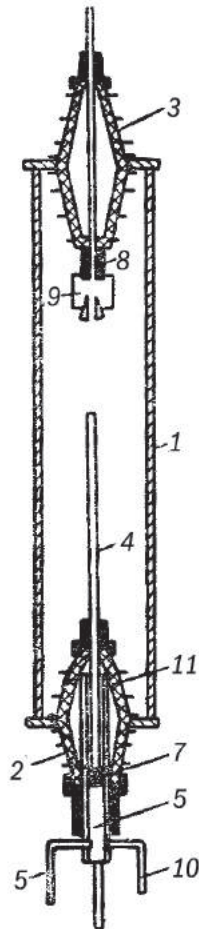


Рис. 4-5 Разрез масляного выключателя горшкового типа фирмы ДЖИИ на 100 кв (1908 г.)

4—3 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ «ВЕСТИНГАУЗ» (США)

а) Выключатель для Ниагарской станции

В связи с успешным применением масляных выключателей встал вопрос о замене ими выключателей с открытым гашением дуги в воздухе, которые были установлены на Ниагарской станции фирмой «Вестингауз», для отходящих линий передач напряжением 22 кв.

В конце 1901 г. рычажные выключатели были демонтированы, и вместо них были установлены масляные выключатели фирмы «Вестингауз» [рис. 4-6].

Выключатель имеет три плоских масляных бака 1, выполненных из изолирующего материала. Подвод тока производится шестью изолированными кабелями, через заднюю стенку ячеек, в которых установлены отдельные фазы выключателя. Каждый полюс имеет два разрыва цепи тока. Кабели проходят через фарфоровые изоляторы к неподвижным контактам 2 под крышкой выключателя. Подвижные контакты 3 установлены на токоведущих траверсах 4, укрепленных

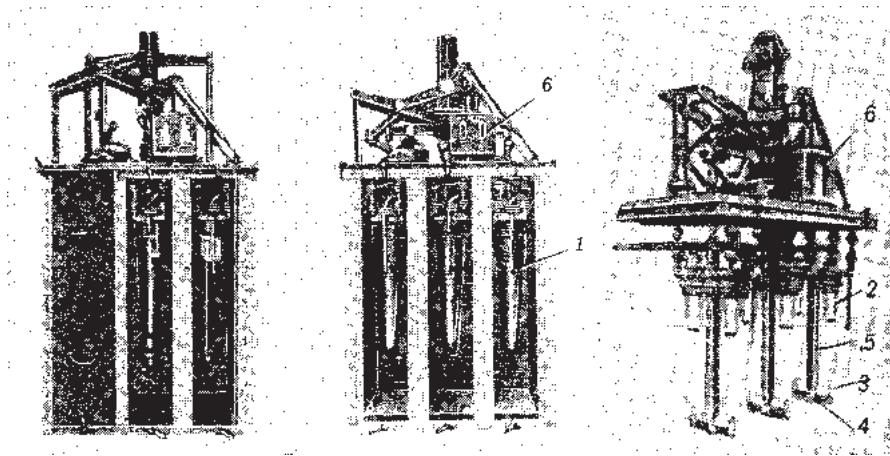


Рис. 4—6 Трехбаковый масляный выключатель фирмы «Вестингауз» на 22 кв (1901 г.)

на вертикальных штангах 5. Привод выключателя осуществляется двумя электромагнитами 6. При отключении выключателя действуют сильные пружины, перемещающие верхнее коромысло, к которому прикреплены штанги 5.

Выключатели имели весьма большой ход траверсы, и поэтому в них были применены баки, выполненные из изолирующего материала, что позволило глубоко опускать траверсы в масляные баки.

б) Выключатель для электростанции Онтарио

В 1905 г. фирма «Вестингауз» построила трехбаковый масляный выключатель с кабельными вводами для напряжения 60 кВ [Л. 4-2]. Переход на кабельные вводы для масляных выключателей взамен фарфоровых являлся вынужденным решением, так как наблюдались случаи перекрытия фарфоровых вводов на землю и разрушения фарфора. Такие пробои объяснялись тем, что не было поставлено надлежащее испытание повышенным напряжением фарфоровых вводов, а также потому, что качество фарфора того времени не соответствовало требованиям для работы в установках с напряжением 60 кВ и выше.

Масляные баки выключателя на 60 кВ [рис. 4-7] имели внутри обкладку из изоляционного картона. Ход контактной траверсы

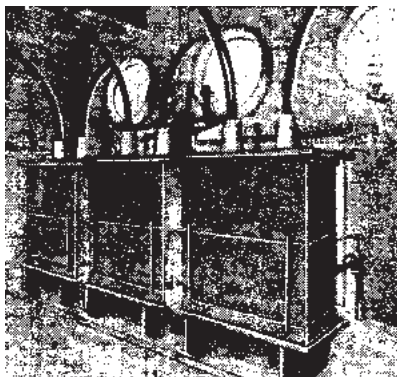


Рис. 4-7 Трехбаковый масляный выключатель фирмы «Вестингауз» на 60 кВ с кабельными вводами (1905 г.)

составлял 42,5 см. Включение производится мощным электромагнитом. Вводы выполнены кабелями. Мощность отключения была равна 150 000 ква. Такие выключатели фирма «Вестингауз» строила для напряжений 60, 80 и 120 кв [Л. 4-3].

4—4 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ СТЕНЛЕЯ

Стенлеевская электрическая компания в 1902 г. построила трехполюсный масляный выключатель на 1000 а и 4000 в [рис. 4-8].

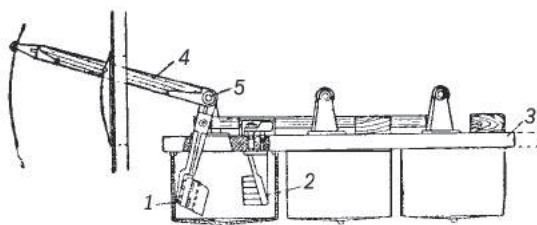


Рис. 4—8 Трехбаковый масляный выключатель Стенлея на 1000 а и 4000 в (1902 г.)

Подвижные 1 и неподвижные 2 контакты установлены на общей плите 3, выполненной из изолирующего материала. Ножевого типа подвижные контакты 1 имеют горизонтальное движение. Привод осуществляется поворотом рычага 4 вокруг оси 5. Этот выключатель по своей контактной системе представлял рубящий выключатель, каждый полюс которого помещен в отдельный бак с маслом и снабжен общим рычажным приводом.

В 1904 г. эта же фирма изготовила трехбаковый масляный выключатель для напряжения 40 кв, один полюс которого показан на рис. 4-9. На плите 1 установлены два фарфоровых вводы 2, на нижних

концах которых помещены неподвижные контакты 3. Фарфоровые вводы 2 частично заполнены маслом. Подвижные контакты 4 укреплены на поворачивающемся изоляторе 5, установленном в центре плиты 1. Круглый бак 6 подвешен к плите 1 и заполнен маслом.

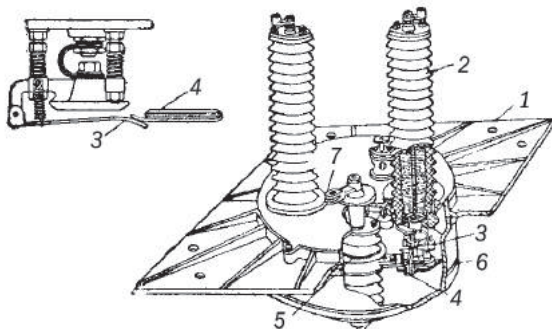


Рис. 4—9 Трехбаковый масляный выключатель Стенлея на 40 кв с движением подвижных контактов в горизонтальной плоскости (1904 г.)

Поворот изолятора 5 вместе с контактами 4 осуществляется тягой, присоединенной к поводку 7, установленному на головке изолятора 5.

В 1907 г. фирма «Стенлей» построила масляный выключатель на 60 кв [рис. 4-10], который был установлен на электростанции в Калифорнии.

Выключатель трехбаковый и снабжен поворачивающимися контактами 1, установленными на токоведущей траверсе 2.

Включение и отключение производятся поворотом изолятора 3, связанного стержнем 4 с траверсой 2. Вводы выполнены в виде фарфоровых составных изоляторов. Отличительной особенностью двух последних типов выключателей является поворотная в горизонтальной плоскости токоведущая траверса.

«Тихоокеанская электрическая компания» в США продолжает строить баковые масляные выключатели с вертикальным валом, на котором закреплены подвижные контакты, поворачивающиеся в горизонтальной плоскости.

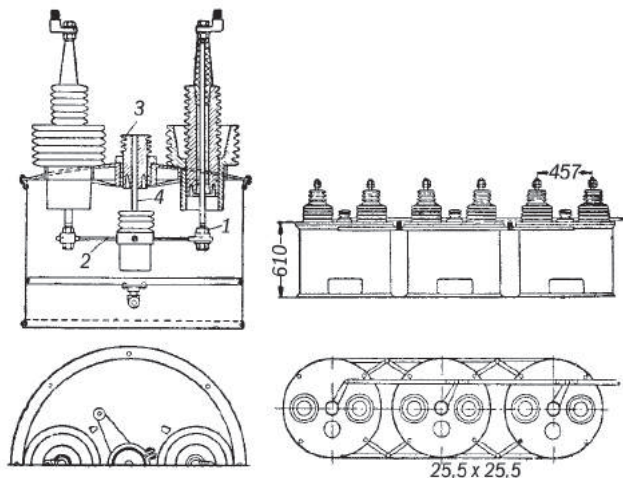


Рис. 4—10 Трехбаковый масляный выключатель Стенлея на 60 кв (1907 г.)

В № 6 журнала «Eb. World» за 1956 г. сообщается, что изготовленный этой фирмой выключатель на 115 кв, 800 а и 1500 Мва имеет две дугогасительные камеры на полюс. Время отключения пять периодов.

4—5 МАСЛЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ГЕРМАНСКИХ ФИРМ

а) Работы фирмы «Сименс-Гальске»

Попытка применить масло в качестве дугогасящей среды имела место и в Германии в 1896 г., когда Г. Гергес сделал в Союзе германских электротехников доклад на тему «Защитные аппараты в распределительных устройствах» [Л. 4-4].

В докладе им была приведена схема [рис. 4-11] построенного разрядника.

При появлении перенапряжения в разряднике пробиваются искровые промежутки 1, и ток проходит через пружину 2 и искрогасительный контакт 4, находящийся под слоем масла.

Под действием тока, проходящего в одном направлении по параллельным виткам, пружина 2 сжимается и размыкается контакт 4. Возникающая дуга гасится маслом «благодаря его огромной изоляционной способности, что позволяет прерывать дугу при высоких напряжениях даже при малых открытиях искрового промежутка», как было сказано Гергесом в докладе. Из этого сообщения видно, что попытки гашения в масле электрической дуги делались в Германии в тот же период, когда такую задачу решали Ферранти, Браун и Хьюлетт. Однако эти попытки не привели в Германии к изобретению масляного выключателя. В Германии масляные выключатели стали строиться только после того, как их стали применять в США и Швейцарии.

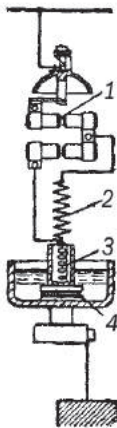


Рис. 4–11 Разрядник Гергеса с искрогасительными контактами в масле (1896 г.)

б) Работы фирмы «Гелиос»

Проникшие из Швейцарии сведения о новых разработках фирмы «Браун-Бовери» в части масляных выключателей вызвали большой интерес в Германии. Это побудило немецкие электротех-

нические фирмы поставить опыты по гашению электрической дуги в масле.

Фирма «Гелиос» также провела такие исследования.

Вот как описывает Фогельзанг эти опыты, проведенные в 1900 г. [Л. 4-2].

«Я был тогда у фирмы „Гелиос“ и до меня доходили из Швейцарии разные сказки относительно новых масляных выключателей Брауна. Я решил подойти поближе к этому вопросу и поставил предварительные опыты, чтобы выяснить возможность разрыва тока высокого напряжения под слоем масла. В изолированной от земли закрытой ванне, наполненной маслом, был укреплен неподвижный контакт одной фазы электрической цепи.

Второй подвижный контакт этой же цепи тока был помещен на конце изолированного кабеля, имеющего длину около 1,2 м. При помощи деревянной штанги подвижной контакт отрывался от неподвижного контакта. Сила тока была около 50 а при 3000 в.

Сверху имелась возможность наблюдать электрическую дугу под маслом. Я установил, что дуга получается не такая маленькая и при каждом разрыве тока образуются облака копоти. На основе этих опытов я пришел к выводу, что дело создания масляного выключателя не такое простое, как мне рассказывали. Я решил его отложить и следовать по пути создания роговых выключателей, с которыми я в это время получил хорошие результаты.

Мое решение было несколько недальновидным, но в этом деле не так легко предвидеть будущее».

Вполне понятным было предубеждение против разрыва дуги под маслом, так как ранее не удавалось размыкать под маслом токи более низкого напряжения с незначительными запасами энергии. «Пусть терпеливый глупец строит масляные выключатели», – так рассуждали в первые годы их изобретения.

Здесь следует отметить, что в это время в немецкой технической литературе помещались весьма скудные сведения о коммутирующей аппаратуре высокого напряжения, а сами фирмы-изготовители держали эти вопросы в большом секрете.

в) Работы фирмы «Фойт и Гефнер»

На собрании Электротехнического общества в Кельне представитель фирмы «Фойт и Гефнер» привел в докладе данные о масляном выключателе [рис. 4-12], выпускаемом этой фирмой в 1901 г. [Л. 4-5]. Первые масляные выключатели имели по одному разрыву на фазу и представляли собой три поворачивающихся ножа 1, укрепленных на крышке 2 масляного выключателя. Осенью 1901 г. фирма перешла к выпуску масляного выключателя на 6 кв, 130 а, с двойными разрывами на фазу при прямом движении ножей [рис. 4-13].

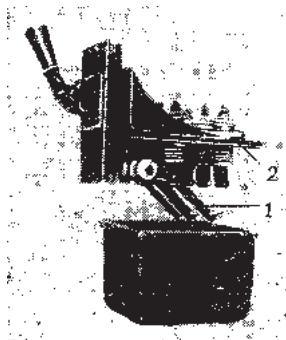


Рис. 4–12 Однобаковый трехполюсный масляный выключатель фирмы «Фойт и Гефнер» с одним разрывом тока на полюс (1901 г.)

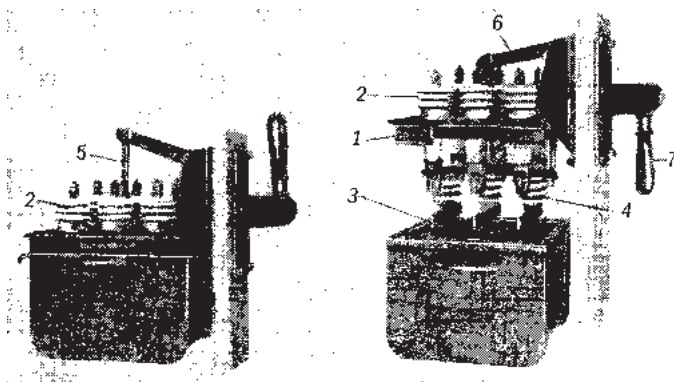


Рис. 4–13 Однобаковый трехполюсный масляный выключатель фирмы «Фойт и Гефнер» с двумя разрывами тока на полюс (1901 г.)

На крышке 1 выключателя установлены шесть проходных изоляторов 2 с неподвижными пружинящими контактами. Три ножа 3 при помощи изоляторов 4 установлены на траверсе, которая приводится в движение штангой 5 и рычажной передачей 6. Выключение и включение осуществляются рукояткой 7.

В обоих типах выключателей недостатком являлась горизонтальная изоляция. Впоследствии фирма «Фойт и Гефнер» отказалась от этих конструкций.

г) Выключатель Бергтрама

При просмотре патентов, выданных в Германии на масляные выключатели, было установлено, что первый патент [Л. 4-6] на масляный выключатель был выдан в 1902 г. конструкторскому бюро электрических аппаратов системы Бергтрама во Франкфурте-на-Майне.

Выключатель [рис. 4-14] снабжен рабочими и дугогасящими контактами. Рабочие контакты размыкаются в воздухе, а дугогасящие находятся под слоем масла.

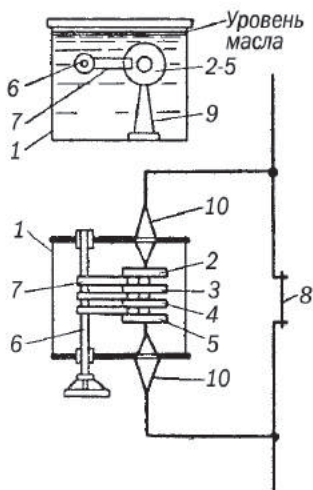


Рис. 4—14 Масляный выключатель Бергтрама с многократным разрывом цепи тока (1902 г.)

В баке 1, наполненном маслом, установлены на подставках 9 металлические диски 2, 3, 4 и 5, электрически изолированные друг от друга. На поворотном изолированном валу 6 укреплены три ножа 7, которые расклинивают диски 2, 3, 4 и 5. Диски 2 и 5 подключены к линии вводами 10, параллельно с воздушным выключателем 8, заблокированным с поворотным валом 6.

При отключении выключателя вначале размыкаются контакты выключателя 8, а затем ножи 7 поворачиваются и в трех местах разрывают цепь тока.

Такая конструкция выключателя не получила применения и приводится для того, чтобы показать, в каком направлении работала изобретательская мысль по созданию масляного выключателя в 1901 г. в Германии.

д) Работы общества «Унион»

В журнале «ETZ» в 1903 г. помещена статья А. Герхардта под заглавием «Новые высоковольтные выключатели» [Л. 4-7]. В этой статье указывалось, что за последние годы наблюдается сильное развитие электрической передачи энергии с напряжениями 10–20 кВ. Сооружение таких линий передач выдвинуло задачу по созданию соответствующей аппаратуры высокого напряжения и в первую очередь выключателей.

Сравнительные испытания различного типа выключателей высокого напряжения, проведенные в Америке, показали несомненное преимущество масляного выключателя над выключателями с открытым гашением дуги в воздухе. Поэтому германская фирма «Электрическое общество Унион» также приступила к выпуску масляных выключателей.

Приведенный в статье масляный выключатель фирмы «Унион», предназначенный для напряжений от 3 до 15 кВ и тока 300–100 А, по своей конструкции полностью повторял выключатель Эммета и Хьюлетта 1901 г., выпускаемый фирмой ДЖИИ и изображенный на рис. 4-1 и 4-2. Такие выключатели были установлены фирмой «Унион» на электростанции в Мюнхене.

е) Работы фирмы АЭГ

Как уже указывалось, европейские электротехнические фирмы избегали сообщать подробности о конструкциях своих масляных выключателей.

Первый публичный доклад об исследовательских работах в области масляных выключателей, проводимых фирмой АЭГ, был сделан 26 мая 1903 г. Г. Бенишке в Берлине на заседании Электротехнического общества [Л. 4-8]. В этом докладе Бенишке впервые показал, что разрыв дуги в масляных выключателях происходит в момент перехода тока через нулевое значение, и поэтому в случае применения масляного выключателя перенапряжение в отключаемой цепи не наблюдается. Интересны некоторые выдержки из этого доклада:

«До сих пор находили всеобщее применение высоковольтные выключатели, действие которых основывалось на растягивании электрической дуги в воздухе до момента, когда она разрывалась.

В случае применения таких выключателей для отключений коротких замыканий или при неправильном параллельном включении электрических машин выключатели настолько плохо работали, что возникла задача найти новые способы и конструкции для прерывания тока.

Из всех предложенных способов разрыва дуги наилучшим оказался тот, когда этот разрыв дуги осуществлялся под маслом.

Некоторое время такие опыты я проводил в Инсбрукском университете в 1892 г....

Последние три года были мною проведены такие испытания у фирмы АЭГ ...

В результате этих испытаний я установил, что при отключении больших токов следует соблюдать два условия: первое, чтобы отсутствовал воздух в местах разрыва дуги, а второе, чтобы масло с некоторым давлением проходило между контактами в момент возникновения дуги ...

Проведенные мною исследования обратили внимание на другой вопрос, связанный с появлением перенапряжений в сетях при их отключениях.

В случае применения воздушных выключателей возможность появления перенапряжений исключается, так как в момент отключения происходит увеличение сопротивления электрической дуги от нулевого значения до бесконечно растущей величины. В этих условиях отключаемый ток уменьшается...

У масляного выключателя разрыв тока происходит в короткий отрезок времени, и поэтому у нас вначале были опасения относительно возможности возникновения перенапряжений..., однако при большом количестве отключений перенапряжений не было обнаружено...

Отсутствие перенапряжений можно легко объяснить. Я напомним случай, когда наблюдалось значительное перенапряжение при испытании плавкого предохранителя на 0,3 а, сгоравшего при коротком замыкании трансформатора мощностью 60 кВа, 6000 в. Перенапряжение, очевидно, появилось вследствие того, что ток прерывался не в момент перехода тока через его нулевое значение, а в другие моменты.

Наблюдаемый в этом случае перерыв цепи тока не при переходе тока через нулевое значение был возможен потому, что разрываемый ток был мал. При отключении больших токов, при сгорании предохранителя, образуется проводящий мост между контактами, и прекращение тока последует только при переходе тока через его нулевое значение.

Исходя из этих соображений, надо сделать вывод, что при отключении токов большой силы не могут возникать перенапряжения, что будет одинаково справедливо как для воздушных, так и для масляных выключателей».

Из приведенных выдержек можно видеть, что процесс погасания дуги при переходе тока через нулевое значение впервые был исследован Бенишке и доведен им до сведения технической общественности в 1903 г.

4—6 БОРЬБА МЕЖДУ РОГОВЫМ И МАСЛЯНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ

Несмотря на то, что был создан новый тип выключателя — масляный, все же роговой выключатель еще долгое время применялся и пользовался хорошей репутацией.

Электротехнические фирмы Германии и Швейцарии выпускали роговые выключатели различных конструкций для напряжений до 30 кв.

По вопросу борьбы между роговыми и масляными выключателями шеф-электрик фирмы «Фойт и Гефнер» М. Фогельзанг пишет:

«На испытательной станции фирмы „Фойт и Гефнер“ нами были получены в 1903 г. сравнительные данные относительно действия роговых и масляных выключателей. Эти данные были получены при испытании на отключение коротких замыканий, осуществляемых при помощи мотор-генератора мощностью 120 л. с.

На основе этих испытаний приходилось делать объективный вывод, что спокойная работа масляного выключателя лучше, чем огненные хлопки любимых мной роговых выключателей. Опыты с такими маленькими отключаемыми мощностями не могли меня удовлетворить.

В это время фирма „Фойт и Гефнер“ должна была поставлять городу Кельну масляные выключатели. Директор фирмы Оверман заявил мне о желательности основательного испытания выключателей, используя для этой цели генератор на электростанции в Кельне.

Для испытания был выделен масляный выключатель с высоковольтным максимальным реле.

Масляный выключатель, имевший бак размером 250 на 200 мм, был установлен в подвале машинного здания. Для испытания на короткое замыкание был предоставлен однофазный генератор мощностью 1500 квт, 2200 в.

Во время испытания мы находились в укрытии за мощным столбом. Я должен заявить, что был удивлен тем, с какой легкостью отклю-

чались масляным выключателем короткие замыкания. Город Кельн установил на электростанции масляные выключатели. Когда я вернулся во Франкфурт, мне стало совершенно ясно, что роговой выключатель не может состязаться с масляным выключателем» [Л. 4-2].

4–7 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ СО ВСТРОЕННЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ

а) Общий обзор

После признания достоинств масляных выключателей германские фирмы начали широко применять их при сооружении новых электростанций и подстанций. В этот период масляные выключатели строились в виде баковых с простым расхождением контактов в масле. Обычно они имели два разрыва цепи тока на полюс. Для более высоких напряжений изготовлялись выключатели с многократным разрывом цепи тока.

Некоторые европейские электротехнические фирмы стали изготовлять масляные выключатели со встроенными сопротивлениями, которые устанавливались для уменьшения величины отключаемого тока и размещались внутри или вне бака.

б) Выключатель фирмы АЭГ

На рис. 4-15 показана конструкция 1905 г. масляного выключателя фирмы АЭГ.

На подвижном ноже 1 выключателя установлен подвижной предварительный контакт 2. Неподвижный предварительный контакт 3 укреплен на неподвижном рабочем контакте 4. От контакта 3 через проходной изолятор 5 идет изолированный провод, подсоединенный к сопротивлению, находящемуся вне бака.

При отключении вначале разрывается цепь тока между неподвижными контактами 4 и контактным ножом 1. В цепь тока окажется включенным сопротивление, присоединенное к предварительному неподвижному контакту 3. При дальнейшем опускании вниз ножа 1 размыкаются контакты 3 и 2, и через дугу будет проходить уменьшенный ток отключения. Эти типы выключателей впоследствии были заменены масляными выключателями с гасительными камерами.

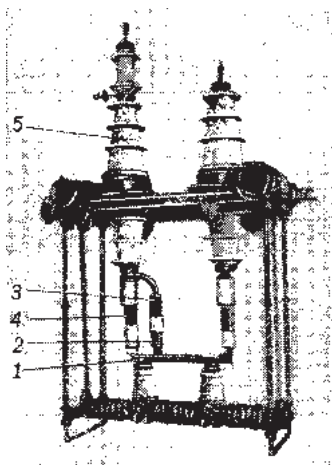


Рис. 4—15 *Масляный выключатель фирмы АЭГ с сопротивлениями для ограничения величины отключаемого тока (1905 г.)*

в) Выключатели фирмы «Сименс-Шуккерт»

Фирма «Сименс-Шуккерт» стала изготавливать в 1911 г. масляные выключатели для напряжения 3000 в со встроенными сопротивлениями, размещенными внутри масляного бака и помещенными ниже рабочих контактов.

У этого выключателя сопротивление предназначалось для уменьшения тока при включении мощных электродвигателей высокого напряжения и предотвращения повреждения обмотки статора.

В связи с прогрессом в области конструирования и изготовления трансформаторов и электродвигателей в отношении крепления

обмоток в двадцатых годах отпала необходимость строить выключатели со встроенными предварительными сопротивлениями. Однако наряду с улучшением конструкций трансформаторов и электродвигателей шел процесс увеличения мощности электростанций, а также повышения напряжения и протяженности линий электропередач.

При эксплуатации линий электропередач высоких напряжений большой протяженности оказалось, что при включении ненагруженных линий развиваются большие емкостные токи для зарядки линии, а при отключении – большие перенапряжения, обусловленные емкостными характеристиками линии. Для борьбы с этими явлениями вновь стали строить выключатели со встроенными сопротивлениями.

Фирма «Сименс-Шуккерт» выполняла масляные выключатели со встроенными сопротивлениями для напряжений до 220 кв. Такое решение вопроса объяснялось тем, что руководящий конструктор этой фирмы Кессельринг относился отрицательно к применению гасительных камер. Он полагал более правильным применять встроенные сопротивления и многократный разрыв тока [Л. 4-9].

В 1930 г. фирма «Сименс-Шуккерт» поставила 38 масляных выключателей со встроенными сопротивлениями напряжением на 220 кв [рис. 4-16] для линии электропередачи Рейн – Австрийские Альпы [Л. 4-10].

Сопротивления 1 помещены в баке 2 масляного выключателя и подключены к верхним и нижним неподвижным контактам 4 скользящего типа. Подвижные контакты 3 установлены на токопроводящих мостиках 5, которые связаны траверсой 6 со штангой 7. Сопротивления 1 шунтируют дугу первого разрыва и ограничивают отключаемые токи.

Здесь интересно будет сообщить о том, как предполагала в 1927 г. фирма «Сименс-Шуккерт» решить вопрос с выключением линий сверхвысоких напряжений порядка 400 кв. Это можно уяснить из германского и советских патентов, заявки на которые были сделаны фирмой «Сименс-Шуккерт» в ноябре 1927 г. Как видно из текста патента, истинными изобретателями этого предложения были Ф.Кессельринг и А.Кюнс [Л. 4-11].

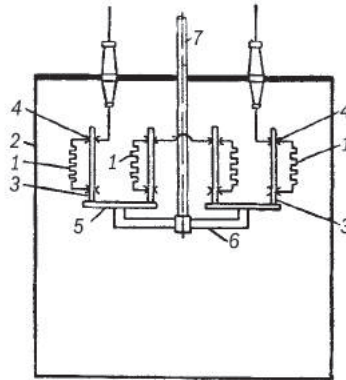


Рис. 4—16 *Схема трехбакового масляного выключателя фирмы «Сименс-Шуккерт» на 220 кв с четырьмя разрывами цепи тока на полюс и встроенными сопротивлениями (1930 г.)*

В описании изобретения сказано следующее:

«Обычно выключение цепей высокого напряжения производится посредством масляных выключателей, размеры которых чрезвычайно быстро возрастают с величиной рабочего напряжения, а также с повышением отключаемой мощности. Поэтому конструирование масляных выключателей на очень высокое напряжение ... особенно 380 кв представляет весьма серьезную задачу, так как конструкция обычного выполнения получается громоздкой, несоразмерно большого веса ... Громадные масляные баки требуют весьма большого количества масла, так как вес последнего растет приблизительно с третьей степенью напряжения.

С целью избежать этих затруднений в конструировании выключателей на сверхвысокие напряжения фирма Сименс-Шуккерт предлагает устанавливать в таком случае не один выключатель, рассчитанный на полное напряжение, а несколько — последовательно включенных выключателей на напряжение $\frac{E}{n}$, где n — число выключателей».

Баки выключателей 1 [рис. 4-17] изолируются от земли опорными изоляторами 2 и 3. Привод выключателей осуществляется общим

валом 4, соединенным с электродвигателем 5, муфтой 6, выполненной из изолирующего материала.

Приводные механизмы отдельных выключателей 1 соединены муфтами 7, выполненными из изолирующего материала.

С целью обеспечения равномерности распределения напряжений между отдельными изолирующими ступенями делаются подсоединения соответствующих ответвлений обмотки высокого напряжения 8 трансформатора.

Предложение фирмы «Сименс-Шуккерт» оказалось жизненным в части создания современных выключателей с гашением дуги сжатым воздухом. Эти выключатели представляют собой несколько самостоятельно и одновременно действующих выключателей, питаемых сжатым воздухом от отдельных воздухопроводов и включенных последовательно в отключаемую цепь тока. Дальнейшее развитие масляных выключателей пошло по пути установки в них гасительных камер, что создавало газомасляное дутье за счет энергии, выделяемой самой гасимой дугой.

Следующим этапом развития масляного выключателя явилось применение масляного дутья, получающегося за счет энергии, подводимой со стороны.

В современных масляных выключателях с мощностью отключения 15–25 тыс. *Мва* скомбинированы оба способа создания газомасляного дутья.

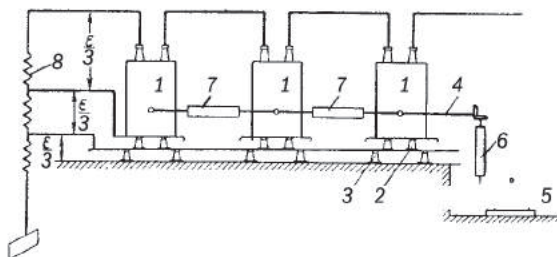


Рис. 4–17 Схема каскадного включения масляных выключателей для напряжений выше 220 кВ, предложенная фирмой «Сименс-Шуккерт» (1927 г.)

ГЛАВА ПЯТАЯ

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

С ОРГАНИЗОВАННЫМ

ГАШЕНИЕМ ДУГИ

В ЖИДКОСТИ ПОД

ДЕЙСТВИЕМ ЭНЕРГИИ

САМОЙ ДУГИ

5—1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Рост мощности электрических установок и повышение рабочих напряжений в энергосистемах все более и более усложняли работу выключателей и повышали их ответственность как коммутирующих и защитных аппаратов.

Начавшаяся в период 1910–1915 гг. полоса взрывов масляных выключателей, часто сопровождавшихся пожарами, поставила вопрос о дальнейшем совершенствовании этого типа выключателей или о замене его другим типом выключателя, невзрывающегося и безопасного от пожара.

Разработанные Германским электротехническим союзом подразделения типов масляных выключателей на серии и регламентации требований к конструированию и условиям их эксплуатации несколько упорядочили дело. Все же для многих стало ясным, что

масляный выключатель в его старой конструкции – аппарат, требующий дальнейших улучшений. Однако никаких коренных улучшений, кроме создания простой гасительной камеры, в конструкции масляного выключателя не произошло. В основном выключатели росли по своим габаритам и стали изготавливаться с более прочными стенками и крышками баков.

Успех германских фирм в части создания новых типов безмасляных выключателей (АЭГ, 1929 г., выключатели с воздушным или газовым дутьем; «Сименс-Шуккерт», 1930 г. – расширительный выключатель) вызвал усиленную творческую работу английских и американских электротехнических фирм по дальнейшему улучшению масляного выключателя.

Особенно интенсивные работы по конструированию новых типов дугогасительных устройств развернулись в Америке и Англии, где основными сторонниками масляных выключателей были фирмы ДЖИИ, «Вестингауз» и «Метрополитен-Виккерс». Наряду с этими зарубежными фирмами работы по улучшению масляного выключателя велись и в СССР.

5–2 ИЗОБРЕТЕНИЕ ПРОСТОЙ ГАСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ

При эксплуатации выключателей с простым расхождением контактов в масле было установлено, что с ростом отключаемой мощности возрастает продолжительность горения дуги. Это явление приводило к повышению давления в баках выключателей, что требовало усиления их механической прочности.

Значительным шагом вперед в улучшении масляного выключателя было изобретение гасительной камеры.

Назначение гасительной камеры состоит в том, чтобы обеспечить быструю замену ионизированных газов, находящихся в области горения электрической дуги, газами с высокой электрической прочностью.

Инженеры Хиллиард и Парсонс в 1908 г. предложили устанавливать в масляном выключателе гасительные камеры продольного дутья [Л. 5-1], устройство которых показано на рис. 5-1.

На нижних концах вводных изоляторов 1 у каждого полюса масляного выключателя укреплены металлические гасительные камеры 2, снабженные изолирующими обкладками 3. Внизу камеры имеется отверстие для прохождения подвижного электрода 4, установленного на токопроводящей траверсе 5.

Неподвижные контакты 6 установлены на токоведущих болтах 7. Гасительная камера заполнена маслом. При отключении между расходящимися контактами 4 и 6 внутри гасительной камеры 2 образуется электрическая дуга. Часть масла в гасительной камере испаряется и разлагается. Образовавшиеся газы повышают давление в гаситель-

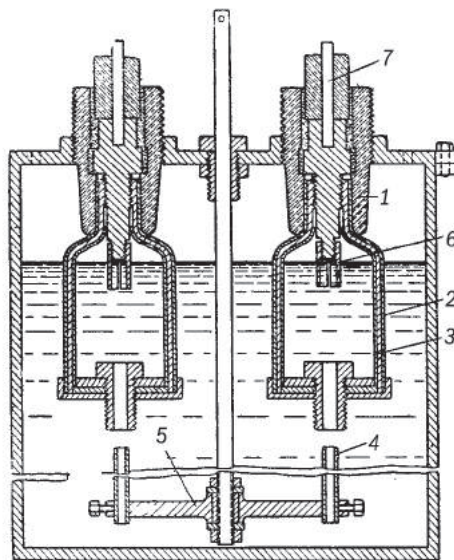


Рис. 5—1 Простая гасительная камера, предложенная Хиллиардом и Парсоном (1908 г.)

ной камере. Паромаслянная смесь устремляется через трубчатое отверстие в подвижном контакте 4. Дуга охлаждается, и дуговое пространство быстро деионизируется. Впоследствии было установлено, что лучшие результаты получаются при сплошном контакте и правильно выбранном кольцевом зазоре между ним и горловиной гасительной камеры. В последнем случае при образовании электрической дуги между контактами 4 и 6 испарившееся масло создает в гасительной камере давление, более высокое, чем при полых контактах, и это давление нарастает до тех пор, пока подвижной сплошной контакт 4 не откроет отверстие в горловине гасительной камеры. В этот момент находящиеся под большим давлением газы и масло устремятся через горловину гасительной камеры, усиленно охлаждая и деионизируя дуговое пространство.

Как показали проведенные исследования, электрическая дуга гаснет при самом выходе подвижного контакта из горловины гасительной камеры. Это свойство являлось основным недостатком камеры и затягивало процесс гашения дуги, так как требовалось некоторое время на прохождение подвижным контактом пути от момента расхождения контактов до выхода подвижного контакта из горловины гасительной камеры.

Следует отметить, что практически гасительные камеры начали применять много позже, чем они были изобретены. Это объяснялось тем, что сравнительные испытания выключателей с простыми гасительными камерами и выключателей с многократным разрывом дуги в масле показали, что при больших отключаемых токах гасительные камеры работают лучше, а при малых – хуже. Ухудшение работы гасительной камеры при малых токах происходило из-за того, что выделяемая дугой энергия была недостаточна для создания требуемого газомасляного дутья. При малых отключаемых токах лучшие результаты получаются без гасительной камеры при применении многократного разрыва цепи тока. По этой причине электротехнические фирмы стали применять простые гасительные камеры только с 1921 г. Главный конструктор фирмы «Сименс-Шуккерт» Ф.Кесельринг только в 1929 г. сделал по этому вопросу следующее заявление [Л. 5-2]:

«Акционерное общество „Сименс-Шуккерт“ долгое время относилось отрицательно к применению гасительных камер, считая, что только всестороннее испытание таких выключателей на специальных станциях может дать материал для объективного суждения об их прочности. После окончания постройки испытательной станции большой мощности общество сейчас же приступило к испытаниям и констатировало, что безукоризненность действия гасительной камеры в большой степени зависит от ее конструктивного выполнения...

...Правильно выполненная камера представляет хорошее вспомогательное средство для постройки более дешевых высокоомощных выключателей. Поэтому акционерное общество „Сименс-Шуккерт“ решило снабжать гасительными камерами все масляные выключатели с отключаемой мощностью в 300 *Mva* и больше с напряжением до 45 кв. Для напряжений от 60 до 200 кв масляные выключатели по-прежнему будут снабжаться многократным перерывом тока без гасительных камер, потому что при этих напряжениях такие выключатели более пригодны для выключения без нагрузки линий передач».

5—3 ГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ С ПРОДОЛЬНОМ ДУТЬЕМ

а) Гасительная камера фирмы ДЖИИ

Дальнейшим усовершенствованием простой гасительной камеры является камера с продольным дутьем, предложенная фирмой ДЖИИ в 1932 г. [рис. 5-2].

На нижнем конце проходного изолятора установлена гасительная камера масляного дутья, которая перегородкой 4 подразделяется на две части. В верхней половине камеры помещен подпружиненный неподвижный контакт 3.

В перегородке 4 установлен подпружиненный промежуточный контакт 5. Показанное на рисунке положение контактов 3 и 5 соответствует отключенному положению выключателя.

При включении подвижной контакт 2 входит в горловину камеры 1 и нажимает на промежуточный подпружиненный контакт 5. Последний перемещается вверх до соприкосновения с неподвижным контактом 3. При отключении выключателя первым отходит промежуточный контакт 5 от неподвижного контакта 3 и между ними возникает гасящая электрическая дуга.

Под термическим действием этой дуги масло в верхней половине гасительной камеры испаряется и разлагается, что создает высокое давление в верхней половине гасительной камеры.

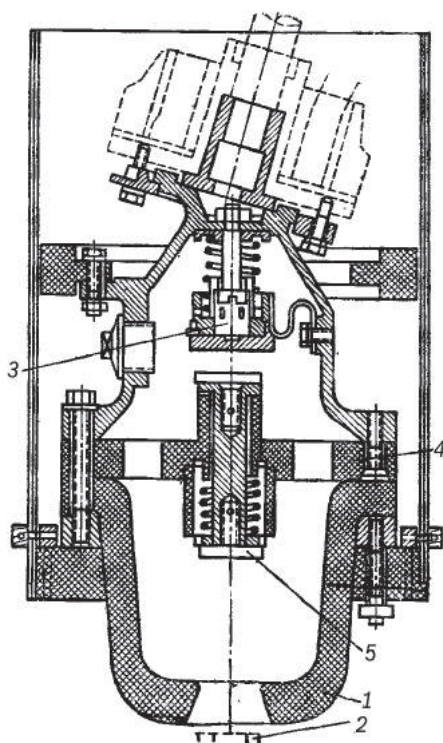


Рис. 5-2 Гасительная камера фирмы ДЖИИ с продольным дутьем (1932 г.)

При отходе подвижного контакта 2 от промежуточного контакта 5 между ними образуется вторая дуга в нижней половине гасительной камеры.

Одновременно в торце подвижного трубчатого контакта 2 открывается отверстие, сообщающее внутреннюю целостность гасительной камеры с баком выключателя, наполненным маслом. Под действием давления, созданного гасящей дугой, масло и газы из верхней половины гасительной камеры через окна в перегородке 4 устремляются в торцовое отверстие подвижного трубчатого контакта 2 и гасят дугу, горящую между промежуточным контактом 5 и трубчатым контактом 2.

Проведенные испытания масляного выключателя, снабженного вначале простой гасительной камерой, затем гасительной камерой с продольно-радиальным масляным дутьем, при напряжении 132 кВ и отключаемой мощности 175 МВА показали следующие результаты [Л. 5-3]:

Таблица 5-1

	Простая гасительная камера	Гасительная камера с масляным дутьем
Число испытаний	28	40
Средняя продолжительность горения дуги, период	8,6	3,5
Средняя длина дуги, мм	450	170
Максимальная длина дуги, мм	800	360

б) Гасительная камера с регулированием длины гасящей дуги завода «Электроаппарат»

Основным недостатком камеры продольного дутья являлось плохое гашение дуги при малых отключаемых токах. При этом дуга выделяет недостаточное количество энергии и испаряет мало масла, что создает недостаточное давление паромасляного дутья. Поэтому деионизация дугового пространства дуги происходит медленно, и процесс отключения затягивается.

Дальнейшим улучшением гасительной камеры с продольным дутьем явилась гасительная камера с регулирующим устройством

для удлинения гасящей дуги при малых токах и ее укорочения при больших отключаемых токах. Эта регулировка достигалась установкой поршня, механически связанного с промежуточным контактом гасительной камеры и воздействующего на длину гасящей дуги в зависимости от давлений в гасительной камере.

В качестве примера такого устройства гасительной камеры можно привести гасительную камеру маломаляного колонкового выключателя типа МГ-35, изготовляемого заводом «Электроаппарат» [рис. 5-3]. В нижней части 1 гасительной камеры установлен неподвижный контакт 2 и промежуточный контакт 3. При включении подвижной контакт 4 упирается в промежуточный подпружиненный контакт 3, а последний своим концом соприкасается с неподвижным контактом 2. При отключении вначале происходит размыкание цепи тока между контактами 2 и 3, что сопровождается зажиганием

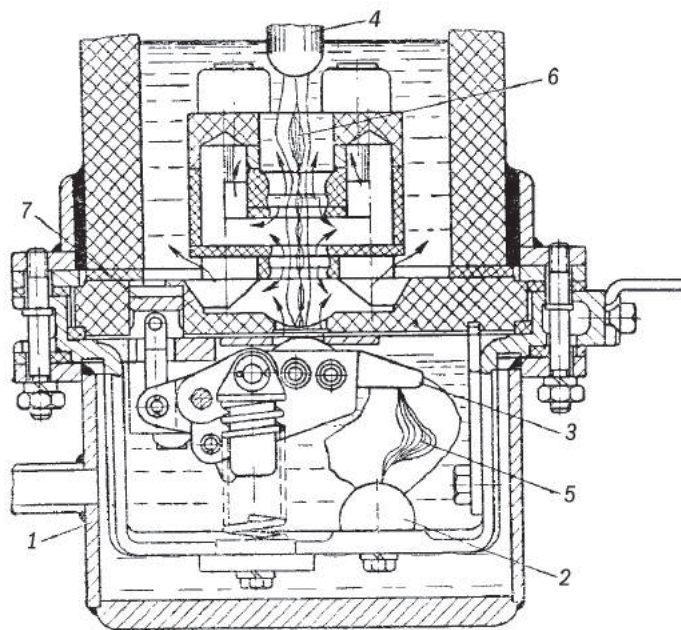


Рис. 5—3 Гасительная камера продольного дутья с регулированием длины гасящей дуги завода «Электроаппарат» (1948 г.)

гающейся дуги 5. Затем подвижной контакт 4 вместе с промежуточным контактом 3 продолжает совместное движение до тех пор, пока промежуточный контакт 3 не упрется в перегородку между обеими частями гасительной камеры. При дальнейшем движении контакта 4 загорается гасимая дуга 6, которая будет интенсивно обдуваться паромасляной смесью, поступающей из нижней части гасительной камеры под термическим действием гасящей дуги 5. При отключении больших токов давление в нижней части гасительной камеры настолько возрастает, что поршень 7 поднимается вверх и промежуточный контакт 3 несколько поворачивается. При этом правый конец приближается к неподвижному контакту 2, что укорачивает гасящую дугу 5.

При отключении малых токов поршень 7 занимает крайнее нижнее положение, и дуга 5 имеет максимальную длину. Механизм промежуточного контакта 3 так устроен, что при своем передвижении вниз он совершает сложное поступательно-вращательное движение, чем обеспечивает самоочищаемость точек соприкосновения контактов 3 и 2. Контактное устройство этой гасительной камеры защищено авторским свидетельством № 83586, выданным Н.И.Бачурину, В.Б.Гуревичу и В.В.Каплану по их заявке с приоритетом 17 июня 1948 г.

Отличительной особенностью этой гасительной камеры является не регулятор давления в виде поршня, а конструкция механизма подвижного контакта, выполненного без гибких связей и обеспечивающего в конце процесса выключения большую длину гасящей дуги, чем ход промежуточного контакта.

Здесь следует отметить, что применение в гасительной камере регулятора давления, выполненного в виде поршня, кинематически связанного с промежуточным контактом, было предложено М.М.Акодисом в 1944 г., на что ему было выдано авторское свидетельство № 65300.

Еще раньше в 1941 г. М.М.Акодис дал конструкцию гасительной камеры с автоматически действующим устройством, изменяющим длину газогенерирующей дуги в зависимости от величины отключаемого тока. Это предложение изложено в дополнительном материале, представленном Акодисом при заявке за № 307847. На это изобретение в 1941 г. Акодис авторского свидетельства не получил.

5-4 ГАСИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА С ПОПЕРЕЧНЫМ МАСЛЯНЫМ ДУТЬЕМ ФИРМЫ ДЖИИ

Одновременно с введением гасительных камер с продольным масляным дутьем фирма ДЖИИ стала снабжать свои горшковые выключатели камерами с поперечным масляным дутьем [рис. 5-4].

При включении подвижной контакт *1* заходит в горловину *2*, раскрывает подпружиненные заслонки *3* и входит в неподвижный розеточный контакт *4*. Если выключатель, кроме дугогасительных контактов, имеет рабочие контакты, находящиеся в воздухе, то их замыкание происходит после замыкания подвижного дугогасящего контакта *1* с розеточным контактом *4*.

При отключении сначала расходятся рабочие контакты, находящиеся в воздухе, а затем подвижной дугогасительный контакт *1* выходит из розеточного контакта *4* и между ними образуется дуга. Давление в камере повышается, так как выход для масла закрыт подвижным контактом *1*. При дальнейшем движении дугогасительного контакта *1* заслонки *3* закрываются, и дуга разделяется на две части, из которых первая горит между розеточным контактом *4* и заслонка-

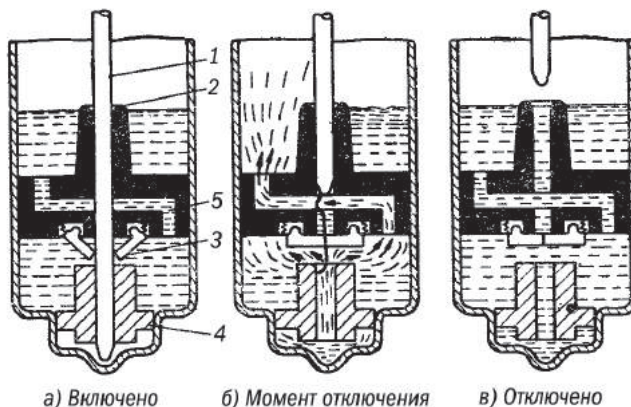


Рис. 5-4 Гасительная камера поперечного дутья фирмы ДЖИИ для масляных выключателей горшкового типа (1932 г.)

ми 3 и является гасящей, а вторая – гасимая – горит между заслонками 3 и дугогасящим контактом 1, как то видно из рис. 5-4, б. При дальнейшем движении дугогасящего контакта открывается поперечный канал 5, и масло из нижней части гасительной камеры устремляется по каналу 5, пересекает и охлаждает дугу, деионизирует пространство, где горит гасимая дуга, и осуществляет ее гашение. Такие гасительные камеры поперечного дутья применяются в масляных выключателях с малым объемом масла.

В выключателях с большим объемом масла фирма ДЖИИ стала применять камеру поперечного дутья, общую для системы контактов масляного выключателя – такие выключатели получили название «выключатель с семейной камерой» [рис. 5-5]. Перегородка 1 разделяет бак выключателя на две неравные части, в одной из которых размещены контактные части выключателя, а другая служит для выхода газов. Обе части бака выключателя заполнены маслом.

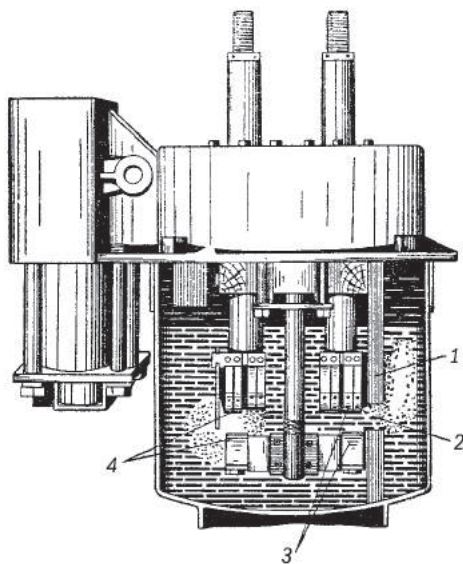


Рис. 5—5 Гасительная камера поперечного дутья фирмы ДЖИИ для масляных выключателей бакового типа на 10 кв (1930 г.)

В перегородке 1 против контактов 3 всех трех полюсов выключателя расположены отверстия 2. При отключении на контактах 3 и 4 образуются две электрические дуги на каждом полюсе выключателя, из них дуги на контактах 3 гасимые, а на контактах 4 гасящие. Паро-масляная смесь под действием давления, созданного горящими дугами, устремляется через отверстие 2 в правую часть бака выключателя и быстро деионизирует пространство между контактами 3 при очередном переходе тока через нулевое значение. На этом принципе гашения дуги Всесоюзный электротехнический институт имени В.И.Ленина (ВЭИ) весьма успешно провел работы в сетях Мосэнерго по усилению масляных выключателей, имевших контакты с простым расхождением контактов в масле. При дальнейшем развитии «выключателей с семейной камерой» стали устанавливать на нижних концах вводов выключателей отдельные гасительные камеры и применили многократный разрыв цепи тока. Примером такой конструкции гасительной камеры являются выключатели завода «Уралэлектроаппарат» МК-110 и МКП-220.

5–5 ГАСИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА ПОПЕРЕЧНОГО ДУТЬЯ С МНОГОКРАТНЫМ РАЗРЫВОМ ЦЕПИ ТОКА ЗАВОДА «УРАЛЭЛЕКТРОАППАРАТ»

После окончания Отечественной войны завод «Уралэлектроаппарат» разработал новую конструкцию бакового типа масляных выключателей напряжением 110 и 220 кВ с мощностью отключения 3500 Мва для замены ранее изготовлявшихся выключателей типов МКП-160 и МКП-274 с мощностью отключения 2500 Мва.

В новом типе были установлены шесть гасительных камер поперечного дутья с многократным разрывом цепи тока, работающих по принципу «выключателей с семейной камерой», т. е. с образованием в них гасимых и гасящих дуг.

В выключателях для напряжения 110 кВ каждая гасительная камера имеет четыре разрыва цепи тока, а для напряжения 220 кВ — шесть.

Учитывая, что на конце каждого ввода имеется отдельная гасительная камера, общее число мест разрыва цепи тока на полюс составляет для 110 кВ восемь, а для 220 кВ 12.

На рис. 5-6 схематически показано устройство гасительной камеры выключателя на 110 кВ в отключенном положении. В бакелитовом цилиндре 1 укреплены неподвижные контакты 2. Два подпружиненных подвижных контакта 3 установлены на штоке 9, выполненном из изолирующего материала.

Нижняя крышка 10 гасительной камеры гибкой связью 8 электрически соединена с контактом 6 на нижнем конце штока 9.

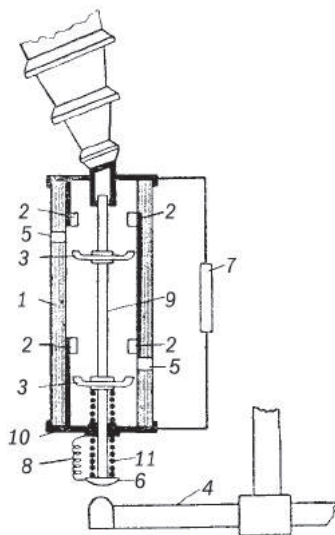


Рис. 5—6 Гасительная камера поперечного дутья с многократным разрывом цепи тока завода «Уралэлектроаппарат» (1947 г.)

В процессе отключения [вначале расходятся контакты 2 и 3 и образуются четыре электрические дуги. Контакт 6 под действием сильной пружины 11 следует за опускающейся траверсой 4 все время, пока происходит процесс отключения главного тока в гасительной камере.

Горящие электрические дуги, находящиеся против окон 5, являются гасимыми, а другие две – гасящими.

Процесс гашения дуг в гасительной камере заканчивается в течение 0,015–0,02 сек. По истечении этого времени траверса 4 отходит от контакта 6, и в открытом разрыве обрывается ток, протекающий по сопротивлению 7. Последнее имеет величину 750 ом и служит для снижения перенапряжений при отключении емкостных токов в длинных линиях передач и для деления восстанавливающегося напряжения между двумя гасительными камерами одного полюса выключателя.

Гасительная камера для выключателей типов МКП-110 и МКП-220 была предложена М.М.Акодисом в 1937 г. и на нее было выдано в 1949 г. авторское свидетельство № 77229.

Из переписки по данному изобретению видно, что авторское свидетельство было выдано Акодису не по первоначальной заявке № 307842 с приоритетом от 1937 г., а по вторичной заявке № 351318 от 1947 г. По первоначальной заявке в выдаче авторского свидетельства было отказано, так как предметом изобретения автор заявки считал не саму конструкцию камеры, а установку в ней подпружиненного поршня для регулирования давления газов в камере. Такие устройства для регулировки давления в гасительной камере были известны, почему и было отказано в выдаче авторского свидетельства.

Спустя десять лет Акодис вновь вернулся к вопросу выдачи ему авторского свидетельства на конструкцию гасительной камеры с поперечным дутьем и многократным разрывом цепи тока и получил на нее авторское свидетельство № 77229 с приоритетом по дате подачи первоначальной заявки, т. е. 1937 г., так как в первоначальной заявке была описана такая гасительная камера.

Здесь следует отметить, что фирма ДЖИИ в 1938 г. построила баковый масляный выключатель на 230 кв с гасительной камерой, аналогичной камере Акодиса. Этот выключатель показан в журнале «El. Engineering» за 1938 г. № 12, на стр. 706.

Таким образом, Акодис имеет годичный приоритет по изобретению этой гасительной камеры.

Завод «Уралэлектроаппарат» приступил в 1957 г. к модернизации гасительных камер, применяемых им в выключателях типа МКП-110 и МКП-220.

Гасительная камера снабжается подпружиненным поршнем для регулирования давления в гасительной камере во время процесса отключения выключателя. Гасительную камеру предполагается выполнить из стеклоткани с заливкой эпоксидной смолой, что значительно увеличит прочность гасительной камеры по сравнению с гетинаксовой. Намеченные мероприятия по модернизации гасительной камеры повысят мощность отключения масляных выключателей типов МКП-110 и МКП-220 до 5000 Мва.

5—6 ГАСИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА СО ВСТРОЕННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ФИРМЫ «ЭРЛИКОН» (ШВЕЙЦАРИЯ)

29 декабря 1920 г. фирма «Эрликон» подала заявку, а 13 июня 1922 г. получила патент на масляный выключатель с гасительной камерой и встроенными сопротивлениями [Л. 5-4].

В баке 1 масляного выключателя [рис. 5-7] с двумя разрывами дуги на фазу установлены гасительные камеры 2. На конце токоведущего стержня ввода укреплен розеточный неподвижный контакт 3.

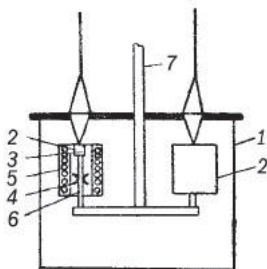


Рис. 5–7 Гасительная камера завода «Эрликон» со встроенным сопротивлением (1920 г.)

Внутри гасительных камер установлены скользящие промежуточные контакты 4. Сопротивления 5 выполнены в виде цилиндрических катушек и установлены коаксиально в гасительных камерах 2. Концы сопротивлений соответственно присоединены к розеточным контактам 3 и промежуточным 4. Подвижные контакты 6 установлены на токоведущей траверсе и перемещаются штангой 7, выполненной из изолирующего материала. Сопротивления 5 предназначены для снижения выключаемых токов.

5–7 ГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ ФИРМЫ «БРАУН-БОВЕРИ» (ШВЕЙЦАРИЯ)

а) Гасительная камера маломасляного выключателя

В 1932 г. фирма «Браун-Бовери» разработала конструкцию так называемого конвекторного маломасляного выключателя с одним разрывом цепи тока на фазу. Он представляет собой комбинацию выключателя и отъединителя [Л. 5-5].

Гасительная камера 1 [рис. 5-8], выполненная из изолирующего материала, помещена в цилиндрическую коробку 2, установленную

в фарфоровой рубашке 3, наполненной маслом. Внутри гасительной камеры помещены перегородки 4, снабженные в центре отверстием для прохода подвижного контакта 5. Подпружиненный неподвижный контакт 6 одновременно является клапаном, открывающим отверстие 7 в дне гасительной камеры при достижении определенного давления в ней в соответствии с натяжением пружины 8.

При отключении подвижной контакт 5 движется вверх, и между подвижным и неподвижным контактами образуется электрическая дуга. В нижней ячейке гасительной камеры быстро растет давление, и когда конец подвижного контакта выйдет во вторую ячейку камеры, через центральное отверстие нижней перегородки 4 устремится

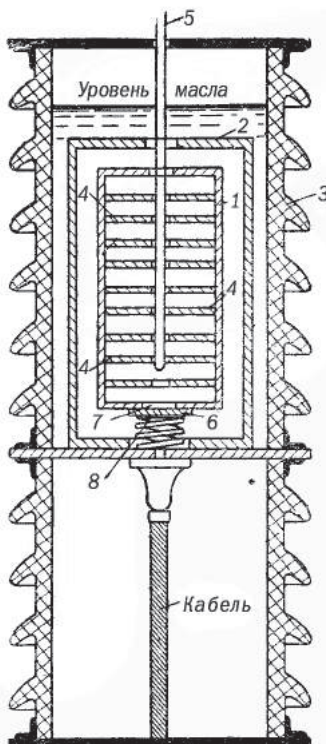


Рис. 5—8 Гасительное устройство маломасляного конвекторного выключателя фирмы «Браун-Бовери» (1932 г.)

паромасляная смесь и образуется продольное дутье. При дальнейшем движении вверх подвижного контакта эффект продольного дутья будет нарастать. Особо сильное продольное дутье получится через нижнее отверстие 7, когда давление в гасительной камере превысит силу натяжения пружин 8. Гасительная камера конвекторного выключателя является развитием простой гасительной камеры, в которой добавочно установлен ряд перегородок, образующих карманы для масла.

Наличие таких запасов масла в непосредственной близости от горячей электрической дуги обеспечивает усиленное газообразование в процессе отключения выключателя, что создает интенсивное газомасляное продольное дутье.

Фирма «Браун-Бовери» начала выпускать конвекторные выключатели в 1933 г. и уже в первый год изготовила выключатель для наружной установки напряжением 135 кВ с мощностью отключения 1600 Мва [рис. 5-9]. Он установлен на опорном фарфоровом изоляторе и снабжен отъединителем.

В 1936 г. был изготовлен такого типа выключатель на 150 кВ, 1950 Мва.

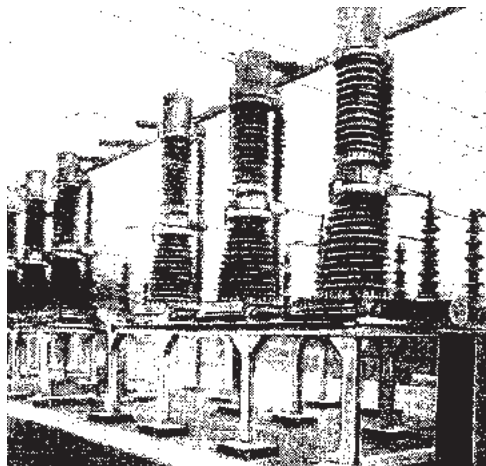


Рис. 5-9 Конвекторный выключатель на 135 кВ с мощностью отключения 1600 кВа (1933 г.)

В связи с полученными хорошими результатами в области постройки выключателей с гашением дуги сжатым воздухом фирма «Браун-Бовери» прекратила выпуск конвекторных выключателей для напряжений 100 кВ и выше и перешла для этих напряжений в основном на изготовление выключателей с гашением дуги сжатым воздухом. Наряду с этим в 1953 г. была разработана серия маломасляных выключателей конвекторного типа для напряжений $3 \div 20$ кВ с мощностью отключения $50 \div 400$ Мва. Эти выключатели рекомендуются фирмой к установке на распределительных устройствах, где нет сжатого воздуха.

б) Гасительная камера бакового масляного выключателя

В 1933 г. фирма «Браун-Бовери» получила в 1936 г. германский патент на гасительную камеру продольного дутья для бакового выключателя [Л. 5-6]. Эта гасительная камера по принципу действия была аналогична гасительной камере конвекторного выключателя [рис. 5-10]. На нижних концах вводных изоляторов 1 установлены гасительные камеры 2, снабженные перегородками 3, выполненными из изолирующего материала. Подвижной контакт 4 проходит через отверстия в перегородках 3 и входит в неподвижный розеточный контакт 5.

При отключении создаются два разрыва цепи тока на полюс, и по мере движения вниз подвижного контакта 5 создается продоль-

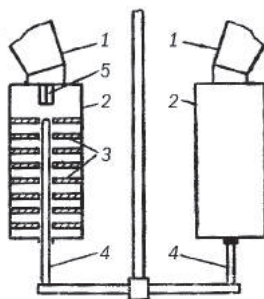


Рис. 5—10 Гасительная камера конвекторного бакового выключателя фирмы «Браун-Бовери» (1933 г.)

ное паромасляное дутье, нарастающее по мере включения все большего количества отсеков гасительной камеры.

Баковые выключатели с гасительными камерами типа конвекторного маломасляного выключателя не нашли применения, так как фирма «Браун-Бовери» усиленно стала рекомендовать выключатели с гашением дуги сжатым воздухом взамен баковых масляных выключателей.

5–8 ГАСИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ДУТЬЕМ ФИРМЫ «МЕТРОПОЛИТЕН-ВИККЕРС» (АНГЛИЯ)

Над проблемой улучшения простой гасительной камеры работала в Англии фирма «Метрополитен-Виккерс». Эта фирма предложила в 1932 г. масляный выключатель с гасительной камерой поперечного дутья [рис. 5-11], которая нашла широкое применение как в масляных выключателях с большим объемом масла, так и в выключателях горшкового типа с малым объемом масла [Л. 5-5].

В баковом выключателе с большим объемом масла гасительная камера 2, выполненная из изолирующего материала, устанавливается на нижнем конце проходного изолятора 1. При отключении выключателя траверса 3 опускается вниз, и между контактами 4 и 5 образуется электрическая дуга. Масло и газы из полости А через отверстие 6 устремляются в пространство Б, а затем через щели 7 в бак масляного выключателя и тем создают поперечное дутье, что деионизирует дуговое пространство. При очередном переходе через нулевое значение происходит гашение электрической дуги.

В дальнейшем фирма начала устанавливать в щелях камеры поперечного дутья наряду с изоляционными пластинами и стальные

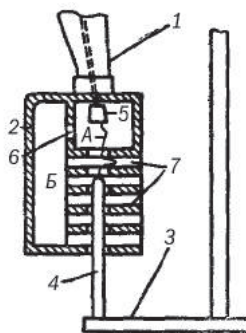


Рис. 5—11 Гасительная камера поперечного дутья фирмы «Метрополитен-Виккерс» (1932 г.)

с узкой щелью, которые укладывались открытой частью в сторону канала для подвижного контакта гасительной камеры. Образующееся вокруг дуги магнитное поле создавало давление в сторону отверстий в щелях камеры и способствовало быстрому затягиванию туда дуги. Это мероприятие усиливало охлаждение дуги и способствовало более быстрой деионизации дугового пространства.

5—9 ГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ С УЗКОЙ ЩЕЛЬЮ ФИРМЫ «ВЕСТИНГАУЗ»

а) Гасительная камера с однократным разрывом

Фирма «Вестингауз» в 1930 г. [Л. 5-5] предложила выключатель, снабженный гасительной камерой с узкой щелью, помещенной в баке с маслом [рис. 5-12].

В баке с маслом на концах вводов 1 устанавливаются гасительные камеры с узкой щелью 2. Гасительная камера собирается из нескольких отдельных элементов, каждый из которых состоит из одной

стальной 3 и нескольких изоляционных пластин 4. Пластины соединены между собой болтами из изолирующего материала. Гасительная камера имеет узкий прорез 5, заполненный маслом. В прорезах гасительных камер ходят плоские подвижные контакты 6 выключателя. При расхождении контактов 6 и 7 и образовании дуги возникает вокруг дуги магнитное поле, которое с одной стороны пройдет подковообразным стальным пластинам гасительной камеры, а с другой – через масло в зазоре между концами подковообразных стальных пластин. Под действием магнитного поля появляется одностороннее давление на горящую дугу, стремящееся переместить дугу в закрытый конец щели гасительной камеры.

Дуга приводится в тесное соприкосновение с маслом, разлагает его, и образовавшиеся деионизированные газы прорываются через ствол дуги к открытому концу щели, охлаждают дугу, деионизируют дуговое пространство и гасят дугу.

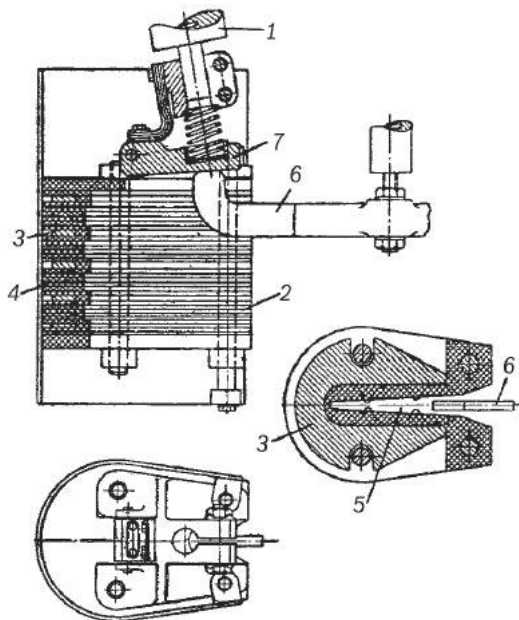


Рис. 5–12 Гасительная камера с узкой щелью фирмы «Вестингауз» (1930 г.)

Такого типа выключатели были испытаны при напряжениях от 38 до 520 кВ при различных отключаемых мощностях. Выключатели работали без всякого расстройств контактной системы. Среднее время выключения при напряжении 60 кВ оказалось меньше двух периодов 60-периодного тока.

При напряжении 220 кВ время отключения составило от двух до четырех с половиной периодов [Л. 5-7].

Выключатель получил наименование «деионного в масле».

б) Гасительная камера с узкой щелью и многократным разрывом цепи тока

Американская фирма «Вестингауз» изготовила и установила на подстанциях системы Болдер-Дэм в 1935 г. масляный выключатель с гасительной камерой, снабженной узкой щелью и десятикратным разрывом цепи тока. Выключатель был выполнен для напряжения 287 кВ, 1000 А, с мощностью отключения 2500 МВА. Он имел три бака диаметром около 3 м каждый и содержанием масла в одном баке 30 т. Полная высота выключателя составляла 8,8 м [Л. 5-8].

На рис. 5-13, а, 5-13, б и 5-14 показаны разрез, общий вид и схема гасительной камеры, имеющей пять разрывов цепи тока. На нижнем конце проходного изолятора 1 укрепляется гасительная камера 2, состоящая из пяти деионных решеток, установленных в отдельных отсеках камеры, и снабженная реактивным делителем напряжения 3. Последний состоит из слоев металлической фольги 4 и бакелизированной бумаги для создания конденсаторов, имеющих назначение равномерно распределять напряжение по системе контактов путем влияния электрического поля. Для создания магнитного дутья в каждой решетке гасительной камеры установлены катушки 6 и 7. Катушки 6 включены последовательно в цепь главных контактов и образуют магнитное поле, сдувающее дугу с главных контактов 5 на вспомогательные дугогасящие контакты, и одновременно служат сопротивлением, ограничивающим ток короткого замыкания в отключающей цепи.

По катушкам 7 начинает проходить ток, как только загорятся электрические дуги между вспомогательными дугогасящими кон-

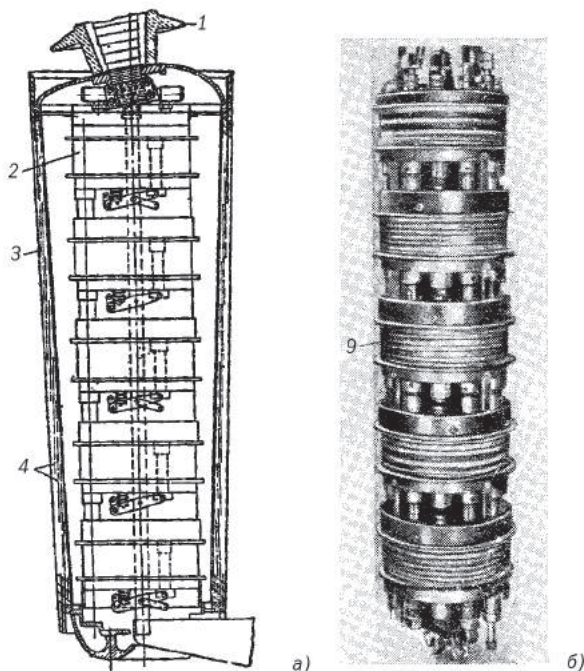


Рис. 5—13 Гасительная камера выключателя фирмы «Вестингауз» на 287 кв с мощностью отключения 2500 мва (1935 г.)

тактами 8; они создают магнитное поле, под действием которого горячие между вспомогательными дугогасящими контактами 8 дуги перемещаются вдоль узкой щели, образованной фибровыми пластинами 9. Все катушки 7 оказываются включенными последовательно с электрическими дугами, горящими между контактами 8, и тем самым являются сопротивлениями, ограничивающими величину отключаемого тока.

Дуга гасится под действием бурного потока газов, образующихся при разложении масла в узкой щели под влиянием термического действия дуги. Как показали опыты, дуга перемещалась с рабочих контактов на вспомогательные дугогасительные после первого перехода величины тока через нулевое значение. Среднее время отключения составляло 2,53 периода (60 гц).

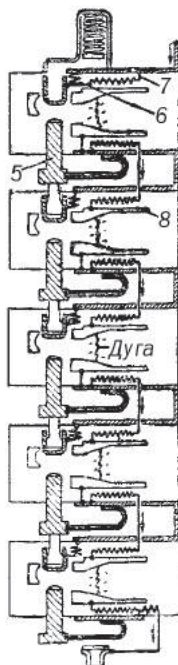


Рис. 5—14 Схема гасительной камеры выключателя фирмы «Вестингауз» на 287 кв, 2500 мва (1935 г.)

Благодаря автоматическому включению сопротивлений в отключаемую цепь ток короткого замыкания составлял 125 % номинального (5000 *a*). При искусственном закорачивании части решеток отключаемый ток достигает 8900 *a*, что соответствует отключаемой мощности 4500 *мва*.

Гасительные камеры с узкой щелью нашли применение в советском выключателе ВМ-35, 35 кв, 600 *a*, что позволило повысить у него мощность отключения до 400 *Мва*.

Впоследствии фирма «Вестингауз» для больших мощностей отключения стала изготавливать баковые масляные выключатели с закрытыми гасительными камерами импульсного типа, у которых объем масла на 1 млн. *кВа* отключаемой мощности уменьшился в 25 раз по сравнению с деионным масляным выключателем.

5–10 ГАСИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА В.И.ИЛЬЧЕНКО (СССР)

За 4 года до изобретения в Англии гасительной камеры поперечного дутья инженер-технолог В.И.Ильченко предложил в 1928 г. два варианта выключателя [рис. 5-15 и 5-16], который можно рассматривать как прототип масляного выключателя с камерой поперечного дутья. На этот выключатель было выдано авторское свидетельство [Л. 5-9].

В баке 1 [рис. 5-15] на вводе 2 установлена гасительная камера 3, снабженная соплом 4. Подвижной контакт 5, входящий в гасительную камеру 3, выполнен более длинным, чем второй подвижной контакт 7. При отключении вначале образуется электрическая дуга между контактами 5 и 6 в гасительной камере 3. Под термическим действием дуги образуется давление газов в гасительной камере 3. Масло и газы из сопла 4 устремляются к месту горения второй дуги между контактами 7 и 8 и гасят эту дугу.

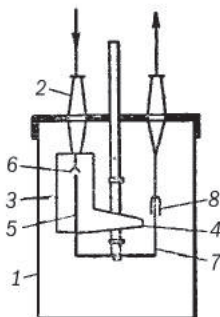


Рис. 5–15 Гасительная камера поперечного дутья В.И.Ильченко с одной гасимой и одной гасящей дугой (1928 г.)

По второму варианту гасительная камера 1 [рис. 5-16] установлена на вводе 2 и снабжена двумя соплами 3 и 4, расположенными против мест разрыва контактов 5 и 6, а также контактов 7 и 8.

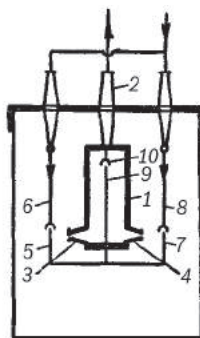


Рис. 5—16 Гасительная камера поперечного дутья В.И.Ильченко с одной гасящей и двумя гасимыми дугами (1928 г.)

Размыкание контактов 9 и 10, находящихся в гасительной камере, происходит раньше, чем разойдутся контакты 5, 6, и 7, 8. Газы и масло из гасительной камеры устремляются через сопла 3 и 4 к местам образования дуг между контактами 5, 6 и 7, 8.

5—11 ГАСИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ В.Г.ЕГОРОВА (СССР)

За 3½ года до опубликования фирмой ДЖИИ гасительной камеры с продольным масляным дутьем В.Г.Егоров в СССР предложил в 1928 г. масляный выключатель с установкой в нем гасительной камеры с продольным дутьем, на что и получил советский патент № 13461 [рис. 5-17].

В 1931 г. В.Г.Егоров сделал вторую заявку на новую конструкцию выключателя с гасительной камерой продольного дутья и получил авторское свидетельство № 30336, зависимое от ранее выданного ему патента [Л. 5-10].

На нижнем конце вводного изолятора 1 установлена металлическая гасительная камера 2, снабженная обкладками 3, выполненными из изолирующего материала. На конце токоведущего стержня 4 вводного изолятора 1 укреплен неподвижный контакт 5.

На траверсе 6, выполненной из изолирующего материала, укреплен стержень 7, снабженный двумя подвижными контактами 8 и 9. Последний из них выполнен подпружиненным и может скользить вдоль стержня 7 при достижении надлежащего давления в камере.

При отключении траверса 6 опускается вниз под действием штанги 10 и вначале размыкаются контакты 5 и 8, между которыми

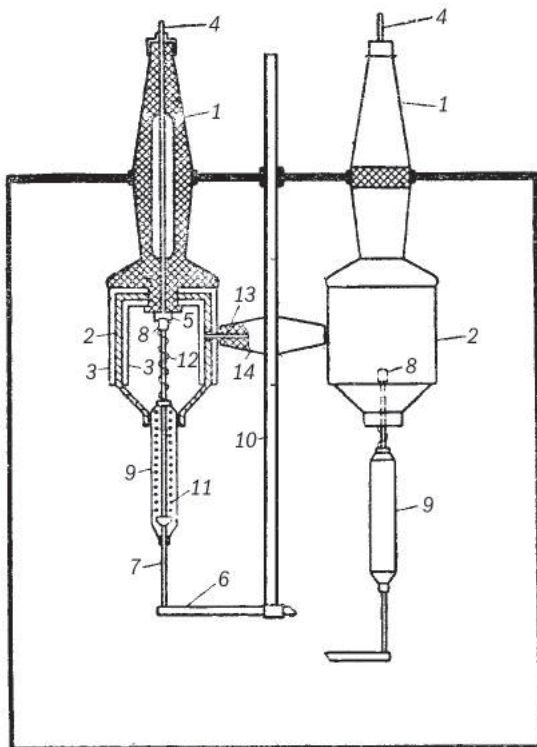


Рис. 5-17 Гасительная камера В.Г.Егорова с продольным масляным дутьем и подпружиненным подвижным контактом (первый вариант) (1928 г.)

загорается дуга, что создает давление масла в камере 2. При достижении надлежащего давления подвижной контакт 9 перемещается вниз вдоль стержня 7, преодолевая действие пружины 11. Между подвижным контактом 9 и горловиной камеры 2 загорается вторая дуга, которая гасится продольным газомасляным дутьем за счет давления, созданного в камере 2.

Траверса 6 продолжает опускаться в крайнее нижнее положение, и после окончания процесса горения дуги подвижной контакт 9 пружиной 11 возвращается в исходное положение на стержне 7, но не приходит в соприкосновение с горловиной камеры 2.

В отключенном положении подвижной контакт 8 не выходит за пределы камеры. Контакт 8 соединен с контактом 9 гибким проводником 12.

Обе гасительные камеры 2, установленные на нижних концах вводных изоляторов 1, электрически соединены друг с другом стержнем 13 проходного изолятора 14.

Как показала эксплуатация гасительных камер продольного дутья, эти камеры быстро гасили большие отключаемые токи и затягивали гашения при отключении малых токов. Причиной этого явления была недостаточная мощность дуги при гашении малых токов, а потому давление газомасляной смеси в гасительной камере получалось недостаточное для быстрой деионизации дугового пространства при выходе контакта из гасительной камеры. В камере Егорова подпружиненный подвижной контакт отрывается от промежуточного контакта, которым является тело гасительной камеры, только в тот момент, когда давление в гасительной камере под воздействием газогенерирующей дуги превысит натяжение пружины 11 подвижного контакта. При этих условиях гашение дуги при малых токах должно происходить так же интенсивно, как и при больших токах. Эта основная мысль, заложенная в первый вариант конструкции гасительной камеры Егорова, предвосхитила вопрос о создании камеры продольного дутья, пригодной для гашения дуг, образующихся при отключении малых токов. Путем изменения натяжения пружин подвижного контакта имеется возможность ограничить величину давления газомас-

ляной смеси внутри гасительной камеры и сократить время горения дуги при отключении выключателя. Идея подпружиненного подвижного контакта пока не нашла применения, но, несомненно, она заслуживает внимания и проверки на опытных конструкциях.

Через 1½ года после подачи первой заявки Егоров сделал вторую заявку на другую конструкцию гасительной камеры и получил зависимое авторское свидетельство.

На нижнем конце изолятора 1 [рис. 5-18] установлена металлическая гасительная камера 2, разделенная перегородкой 3 на две части.

В верхней части гасительной камеры укреплен неподвижный контакт 4. В перегородке 3 имеются окна 5 для сообщения верхней части камеры с нижней ее частью. В тело перегородки 3 вмонтирован подпружиненный промежуточный контакт 6, электрически соединенный с телом гасительной камеры. В горловине камеры имеется подпружиненный контакт 7, создающий электрическое соединение между корпусом камеры 2 и подвижным контактом 9.

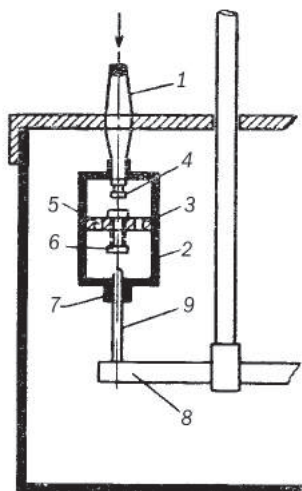


Рис. 5-18 Гасительная камера В.Г.Егорова с продольным масляным дутьем и подпружиненным промежуточным контактом (второй вариант) (1931 г.)

Во включенном состоянии подвижной контакт 9 нажимает на промежуточный контакт 6, и тот поднимается и подходит к неподвижному контакту 4. При отключении первыми расходятся контакты 4 и 6. Образовавшаяся между ними гасящая электрическая дуга создает давление газов в верхней части гасительной камеры. При выходе подвижного контакта 9 из горловины гасительной камеры образуется вторая дуга, которая гасится струей газов и масла, устремляющихся из верхней и нижней частей гасительной камеры.

При сравнительном рассмотрении второго варианта гасительной камеры Егорова и гасительной камеры фирмы ДЖИИ с продольным дутьем можно видеть, что обе гасительные камеры отличаются друг от друга только в деталях конструкции. Основная же идея обеих гасительных камер, состоящая в образовании в одной гасительной камере гасимой и гасящей дуги с разделением гасительной камеры на две сообщающиеся части и применением промежуточного подпружиненного контакта с одновременным возникновением двух электрических дуг, является общей для обеих конструкций гасительных камер. При этом необходимо отметить, что Егоров внес свое первое предложение в августе 1928 г., а фирма опубликовала свою конструкцию гасительной камеры в январе 1932 г.

5—12 РАСШИРИТЕЛЬНАЯ ГАСИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА КЕССЕЛЬРИНГА (ГЕРМАНИЯ)

а) Принцип действия расширительной камеры

Германская фирма «Сименс-Шуккерт» в 1929 г. предложила новый выключатель, так называемый экспансионный или расширительный. Изобретателем этого выключателя был инженер фирмы «Сименс-Шуккерт» Ф. Кессельринг.

В своем докладе на 1-й Всесоюзной конференции по аппаратуре сильного тока, состоявшейся в Москве в 1929 г., Ф.Кессельринг так объяснил действие расширительного выключателя: «При внезапном падении давления пар в газовом пузыре, охватывающем носителей заряда, конденсируется подобно тому, как это происходит в известном опыте Милликена.

Благодаря этому масса электронов так увеличивается, что их скорость восстанавливается очень медленно и дальнейшая ударная ионизация становится практически невозможной» [Л. 5-2].

В 1931 г. фирма «Сименс-Шуккерт» по поводу действия расширительного выключателя писала [Л. 5-11]: «При адиабатическом расширении пар охлаждается и начинает конденсироваться. При достаточной скорости охлаждения по сравнению со скоростью восстановления напряжения после перехода тока через нуль большая часть электронов окажется пойманной мельчайшими каплями жидкости, и искровой промежуток окажется деионизированным. Таким образом, будет своевременно восстановлена электрическая прочность искрового промежутка, и нового зажигания дуги не произойдет».

На основании этих принципиальных предпосылок Ф.Кессельрингом была создана конструкция расширительного выключателя. В них гасительная камера делается раздвижной и подпружиненной.

Под действием давления газов отдельные подпружиненные звенья гасительной камеры раздвигаются и образуют кольцевые щели, через которые ионизированные газы и пары устремляются в окружающее камеру воздушное пространство.

Исследования Ф. Кессельринга показали, что оптимальное давление в расширительной камере не должно превышать 20–30 ат [Л. 5-5].

Проведенные А.Я.Буйловым исследования в ВЭИ не подтверждают правильности теории действия расширительного выключателя, предложенной Ф. Кессельрингом, и приводят к выводу, что более правильное пояснение принципа действия расширительного выключателя может быть дано в следующем виде [Л. 5-5].

При расхождении контактов экспансии, масло или вода под действием высокой температуры дуги испаряются и разлагаются.

При достижении определенного давления в расширительной камере она раздвигается, и через щели с большой скоростью будут выходить газы и пары разложившейся и испарившейся жидкости. Давление в расширительной камере быстро падает по направлению от ствола дуги к выхлопным щелям. Под действием разности давлений и температур газы от центра ствола дуги получают ускорение в стороны выхлопных щелей. Ионизированные газы разбрасываются в радиальном направлении, благодаря чему получается бурное перемешивание ионизированных и неионизированных газов, что способствует их быстрой деионизации и приводит к погасанию дуги.

Профессор Ю.В.Буткевич в своей докторской диссертации «Ионно-механическое выключение цепей переменного тока высокого напряжения», написанной им в 1937 г., рассмотрел принципы работы расширительного выключателя и пришел к следующим выводам:

1. Расширительная камера выключателей является одновременно предохранительным клапаном против чрезмерного повышения давления в камере в процессе отключения. Поэтому нет надобности оставлять большой зазор между подвижными контактами и отверстиями в стенках поперечных дисков. Это дает возможность одинаково хорошо гасить большие и малые токи.

2. Открытие эластичной камеры происходит обязательно снизу, так как там прежде всего появляется давление и масса диска минимальна, т. е. инерционное противодействие открытию камеры наименьшее. При открытии нижнего диска образуется продольное дутье вдоль всей камеры.

3. Вследствие внезапного открытия нижнего диска и резкого спада давления в камере ствол дуги расширится и займет больший объем. При наличии продольного дутья получаются благоприятные условия для гашения дуги.

Таким образом, основным фактором, способствующим гашению дуги, является дутье газов и паров масла, а не конденсация паров на электронах. Даже при внезапном расширении температура дуги остается настолько большой, что нельзя говорить о конденсации паров.

В последующих работах Кессельринг изменил взгляды на процессы гашения дуги в расширительном выключателе. В своей книге «Теоретические основы расчета коммутационных аппаратов» Кессельринг пишет: «При размыкании двух токоведущих контактов в жидкости возникает внезапное испарение и газообразование... Возникает газопаровой пузырь... Оболочка замыкается зоной перегретого и дальше к периферии насыщенного пара. Часть выделяемой дугой энергии нагревает внутреннюю поверхность жидкости в тонком слое до температуры кипения, соответствующей имеющемуся давлению. Позади этого слоя расположена жидкость, имеющая практически температуру окружающей среды... В области больших (отключаемых. – С.Г.) токов, в особенности в экспансион-шальтерах, выдающуюся роль играет так называемый эффект расширения. Энергия, выделяемая дугой, во время первых полупериодов производит испарение. Возникающая газопаровая смесь течет примерно перпендикулярно от поверхности жидкости... Поэтому дуга устанавливается на определенном расстоянии и в этом положении обтекается газопаровой смесью. Благодаря этому возникает очень интенсивное объемное охлаждение, что приводит к сильному уменьшению диаметра дуги. При этом, так как остаточный столб находится в водородной атмосфере, охлаждение и деионизация могут происходить в очень короткое время». Из этих приведенных высказываний Кессельринга вполне ясно, что от первоначальных своих взглядов на процесс гашения дуги в расширительных выключателях Кессельринг полностью отказался.

Расширительный выключатель имеет в Европе широкое распространение. По данным фирмы «Сименс-Шуккерт», за период с 1930 по 1940 г. было изготовлено свыше 35 000 таких выключателей для открытых и закрытых распределительных устройств [Л. 5-12].

Фирма «Сименс-Шуккерт» вначале придавала особое значение составу жидкости для наполнения гасительной камеры расширительного выключателя. Для этой цели ею употреблялся экспансин, который представлял собой смесь дистиллированной воды и глицерина или гликоля с добавлением красящего вещества для лучшего наблюдения за уровнем жидкости в гасительной камере.

Для предохранения экспансина от плесени прибавлялись антибиотики. Наиболее важной характеристикой экспансина являлась его хорошая электропроводность, что способствовало отключению малых токов без перенапряжений, так как разрыв тока происходил в этом случае при его нулевом значении. Для напряжений 100 кВ и выше фирма вместо воды стала применять в расширительных выключателях масло.

Первая патентная заявка на расширительную камеру была сделана фирмой «Сименс-Шуккерт» 6 марта 1931 г. Десять месяцев спустя другая ведущая германская электротехническая фирма АЭГ также подала 16 января 1932 г. заявку на выключатель с расширительной камерой.

За период с 1932 до 1943 г. включительно фирме АЭГ были выданы девять патентов, а фирме «Сименс-Шуккерт» – 71 патент.

Остальные электротехнические фирмы имеют единичные патенты на выключатели с расширительными камерами.

б) Конструкция выключателей с эластичной расширительной камерой

В изготовлении расширительных выключателей фирма «Сименс-Шуккерт» достигла больших успехов. Особенно плодотворной оказалась конструкция расширительного выключателя, снабженного эластичной камерой.

Качество расширительных выключателей с эластичной камерой оказалось настолько хорошим, что при постройке Днепрогэса именно фирме «Сименс-Шуккерт» были заказаны расширительные выключатели для напряжения 154 кВ.

Заявку о выдаче патента на эластичную камеру расширительного выключателя фирма «Сименс-Шуккерт» сделала 20 июня 1931 г. [Л. 5-13].

Корпус гасительной камеры 1 [рис. 5-19] выполнен из изоляционного материала и установлен на фарфоровом изоляторе 2. Подпружиненный неподвижный торцовый контакт 3 установлен на дне гасительной камеры. Подвижной контакт 4 во включенном

состоянии упирается в торцовый контакт 3. Внутри корпуса установлена расширительная гасительная камера, состоящая из двух половин 5 и 6. Нижняя половина гасительной камеры 5 заполнена жидкостью (экспансин, вода или трансформаторное масло). Верхняя половина 6 выполнена из нескольких изоляционных дисков 7, центрированных при помощи шпилек 8. Диски 7 удерживаются в сжатом состоянии пружинами 9, упирающимися одним концом в крышку 10, а вторым – во фланец подвижной втулки 11. При отключении выключателя возникает электрическая дуга между контактами 3 и 4. Под термическим воздействием электрической дуги в гасительной камере 5 и 6 создается давление газов. При достижении определенной величины давления газов в верхней половине 6 преодолевается сопротивление пружин 9, и диски 7 раздвигаются, образуя кольцевые щели для выхода ионизированных газов.

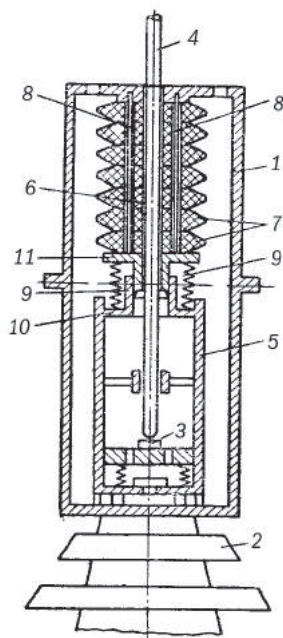


Рис. 5–19 Эластичная гасительная камера расширительного выключателя фирмы «Сименс-Шуккерт» (1931 г.)

На рис. 5-20 приведен внешний вид трехфазного расширительного выключателя фирмы «Сименс-Шуккерт» на 115 кВ с мощностью отключения 1500 Мва с поворотными в горизонтальной плоскости разъединителями модели 1931 г.

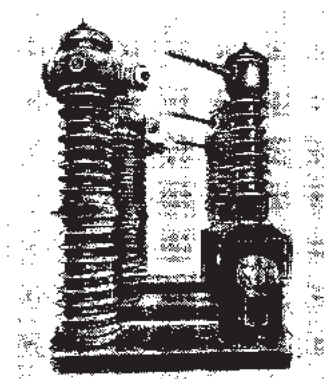


Рис. 5—20 Трехфазный расширительный выключатель фирмы «Сименс-Шуккерт» на 115 кВ, 1500 Мва (1931 г.)

На рис. 5-21 показан трехфазный расширительный выключатель, установленный в 1952 г. фирмой «Сименс-Шуккерт» на первой в Германии линии передачи 300 кВ Рейнско-Вестфальской электрической станции.

Выключатель имеет мощность отключения 8000 Мва при 300 кВ напряжения и снабжен шунтирующими сопротивлениями [Л. 5-14]. Для отсоединения от сети выключатель имеет разъединитель, выполненный в виде малообъемного масляного выключателя, способного отключать токи, протекающие через шунтирующие сопротивления после того, как процесс расхождения главных контактов закончен и электрическая дуга погасла.

В проспекте фирмы «Сименс-Шуккерт» «Новые исследования и достижения в области высоковольтных мощных выключателей» сообщается, что путем sdвоенной установки выключателя с расширительной камерой [рис. 5-22] можно получить выключатель для напряжения 400 кВ, 1000 А, с мощностью отключения 12 000 Мва.

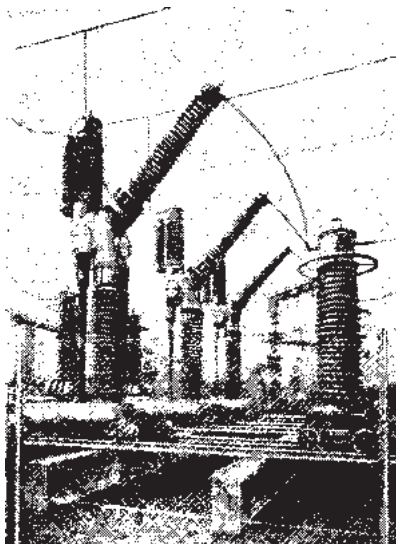


Рис. 5–21 *Трехфазный расширительный выключатель фирмы «Сименс-Шуккерт» с масляным отъединителем 300 кв, 8000 Мва (1952 г.)*

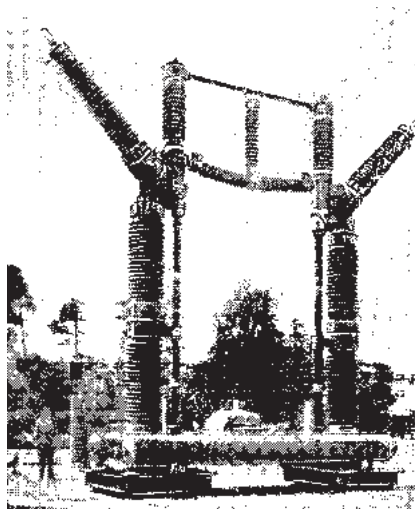


Рис. 5–22 *Сдвоенный расширительный выключатель фирмы «Сименс-Шуккерт» с масляным отъединителем 400 кв, 12 000 Мва (1954 г.)*

На эти конструкции выключателей с отделителем фирме «Сименс-Шуккерт» выданы в 1953 г. германские патенты № 864123 и 877791 по заявкам, сделанным фирмой в 1954 г. Изобретателем расширительных выключателей с отъединителем является Цюльке, как то указано в патентах.

5—13 ВОДЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

а) Выключатель Ревбортса (Англия)

В 1900 г. Ревбортс предложил водяной выключатель [Л. 5-15]. При отключении выключателя подвижной контакт медленно проходит через слой воды, заполняющей гасительную камеру.

В выключателе Ревбортса слой воды использовался в качестве водяного сопротивления для уменьшения величины отключаемого тока в процессе отключения выключателя.

Применение воды вместо масла в качестве дугогасительной среды являлось весьма заманчивым нововведением, так как при этом при взрыве выключателя не было угрозы пожаров. Впервые водяные выключатели Ревбортса для напряжения 2200 в были установлены в 1900 г. в США у печей карбидного завода, получающего электрическую энергию от Ниагарской гидроэлектрической станции.

На подставке 1 [рис. 5-23] установлены два цилиндрической формы горшка 2, наполненных до половины водой. На дне горшков, выполненных из изолирующего материала, установлены неподвижные контакты 3, к которым кабелями 4 подводится ток. Подвижные контакты 5, укрепленные на токопроводящей траверсе 6, приводятся в движение штангой 7, выполненной из изолирующего материала. Подвижные контакты 5 при отключении передвигаются медлен-

но по всей толще воды в горшках 2 и тем автоматически вводят воду как сопротивление, что снижает ток отключения.

Наряду с безопасностью в отношении возникновения пожара при взрыве водяного выключателя этот тип выключателя, однако, обладал следующими недостатками:

- а) Налитая в выключатель вода испаряется, и поэтому при эксплуатации требуется ее часто добавлять.
- б) При изменении уровня воды в выключателе изменяется величина сопротивления слоя воды, что неблагоприятно отражается на процессе отключения.
- в) Возможны случаи замерзания воды, что выводит из строя выключатель.
- г) Подвижные контакты при отключении выключателя необходимо вытягивать полностью из воды. В этом случае они подвергаются коррозии под действием воздуха и могут загрязняться от проникновения пыли.

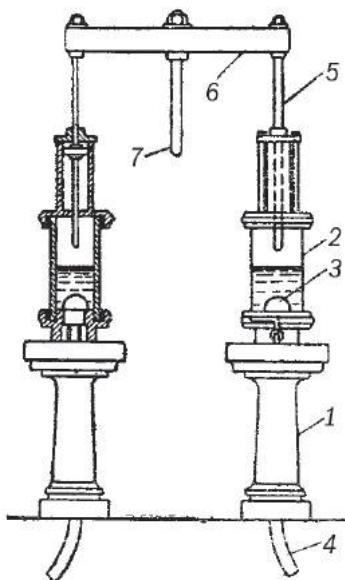


Рис. 5-23 Водяной выключатель Ревортса (1900 г.)

б) Выключатель Кельмана (США)

В 1901 г. инженер И. Кельман [Л. 5-16] сделал попытку создать масловодяной выключатель для напряжения 40 000 в [рис. 5-24].

Баками выключателя служили два деревянных бочонка, установленных на изоляторах. Неподвижные контакты помещались на дне бочонков. К ним кабелями подключались концы линии. Токоведущая траверса находилась над бочонками и перемещалась при помощи деревянной штанги. Бочонки частично наполнялись водой, уровень которой на несколько дюймов стоял выше неподвижного контакта. Поверх воды наливалось минеральное масло. При отключении подвижные контакты выходили полностью из бочонков, так что имела возможность визуалью установить, что выключатель отключен.

Выключатель был испытан на Колгетской электрической станции, где общая мощность установленных генераторов составляла 10 000 *квв*.

В 1902 г. был построен аналогичный масловодяной выключатель с железными баками, на дне которых были помещены на изоляторах внутренние бачки с неподвижными контактами. Внутренний бак частично заполнялся водой, а внешний — маслом. Внешние баки не имели крышек. За шесть месяцев эксплуатации этого выключателя было произведено 97 отключений с токами в пределах $25 \div 300$ *а* при напряжении 45 000 *в*.

В марте 1903 г. этим выключателем было произведено пять отключений за весьма короткий промежуток времени. При последнем



Рис. 5—24 Масловодяной выключатель Кельмана (1901 г.)

отключении масло выплеснулось на деревянные части здания, загорелось, и электростанция была уничтожена пожаром. Таким образом, попытка создать масловодяной выключатель, у которого соленая вода должна была выполнять роль сопротивления, а масло являться дугогасящей средой, окончилась неудачей. Это объяснялось тем, что вода превращалась в пар и сама создавала дутье для гашения дуги, что и привело к выбрасыванию масла и пожару.

в) Выключатели фирмы АЭГ

Несмотря на ряд недостатков водяного выключателя, фирма АЭГ вновь вернулась к этому типу выключателя в 1926 г.

Главный конструктор по выключателям фирмы АЭГ И. Бирманс по этому вопросу писал следующее [Л. 5-17]:

«В середине 1926 г. мы начали ряд исследований с масляными выключателями. При этом один раз их испытывали с масляным наполнением, а второй раз – с наполнением дистиллированной водой.

Исследованию был подвергнут трехполюсный выключатель для рабочего напряжения 6 кв.

При наполнении маслом мощность отключения составляла до 71 000 *кв*, а продолжительность горения дуги три-четыре полупериода. При наполнении водой и мощности отключения 89 000 *кв* продолжительность дуги составляла три – пять полупериодов.

При выполнении водяного выключателя по рис. 5-25 отключаемая мощность в сети 6 000 *в* составила 160 000 *кв*, а продолжительность горения электрической дуги – один полупериод. На дне гасительной камеры 2, изготовленной из изолирующего материала, установлен неподвижный контакт 3. Подвижные контакты 4 перемещаются штангой 6. Над гасительной камерой помещена камера 5, предназначенная для конденсации паров воды. Гасительная камера установлена на изоляторах 1.

При напряжении до 9 кв мощность отключения дошла до 270 000 *кв*, а продолжительность горения дуги оказалась равной двум полупериодам.

Под термическим воздействием электрической дуги в гасительной камере создается большое давление образовавшихся водяных паров. При дальнейшем движении подвижной контакт открывает отверстие, соединяющее гасительную камеру с расширительной. Пары воды устремляются в расширительную камеру, деионизируют среду, окружающую дугу, и быстро ее гасят».

Далее И. Бирманс писал:

«Когда исследования с водяным выключателем были на полном ходу, нас посетил проф. Руппель с предложением применить для выключателя сжатый газ. Первые испытания с применением сжатого газа, как дугогасящей среды, оказались весьма успешными ...

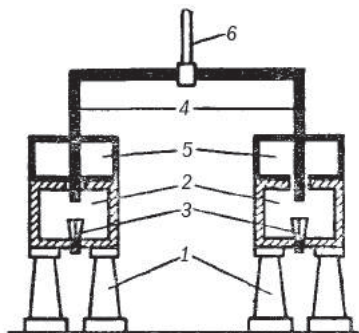


Рис. 5—25 Макет водяного выключателя Бирманса (1930 г.)

Как было установлено дальнейшими исследованиями, большие возможности имеются у выключателя со сжатым газом и вопрос о гасительной среде легче разрешается у газового выключателя, нежели у водяного. Однако к этому вопросу я предлагаю в дальнейших исследованиях еще вернуться».

Фирма АЭГ изготовляла водяные выключатели на 10 кв, 600 а с одним или двумя разрывами на фазу [Л. 5-5] [рис. 5-26].

На фарфоровом изоляторе 1 установлена стальная камера 2, заполненная водой, в которой помещен неподвижный контакт 3.

Наверху камеры помещена выхлопная коробка 4. Подвижной контакт 5 при отключении полностью выходит из камеры 2. При ис-

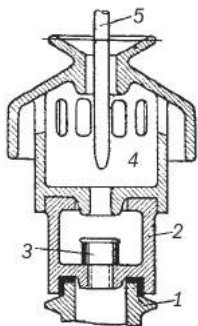


Рис. 5-26 Гасительная камера водяного выключателя фирмы АЭГ (1931 г.)

полнении трехфазного водяного выключателя с одним разрывом на фазу камеры располагались в вершинах треугольника, а подвижные контакты укреплялись на общей траверсе [рис. 5-27].

У трехфазного водяного выключателя с двумя разрывами на полюс [рис. 5-28] гасительные камеры расположены попарно и разделены изоляционными перегородками для предотвращения перекрытия между фазами. Такой выключатель при 10 кв имел мощность отключения 400 Мва.

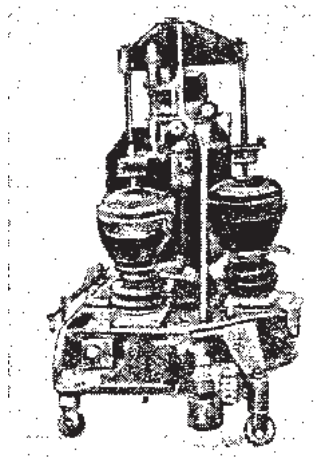


Рис. 5-27 Водяной выключатель фирмы АЭГ с одним разрывом цепи тока на полюс на 10 кв (1931 г.)

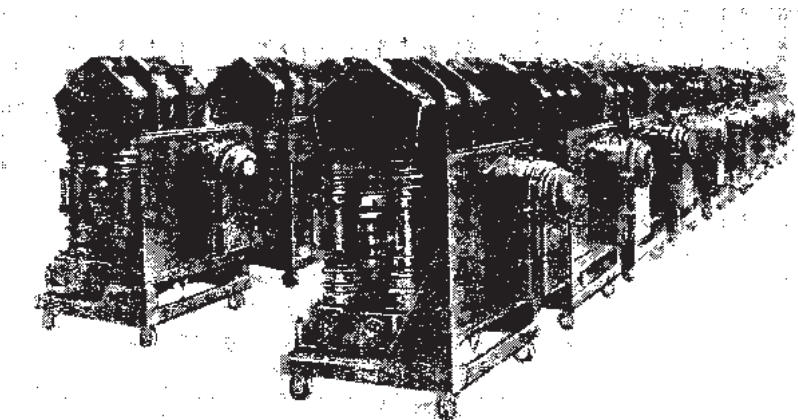


Рис. 5—28 Водяные выключатели фирмы АЭГ с двумя разрывами цепи тока на полюс на 10 кв (1931 г.)

Последние образцы выключателей высокого напряжения выполняются без выхода подвижного контакта за пределы дугогасительной камеры и снабжаются пристроенными разъединителями. Этот тип водяного выключателя имеет приспособление для предохранения жидкости от разбрызгивания, а дугогасительной системы от попадания в нее грязи.

Водяные выключатели изготовлялись рядом европейских электротехнических фирм, как то: АЭГ, «Сименс-Шуккерт», «Браун-Бовери». Фирма «Браун-Бовери» в 1934 г. изготовляла водяные выключатели для напряжений до 37 кв с мощностью отключения до 400 Мва.

Несмотря на хорошие результаты, получающиеся при гашении электрической дуги в водяных выключателях, электротехнические фирмы отказались от постройки водяных выключателей и пошли по пути создания выключателя с гашением дуги сжатым воздухом.

В США успешные опыты с применением водяного выключателя для напряжения 60 кв проводил в 1924 г. инженер Никольсон [Л. 5-18].

5–14 НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗОБРЕТЕНИИ ГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ДУТЬЯ

Среди германских патентов был обнаружен патент за № 370386 на «Масляный выключатель с гасительной камерой». Патент выдан немецкой фирме АЭГ 2 марта 1923 г. по заявке от 5 августа 1922 г.

В патенте указано, что аналогичная заявка фирмой ДЖИИ была подана в США 10 августа 1921 г.

В патенте приведены рисунки и даны описания трех конструкций гасительных камер, две из которых имеют продольное дутье и одна – поперечное дутье. В каждой гасительной камере имеются подвижной и промежуточный контакты.

В процессе отключения первым отходит от неподвижного контакта промежуточный контакт и образуется газогенерирующая дуга. При дальнейшем ходе траверсы подвижной контакт отходит от промежуточного и возникает вторая электрическая дуга – гасимая. Поступающая из верхней части гасительной камеры газомасляная смесь устремляется к месту горения второй дуги и гасит ее, деионизируя дуговое пространство.

Первый вариант гасительной камеры показан на рис. 5-29. На изоляторе 1 укреплена металлическая гасительная камера 2, разделенная перегородкой 3 на две части. В перегородке 3 имеются отверстия 4, через которые парогазовая смесь устремляется в нижнюю половину гасительной камеры. При отключении вначале образуется гасящая электрическая дуга между неподвижным контактом 5 и подпружиненным промежуточным 6, а затем загорается дуга между подвижным контактом 7 и промежуточным 6. Для радиального направления парогазовой смеси по отношению к гасимой дуге в нижней половине гасительной камеры установлены пластины 8, выполненные из изолирующего материала.

Второй вариант гасительной камеры отличается от первого тем, что роль промежуточного контакта исполняет металлический шарик,

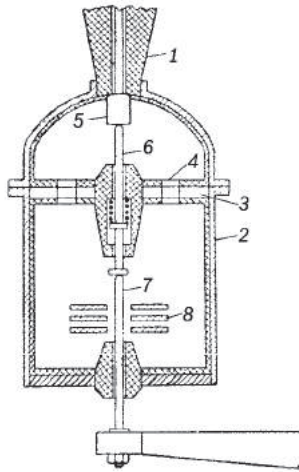


Рис. 5—29 Гасительная камера продольного дутья фирмы ДЖИИ (1921 г.)

который в процессе отключения под действием силы тяжести и давления струи парогазовой смеси автоматически закрывает отверстие, через которое проходит подвижной контакт, и тем делит дугу на две части — газогенерирующую и гасимую. Это устройство напоминает конструкцию гасительной камеры в выключателе МГГ-229, где роль шарика выполняют подпружиненные заслонки.

Третий вариант гасительной камеры показан на рис. 5-30. При отключении подпружиненный промежуточный контакт 1 отходит от неподвижного 2, а затем подвижной контакт 3 отходит от промежуточного 1. Маслогазовая смесь по каналу 4 и щелям 5 устремляется наперерез образовавшейся дуге между промежуточным контактом 1 и подвижным 3.

Из приведенных материалов следует сделать вывод, что фирма ДЖИИ еще в 1921 г. разработала конструкции гасительных камер продольного и поперечного дутья и до 1932 г. держала это изобретение в секрете.

Объяснение этому обстоятельству можно найти в том, что энергетические системы США в то время еще не требовали масляных выключателей столь большой мощности отключения, как то могли

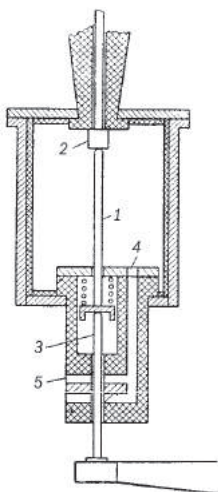


Рис. 5—30 Гасительная камера поперечного дутья фирмы ДЖИИ (1921 г.)

бы дать выключатели с гасительными камерами продольного и поперечного дутья. Поэтому фирма ДЖИИ обходилась поставкой масляных выключателей с простой гасительной камерой или вообще выключателей с простым расхождением контактов в масле.

Гасительные камеры продольного и поперечного дутья фирма ДЖИИ фактически стала применять только с 1931–1932 гг. Конструктивное оформление этого типа гасительных камер, устанавливаемых фирмой ДЖИИ в выключателях, значительно отличается от камер, показанных в германском патенте, но принцип действия оставлен без изменения.

Новые конструктивные изменения заключались в том, что нижнюю половину гасительной камеры продольного дутья стали выполнять из текстолита — изолирующего материала, обладающего высокой электрической и механической прочностью. Были изъяты из нижней половины гасительной камеры пластины для радиального направления дутья. Изменились длина промежуточного контакта и величина его хода. Впоследствии, как то было указано выше, в камерах продольного дутья появились устройства для регулирования длины газогенерирующей дуги в зависимости от силы отключаемого тока.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ С ГАШЕНИЕМ ДУГИ СТРУЕЙ МАСЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭНЕРГИИ, ПОДВОДИМОЙ СО СТОРОНЫ

6—1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ранее были рассмотрены история изобретения и пути развития масляных выключателей, у которых деионизация дугового пространства выключателя осуществлялась за счет неорганизованного или организованного воздействия дугогасящей среды под действием энергии, выделяемой самой дугой. Под термическим воздействием дуги образовывалось дутье, что и приводило к деионизации дугового пространства и гашению дуги.

В этих выключателях получалась зависимость дугогасящего действия газомасляных потоков от энергии дуги, выделяемой в процессе ее горения.

При мощных коротких замыканиях сила протекающего через дугу тока велика, и поэтому велико образующееся за счет разложения масла количество газов.

Это в свою очередь создает более сильное воздействие на деионизацию дугового пространства и приводит к более быстрому погасанию дуги. При незначительных величинах отключаемых токов процесс отключения выключателя затягивается, так как энергия дуги недостаточна для создания необходимого воздействия дугогасящей среды на дуговое пространство. Этими обстоятельствами и объясняется различие продолжительности горения дуги при отключении больших и малых токов.

Одно из положительных качеств выключателей с гашением дуги под действием энергии самой дуги – отсутствие перенапряжений в процессе отключения. Это объясняется тем, что процесс отключения в таких выключателях всегда совершается при переходе тока через нулевое значение.

В тридцатых годах был разработан тип маломасляного импульсного выключателя, характерной особенностью которого было то, что давление струи масла создавалось за счет энергии, подводимой со стороны, а не развиваемой самой дугой в процессе ее горения.

Отрицательным качеством этого выключателя является возможность гашения дуги не при переходе тока через нулевое значение, а в моменты, когда ток обрывается принудительно, что особенно часто наблюдается при отключении малых токов.

В этом случае в отключаемой цепи возникают перенапряжения, так как электромагнитная энергия отключаемой цепи переходит в электростатическую, что создает угрозу пробоя изоляции на одном из мест отключаемой системы.

Первые попытки создать масляное дутье в области горения дуги за счет энергии, подводимой со стороны, делались еще в конце прошлого столетия. В дальнейшем изложении будут показаны конструкции выключателей этого типа в порядке последовательности их появления.

6–2 ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ КЛООСА (США)

Первый по времени изобретения импульсный выключатель [рис. 6-1], предложенный в 1898 г. американской фирмой Клооса, получил широкое распространение в США. Выключатель по тому времени обладал значительной мощностью отключения. Он строился для силы тока 300 а и напряжения 2500 в [Л. 6-1].

В баке 1 выключателя на деревянной перегородке 2 укреплены два металлических цилиндра 3, электрически соединенных друг с другом. На дне каждого цилиндра 3 имеется подпружиненный обратный клапан 4, который открывается под давлением масла, когда в цилиндр 3 входит подвижной контакт 5, выполненный в виде поршня плунжерного насоса. Подвижные контакты 5 укреплены на траверсе 6, изготовленной из изолирующего материала. На стенках бака 1 расположены вводы, изолированные от стенок бака фибровыми втулками 7. По контактам 9, укрепленным на металлических стойках 8, скользят подвижные контакты 5.

В процессе отключения выключателя подвижные контакты 5 движутся вверх и создают разрежение в цилиндрах 3, так как подпружиненные клапаны 4 плотно закрыты и не допускают проникновения масла из бака в цилиндры 3.

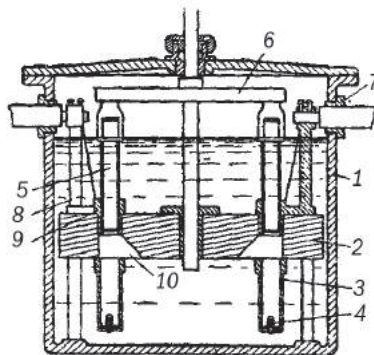


Рис. 6–1 Импульсный масляный выключатель Клооса 300 а, 2500 в (1898 г.)

В момент выхода подвижных контактов 5 из цилиндров 3 в местах разрыва цепи возникают две электрические дуги. Масло под давлением атмосферного воздуха устремляется через каналы 10 в цилиндры 3 к местам разрыва цепи тока и осуществляет гашение электрических дуг.

Этот выключатель является первой попыткой применить струю масла, устремляющуюся к месту горения дуги под действием атмосферного давления.

Разрежение в цилиндрах 3 происходило за счет подведенной извне механической энергии при поднятии вверх подвижных контактов 5.

6-3 ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ БЕНИНГА (ГЕРМАНИЯ)

В 1901 г. В. Бенинг сделал заявку на масляный выключатель с гашением дуги под действием струи масла и получил германской патент [Л. 6-2]. Выключатель был предложен в двух вариантах.

В первом варианте выключателя струя масла вытекала из резервуара в виде воронки под действием силы тяжести самого масла, а во втором под действием давления поршня, помещенного в цилиндрической части неподвижного контакта выключателя.

В первом варианте [рис. 6-2] подвижной контакт 1 выполнен в виде воронки, наполненной маслом. Неподвижный контакт 2 во включенном положении выключателя закрывает отверстие 3 в дне воронки подвижного контакта. При отключении контакт 1 поднимается, и струя масла из воронки под действием силы тяжести самого масла через отверстие 3 направляется к месту возникновения дуги. Подвижной 1 и неподвижный 2 контакты помещены в баке 4, наполненном маслом.

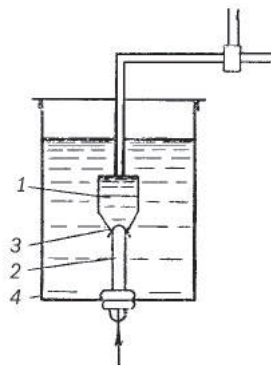


Рис. 6—2 Масляный импульсный выключатель Бензинга с воронкой (1901 г.)

Во втором варианте [рис. 6-3] в баке 4, наполненном маслом, установлен неподвижный контакт 1, выполненный в виде цилиндра, оканчивающегося воронкой с отверстием 5 для выхода масла. В цилиндрической части воронки установлен поршень 2, скрепленный изолирующей тягой 6 с подвижным контактом 3.

При отключении выключателя подвижной контакт 3 вместе с поршнем 2 перемещается вверх и образуется дуга между контактами 1 и 3. Струя масла под давлением поршня 2 через отверстие 5 устремляется вверх к месту трения дуги и тем осуществляет ее гашение. В обоих вариантах выключателя затрачивается механи-

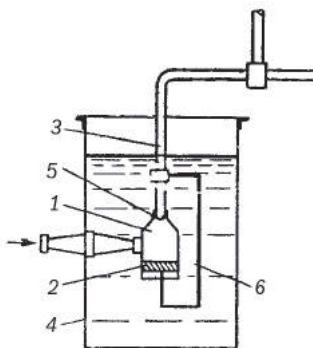


Рис. 6—3 Масляный импульсный выключатель Бензинга с поршнем (1901 г.)

ческая энергия для создания струи масла. В первом варианте энергия затрачивается на подъем воронки, наполненной маслом, а во втором на передвижение поршня в цилиндрической части неподвижного контакта и создание давления масла в воронке неподвижного контакта.

6-4 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ АЭГ

а) Выключатель с коробкой

Фирма АЭГ в 1902 г. предложила масляный выключатель с устройством, показанным на рис. 6-4, где масляный бак снят.

Об этой конструкции масляного выключателя Г. Бенишке сообщил в своем докладе, сделанном 26 мая 1903 г. в Берлине на заседании Электротехнического общества [Л. 6-3]:

«Вводы выключателя 1 помещены на крышке 2. На траверсе 3 укреплена деревянная пластинка или коробка 4. При отключении выключателя масло, находящееся под коробкой 4, выжимается

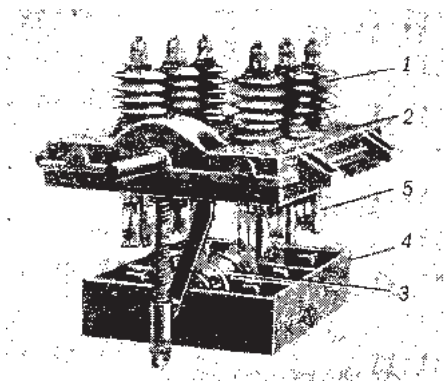


Рис. 6-4 Масляный импульсный выключатель с коробкой на траверсе фирмы АЭГ (1902 г.)

вверх и протекает сильной струей между контактами 5, что гасит дугу раньше, чем она успевала достигнуть длины 2–3 мм ...

Первые испытания с такими трехполюсными выключателями проводились в ноябре 1901 г. Для испытаний был применен 700-киловаттный трехфазный генератор напряжением 6000 в.

В результате проведенных испытаний оказалось, что масляный выключатель хорошо действовал.

С этим выключателем были также произведены опыты отключения коротких замыканий при особо повышенном напряжении и больших мощностях, для чего был использован трехфазный трансформатор мощностью 1100 ква и напряжением 12 000 а, подключенный к трехфазному генератору 4000 ква электростанции Обершпре. Отключения коротких замыканий производились 10 раз, следуя друг за другом, и проходили каждый раз спокойно. Амперметр показывал силу тока около 300 а, что соответствует отключаемой мощности около 60 000 ква...

Осмотр показал, что разрывные контакты незначительно обгорели, а масло почернело».

Здесь следует привести факт, связанный с сообщением Бенишке о новом типе выключателя с пластиной, который подтверждает наличие засекречивания в новом для электротехнических фирм вопросе постройки и конструирования масляных выключателей.

Доклад Бенишке был опубликован в «ETZ» 30 июля 1903 г. в № 31, а в № 40 от 10 октября того же года помещено письмо фирмы «Браун-Бовери и К°», адресованное в редакцию «ETZ».

В этом письме сообщалось:

«В номере 31 от июля дано господином Бенишке описание масляного выключателя, где обращается особое внимание на одно нововведение, благодаря которому происходит циркуляция масла при отключении выключателя.

По сообщению господина доктора Бенишке, первые испытания такого типа выключателя осуществлены фирмой АЭГ в ноябре 1901 г.

Мы сообщаем, что выключатель с таким устройством нами был спроектирован в марте 1901 г., изготовлен в апреле 1901 г. и пущен

в продажу. До сентября 1901 г. поставлено нами 40 таких выключателей для различных установок, принадлежащих Нью-Кастельскому электротехническому обществу».

К письму приложены фотографии этого выключателя, которые помещены в журнале «ETZ» № 40 за 1903 г. на фиг. 37 и 38.

Таким образом, обе фирмы – «Браун-Бовери» и АЭГ – в 1901 г. создали масляные выключатели одной и той же конструкции. При этом фирма «Браун-Бовери» вообще об этих конструкциях ничего не сообщала, а фирма АЭГ сообщила только через два года после их постройки.

б) Выключатель с воронкой

В 1903 г. фирма АЭГ предложила выключатель, у которого гашение дуги осуществлялось струей масла, поступающей к месту разрыва контактов из воронки, укрепленной на подвижном контакте [Л. 6-4].

Неподвижный контакт 1 выключателя [рис. 6-5] укреплен на фарфоровом вводе 2, имеющем изогнутую форму. Подвижной контакт 3 установлен на поворачивающемся валу 4, находящемся в масляном баке 5. Воронка 6 установлена на подвижном контакте 3, снабженном отверстием в месте соприкосновения контактов 3 и 1. При отключении контакт 3 быстро поворачивается вокруг оси 4 и отходит от неподвижного контакта 1. Находящееся в раструбе воронки 6 масло устремляется к месту горения электрической дуги.

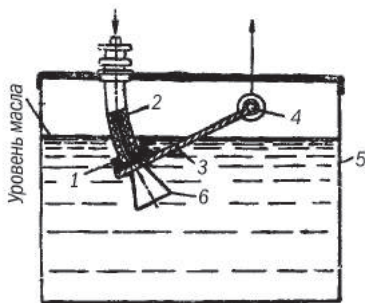


Рис. 6-5 Масляный импульсный выключатель с воронкой на подвижном контакте фирмы АЭГ (1903 г.)

В этом выключателе давление масла создается за счет энергии привода. Быстро отводимый подвижной контакт 3 создает компрессию масла в воронке 6.

в) Выключатель с масляными цилиндрами

Директор Берлинской электрической станции К. Вилькенс предложил в 1907 г. [Л. 6-5] масляный выключатель с гашением дуги струей масла, получающейся под действием давления поршня. Идея, заложенная в конструкцию выключателя, нашла впоследствии применение в современных маломасляных импульсных выключателях [рис. 6-6]. На вводах 1 установлены масляные цилиндры 2, на конце которых помещены неподвижные контакты 3. Деревянные штоки 4 поршней 5 прикреплены к токоведущей траверсе 6, на которой установлены подвижные контакты 7. При отключении под действием пружин 8 поршень 5 выбрасывает масло из цилиндра 2, благодаря чему струя масла гасит возникшую дугу. Этот тип выключателя находился долгое время в эксплуатации на Берлинской электрической станции и показал хорошие результаты при его эксплуатации.

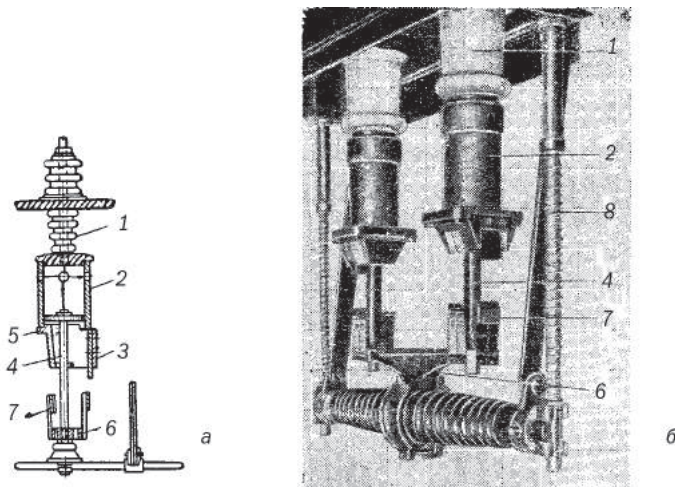


Рис. 6—6 Масляный выключатель Вилькенса с цилиндрами на неподвижных контактах (1907 г.)

6-5 ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ В.И.ИЛЬЧЕНКО (СССР)

В 1928 г. советский изобретатель инженер-технолог В.И.Ильченко подал заявку и получил авторское свидетельство на масляный выключатель с принудительной подачей струи масла к месту образования дуги при расхождении контактов выключателя [Л. 6-6].

В этом выключателе [рис. 6-7] в баке 1, наполненном маслом, установлены на концах вводов неподвижные контакты 2. Подвижные контакты 3 трубчатые, с цилиндрическими раструбами 4 на концах. На дне бака установлены поршнеобразные стаканы 5 из изолирующего материала.

При отключении выключателя траверса 6 перемещается вниз и раструбы 4 надвигаются на стаканы 5. Масло через трубчатые подвижные контакты подается под давлением к месту образования электрических дуг и тем осуществляются быстрая деионизация дугового пространства и отключение цепи. Этот выключатель не был построен. По своей конструкции он имел сходство со вторым вариантом выключателя Бенинга (1901 г.), описанным выше.

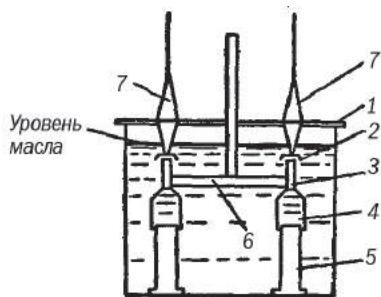


Рис. 6-7 Масляный импульсный выключатель В.И.Ильченко с неподвижными поршнями (1928 г.)

6—6 ИМПУЛЬСНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ ДЖИИ

а) Выключатель на напряжение до 15 кв

Наибольшее распространение импульсные выключатели получили в Америке [Л. 6-7]. Фирма ДЖИИ строила импульсные выключатели с малым объемом масла и принудительным дутьем масла, создаваемым давлением поршня, приводимого в действие приводом при отключении выключателя [рис. 6-8].

В баке 1, наполненном в нижней части маслом, установлен поршень 2, который может перемещаться вниз под действием сильной пружины 3. При освобождении защелки 4 поршень 2 начинает опускаться и давит на находящееся под ним масло.

При достижении надлежащего давления масла под поршнем 2 подвижной контакт 5 поднимается и при повороте рычага 6 под действием пружины 3 займет крайнее верхнее положение. Между неподвижным контактом 7 и подвижным 5 образуется электрическая

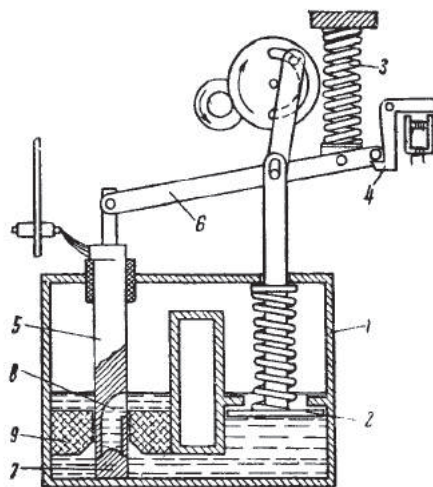


Рис. 6—8 Масляный импульсный выключатель фирмы ДЖИИ с малым объемом масла (1925 г.)

дуга. Масло под давлением поршня 2 устремится в торцовое отверстие 8 подвижного контакта в верхнюю часть бака и быстро гасит образовавшуюся дугу.

Перегородка 9 изготовлена из изолирующего материала, и подвижной контакт 5 в крайнем выключенном положении не выходит за пределы этой перегородки. Этот тип бакового импульсного выключателя был одним из наиболее быстродействующих и применялся на электрических железных дорогах.

б) Выключатель для напряжений до 287 кв, 2500 Мва

Фирма ДЖИИ 14 мая 1931 г. получила в США патент на импульсный маломасляный выключатель [рис. 6-9]. Аналогичный германский патент был получен фирмой АЭГ в 1933 г. [Л. 6-8].

На главном приводном валу 1 установлены кривошипы 2 и 3. Кривошип 2 связан штоком 4 с поршнем 5, перемещающимся в цилиндре 6. Кривошип 3 рычагами 7 связан со штангами 8, осуществляющими разъединение подвижных 9 и неподвижных 10 контактов выключателя.

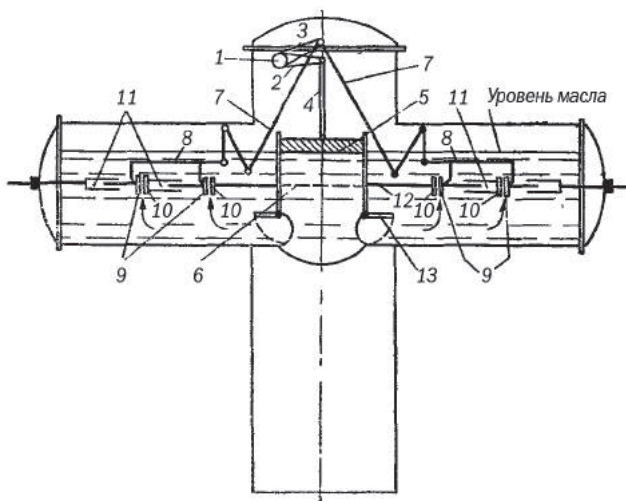


Рис. 6—9 Схема маломасляного импульсного выключателя фирмы ДЖИИ с четырьмя разрывами цепи тока (1931 г.)

Включение подвижного 9 контакта одного места разрыва с неподвижным контактом 10 другого места разрыва достигается при помощи телескопических контактов 11. Электрическое соединение неподвижных контактов 10 левой и правой половин одного полюса выключателя осуществляется при помощи гибкой связи 12. При включении вал 1 вращается приводным механизмом в направлении против часовой стрелки, клапаны 13 закрыты, поршень 5 поднимается в крайнее верхнее положение, и масло заполняет цилиндр 6.

При отключении вал 1 вращается по часовой стрелке. Кривошип 3, воздействуя на рычаги 7, передвигает штанги 8 и тем производит разъединение контактов 9 и 10, между которыми образуются электрические дуги в местах расхождения контактов.

Под действием давления поршня 5 масло из цилиндра 6 устремляется в правую и левую половины выключателя, открывая на своем пути клапаны 13.

Струи масла, направленные соответствующими перегородками поперек горящих электрических дуг, производят интенсивное их охлаждение, что способствует быстрому гашению.

В 1935 г. фирма ДЖИИ построила такого типа импульсный выключатель для напряжения 287 кв с мощностью отключения 2500 Мва с восемью разрывами на каждую фазу [рис. 6-10].

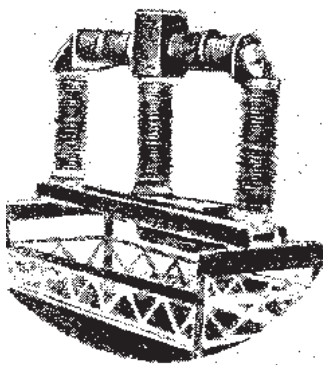


Рис. 6—10 Один полюс маломасляного импульсного выключателя фирмы ДЖИИ на 287 кв, 2500 Мва (1935 г.)

Из опыта с импульсным выключателем было установлено [Л. 6-7], что при давлении поршня на масло с силой $5-6 \text{ кг/см}^2$ получается такой деионизирующий эффект, что обеспечивается гашение дуги при скорости восстанавливающегося напряжения до 3000 в в микросекунду. В импульсном выключателе фирмы ДЖИИ на 287 кв давление масла в канале достигало 10 ат . Среднее время существования дуги составляло $0,54$ периода, и полное время отключения с момента замыкания цепи вспомогательного тока в отключающей катушке было $2,54$ периода при частоте 60 гц или $0,0425 \text{ сек}$.

в) Выключатель с мощностью отключения 10 000 Мва

В 1950 г. фирма ДЖИИ изготовила два импульсных маломасляных выключателя для напряжения 230 кв с мощностью отключения $10\,000 \text{ Мва}$ [Л. 6-9]. Один из выключателей установлен на станции Контра Коста, принадлежащей Тихоокеанской газовой и электрической компании, а второй – на Гренд-Кули-Дэм. На последней установлены 26 импульсных выключателей фирмы ДЖИИ. При испытании один из новых импульсных выключателей отключал мощность $12\,000 \text{ Мва}$, что представляет собой максимальную мощность, которую в то время имела электростанция Гренд-Кули. Расположение масляного цилиндра с поршнем и мощными пружинами на головке опорного изолятора создавало сильные удары при включении и отключении.

Эти удары передавались на тело фарфорового изолятора, что вызывало их повреждение. Впоследствии фирма ДЖИИ отказалась от изготовления маломасляных импульсных выключателей ввиду их большой трудоемкости, а также в связи с созданием бакового импульсного выключателя.

г) Баковый импульсный выключатель

В журнале «El. Engineering» за 1954 г. [Л. 6-10] сообщается, что фирма ДЖИИ в 1954 г. установила мощные баковые масляные выключатели на электростанции компаний Огайо. В сообщении указывается, что фирма еще в 1946 г. построила масляный выключатель

для напряжения 360 кв. Выключатель был с малым объемом масла и выдержал все требующиеся испытания. Однако с того времени взгляды фирмы ДЖИИ на маломасляные выключатели несколько изменились, и фирма находит, что для производственных целей более подходящим является масляный выключатель бакового типа с закрытой гасительной камерой.

Импульсный выключатель такого типа был построен для напряжения 330 кв с мощностью отключения 15 000 Мва при рабочем токе 1600 а [рис. 6-11].

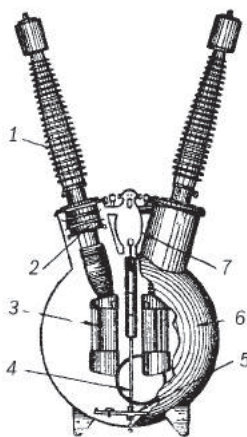


Рис. 6—11 Разрез полюса импульсного выключателя фирмы ДЖИИ с большим объемом масла и чечевицеобразными баками 330 кв, 1500 Мва (1954 г.).
1 – ввод; 2 – трансформатор тока; 3 – дугогасительная камера;
4 – тяга; 5 – траверса; 6 – бак; 7 – кожух приводного механизма

Гасительная камера [рис. 6-12] представляет собой трубу 1, в которой установлены три последовательно включенных комплекта гасительных устройств 2 поперечного дутья.

Для выравнивания напряжения в гасительной камере установлены активные делители восстанавливающегося напряжения 3.

Верхний элемент гасительной камеры содержит подвижной контакт 7 верхнего разрыва и неподвижный контакт 8 следующего за ним нижнего разрыва.

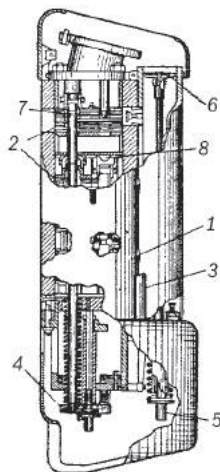


Рис. 6—12 Гасительная камера импульсного выключателя с большим объемом масла (1954 г.)

Контакты последовательных разрывов цепи в каждом элементе соединены электрически. Одновременность разрыва всех трех пар контактов гасительной камеры обеспечивается механической связью.

Замыкание и размыкание контактов гасительной камеры достигаются за счет передвижения подпружиненного стержня 4. При включенном положении стержень 4 под нажимом траверсы, не показанной на рисунке, поднимается вверх и производит замыкание контактов. Одновременно траверса нажимает на подпружиненный шток 5 поршня 6 и перемещает его в крайнее верхнее положение. При отключении траверса опускается вниз, освобождая стержень 4 и шток 5. Под действием пружин размыкаются контакты в гасительной камере и загораются электрические дуги, которые создают поперечное газомасляное дутье в местах разрыва цепи тока.

Подпружиненный поршень 6 во все время гашения дуги не допускает снижения давления в гасительной камере ниже заданного ($2-3 \text{ атм}$). Время отключения составляет три периода, а время повторного включения 25 периодов при частоте 60 *Гц*.

После окончания гашения дуги внутри дугогасительной камеры под действием газомасляного дутья в открытом разрыве обрывается ток, протекающий через активные делители напряжения 3.

Каждый полюс выключателя имеет собственный включающий механизм. Баки выключателя выполнены чечевицеобразной формы, что позволяло уменьшить объем масла и снизить общий вес выключателя. Многочисленные испытания этого выключателя были проведены в более тяжелых условиях, чем те, которые требовались техническими условиями заказчика.

В настоящее время в связи со значительным развитием в США сети 330 кВ встал вопрос об изготовлении выключателей на еще большую отключаемую мощность. Проведенные фирмой исследования с выключателем с отключаемой мощностью 15 000 Мва показали, что нет особых затруднений в изготовлении выключателя с отключаемой мощностью 25 000 Мва. Такой выключатель с мощностью отключения 25 000 Мва был изготовлен фирмой ДЖИИ в 1955 г.

6—7 ИМПУЛЬСНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ФИРМЫ «ДЕЛЛЬ» (ФРАНЦИЯ)

Французское конструкторское электротехническое бюро «Делль» за период с 1933 по 1935 г. получило ряд патентов на три варианта импульсного маломасляного выключателя. Все эти три варианта имели общую основную идею создания давления масла в трубчатом подвижном контакте с установкой в нем неподвижного поршня [Л. 6-11].

а) Первый вариант

Внутри фарфорового изолятора 1 гасительной камеры с одним карманом для масла [рис. 6-13] помещен цилиндр 2 из изолирующего

материала. Неподвижный контакт 3 установлен на нижней крышке изолятора. Подвижной контакт 4 представляет собой полую металлическую трубку, внутри которой помещен поршень 5, укрепленный неподвижно на стержне 6. Ток к подвижному контакту 4 подводится скользящими контактами 7. В цилиндре 2 установлена гасительная камера 8 с попеременно суживающимся и расширяющимся сечением. При отключении подвижный трубчатый контакт 4 поднимается, образуя дугу между неподвижным 3 и подвижным 4 контактами. Одновременно поршень 5 выталкивает масло из трубы подвижного контакта 4, и оно попадает непосредственно в область горения дуги. Камера 8 благодаря наличию сужений действует как простая гасительная камера и своим дутьем помогает гашению дуги.

Такие маслоструйные выключатели в 1934 г. выпускала швейцарская фирма «Шпрехер и Шу» по лицензиям фирмы «Делль».

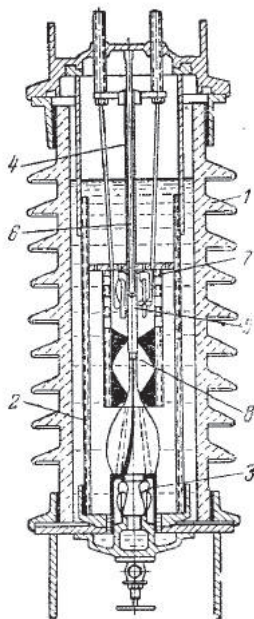


Рис. 6—13 Гасительная камера импульсного масляного выключателя фирмы «Делль» с одним карманом для масла (1933 г.)

б) Второй вариант

Второй вариант [Л. 6-12]. представляет собой гасительное устройство импульсного масляного выключателя с одним карманом для масла и расширительной камерой [рис. 6-14]. По принципу действия этот выключатель похож на первый вариант. В полном цилиндре 2 установлена дугогасительная камера 1 с неподвижным контактом 3 на дне. В верхней части камеры 1 сделаны сужения, а в нижней части отверстия 4. В верхней части камеры 1 сделаны сужения, а в нижней части отверстия 4.

Отличие этого выключателя от первого варианта заключается в том, что масло из трубы подвижного контакта 5 при выключении

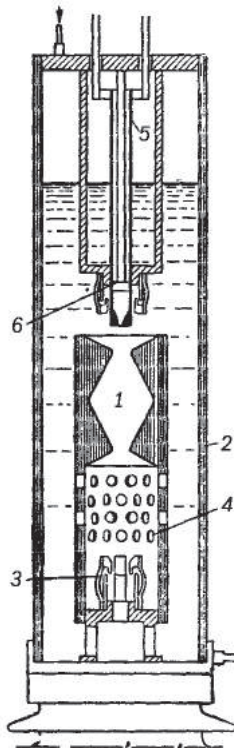


Рис. 6—14 Гасительное устройство импульсного масляного выключателя фирмы «Дель» с одним карманом для масла и расширительной камерой (1934 г.)

выталкивается поршнем 6 вначале в нижнюю часть камеры 1, где расположены отверстия 4. За время движения конца подвижного контакта 5 на его пути от неподвижного контакта 3 до верхней части камеры 1 этот участок камеры действует по принципу расширительной камеры, так как образовавшееся давление создает радиальное дутье по отношению к стволу электрической дуги. Когда конец подвижного контакта 5 окажется в верхней части гасительной камеры 1, тогда гашение дуги осуществляется, как в выключателе с простой гасительной камерой.

Такое совмещение в одной гасительной камере двух гасительных устройств, т. е. простого масляного дутья и добавочно радиального дутья за счет расширения газов в нижней части гасительной камеры, создавало предпосылки для эффективного гашения дуги, что подтверждается проведенными фирмой «Делль» испытаниями.

в) Третий вариант

Гасительное устройство импульсного масляного выключателя с расширительной камерой и несколькими карманами для масла [Л. 6-13]. Этот тип выключателя отличается от первых двух деталями устройства гасительной камеры. По существу, этот вариант камеры имеет не одну, а две простые гасительные камеры за счет трех сужений в трубе гасительной камеры и две расширительные камеры.

На указанном принципе действия фирма «Делль» в 1937 г. построила один полюс выключателя для напряжения 500 кВ с мощностью отключения 5000 Мва в трехполюсном исполнении [рис. 6-16]. Выключатель имеет четыре гасительные камеры 1, в которых электрическая дуга гасится потоком газа и масла в течение 0,05 сек. Камеры установлены на двух колоннах фарфоровых изоляторов 2. После погасания дуги два наружных разъединителя 3 автоматически отсоединяют выключатель от сети. Полное время действия выключателя составляет около 0,2 сек. В гасительных камерах выключателя содержится 200 л масла. Высота выключателя 12 м. Выключатели для 220 кВ, снабженные двумя гасительными камерами, изготовлены фирмой «Делль» для Парижской линии передачи.

В дальнейшем фирма «Делль» изменила конструкцию гасительной камеры, увеличив число карманов для масла. Для повышения интенсивности продольного дутья в процессе отключения выключателя значительно увеличено давление парогазовой смеси в гасительной камере путем уменьшения зазоров между подвижным контактом и выходным отверстием.

Гасительная камера выполнена литой из эпоксидной смолы и может выдерживать давление до 300 ат. Выключатель выполняется без внешнего отделителя. Необходимое расстояние между контактами при отключенном положении выключателя создается достаточно большим ходом подвижных контактов.

В журнале «ETZ» № 4 за 1953 г. помещено объявление швейцарской фирмы «Шпрехер и Шу» о том, что ею изготовлены малообъемные

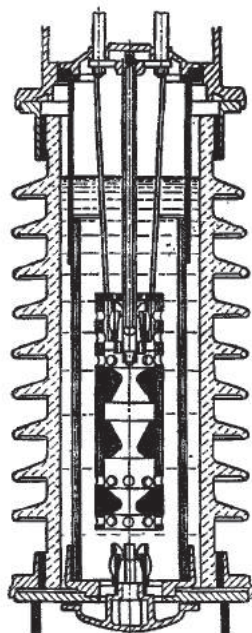


Рис. 6—15 Гасительное устройство импульсного масляного выключателя фирмы «Делль» с расширительной камерой и несколькими карманами для масла (1935 г.)

масляные выключатели на 380 кв с мощностью отключения 8600 Мва, которые в 1952 г. были установлены в Швеции [рис. 6-17]. Каждый полюс выключателя имеет две гасительные камеры, которые создают два разрыва цепи тока.

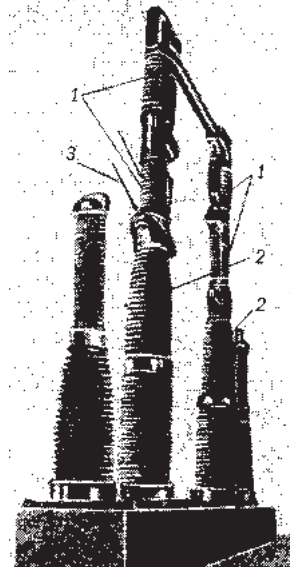


Рис. 6—16 Один полюс импульсного масляного выключателя фирмы «Делль» на 500 кв, 5000 Мва (1937 г.)

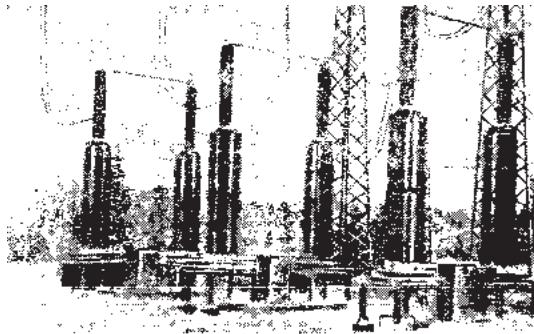


Рис. 6—17 Импульсный масляный выключатель фирмы «Шпрехер и Шу» 380 кв, 8000 Мва (1952 г.)

Каждая гасительная камера выполнена из эпоксидной смолы и установлена на трех колоннах опорных изоляторов, расположенных по вершинам треугольника. Между тремя опорными колоннами находится поворотная колонна из фарфоровых со сплошным телом изоляторов, служащая для привода в движение подвижного контакта. Механизм для поворота обеих колонн помещен в нижней раме выключателя. Для предотвращения образования электрической дуги на внутренней поверхности опорных изоляторов, что может иметь место при резком понижении температуры воздуха и конденсации влаги на внутренней поверхности изоляторов, внутренние полости изоляторов снабжены поперечными фарфоровыми перегородками.

Выключатель не имеет внешнего отъединителя. Для заполнения гасительной камеры одного полюса выключателя требуется 800 кг трансформаторного масла.

Фирма «Шпрехер и Шу» не указывает, что эти выключатели строятся по разработкам, выполненным фирмой «Делль», хотя по внешнему виду они весьма похожи на этот тип выключателя. Подтверждением правильности предположения, что выключатели фирмы «Шпрехер и Шу» изготовлены по разработкам фирмы «Делль», служит статья, помещенная в журнале «El. Engin» за 1953 г. [Л. 6-14]. В этой статье, посвященной результатам испытания выключателей на первой в мире линии передачи 380 кВ в Швеции, говорится, что испытываемые масляные выключатели, изготовленные фирмой «Шпрехер и Шу», «разработаны фирмой „Делль“, и поэтому проведенные испытания одновременно являлись показом результатов по испытанию выключателей фирмы „Делль“».

Результаты сравнительных испытаний масляных выключателей на 380 кВ фирмы «Шпрехер и Шу» и аналогичных выключателей с гашением дуги сжатым воздухом, поставленных фирмами АСЭА (Швеция) и «Браун-Бовери» (Швейцария), показали, что при отключении ненагруженной линии передачи протяженностью 296 миль (505 км) перенапряжения составляли у маломасляных выключателей 170–250 % нормального напряжения, а у воздушных – 115–130 %.

Появление больших перенапряжений при отключении масляным выключателем емкостных токов ненагруженной длинной линии электропередачи, по-видимому, объясняется тем, что выключатели с гашением дуги сжатым воздухом имели шунтирующие сопротивления, а у выключателя фирмы «Шпрехер и Шу» их не было.

г) Баковый импульсный выключатель

Французская фирма «Делль» предложила в 1936 г. импульсный масляный выключатель с поперечно-продольным масляным дутьем и со встроенным сопротивлением, автоматически включающимся последовательно в цепь в процессе отключения выключателя [рис. 6-18]. На этот выключатель фирма «Делль» получила в 1936 г. германский патент [Л. 6-15].

В баке 1, наполненном маслом, установлен неподвижный контакт 2. Подвижной контакт 3 проходит через фарфоровый ввод.

При отключении выключателя между контактами 2 и 3 возникает электрическая дуга и одновременно под действием поршня 4, перемещающегося в цилиндре, создается давление масла в трубе 5.

Сопло на конце трубы 5 входит в бак 1 масляного выключателя и установлено так, чтобы выходящая струя масла создавала поперечное масляное дутье по отношению к электрической дуге, горящей между контактами 2 и 3.

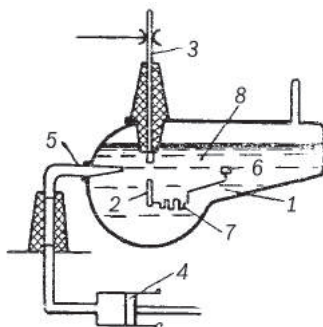


Рис. 6—18 Один полюс бакового импульсного масляного выключателя фирмы «Делль» (1936 г.)

Под действием струи масла электрическая дуга удлиняется и перекидывается на вспомогательный контакт *б*, включая тем самым сопротивление *7* и шунтируя дугу между главными контактами.

При очередном переходе через нулевое значение тока дуга между контактами *2* и *3* гаснет. Продолжающаяся гореть дуга между контактами *3* и *б* с уменьшенной силой тока гасится продольным дутьем струи масла, выходящего из сопла трубы *5*.

Масляные выключатели такой конструкции не нашли применения.

6—8 ИМПУЛЬСНЫЙ БАКОВЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ФИРМЫ «ВЕСТИНГАУЗ»

В майском номере журнала «El. Engineering» за 1954 г. [Л. 6-16] описана конструкция масляного трехфазного выключателя, разработанного фирмой «Вестингауз» для напряжения 330 кв , с отключающей мощностью $25\,000 \text{ Мва}$ [рис. 6-19], отключаемый ток $44\,000 \text{ а}$ при напряжении 330 кв , а при пониженном напряжении $46\,000 \text{ а}$; мгновенный ток $69\,000 \text{ а}$ и при четырехсекундном испытании $46\,000 \text{ а}$; время отключения не свыше трех периодов при всех токах; время повторного включения 15 периодов.

Выключатель выполнен трехбаковым с эллиптическим сечением бака и полусферическим дном. Общий объем масла в трех баках равен $10\,500$ галлонов, или 36 т .

Вводы применены конденсаторного типа с масляным наполнением. Гасительные устройства укреплены на нижних концах вводов [рис. 6-20].

В закрытой трубе *1* из изолирующего материала установлены четыре щелевые камеры *2*. Вверху трубы *1* установлен подпружиненный поршень *3*, под действием которого масло подается к местам

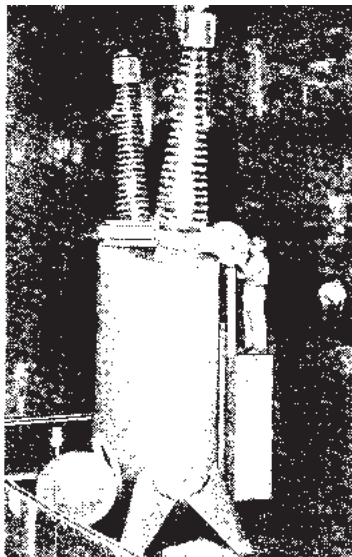


Рис. 6–19 Один полюс импульсного масляного выключателя бакового типа фирмы «Вестингауз» 330 кв, 25 000 Мва (1954 г.)

расхождения контактов 4 при отключении малых рабочих или емкостных токов. Основное давление масла при отключении тока короткого замыкания или нормальных рабочих токов создается за счет термического действия электрических дуг, образующихся в местах расхождения контактов 4.

Замыкание и размыкание контактов в местах разрыва цепи тока гасительной камеры осуществляется механически путем перемещения подпружиненной рамки 6. Последняя поднимается или опускается под нажимом траверсы 5.

Особенностью гасительного устройства этого выключателя являются съемные пластинчатые блоки 2 отдельных щелевых камер, выполненных из фибровых пластин с несколькими каналами. В процессе гашения дуга обдувается маслом, поступающим по вертикальным каналам, и выбрасывается через щели пластинчатых блоков 2. Дугогасительное устройство этого выключателя отличается простотой исполнения и малым выделением энергии при гашении дуги.

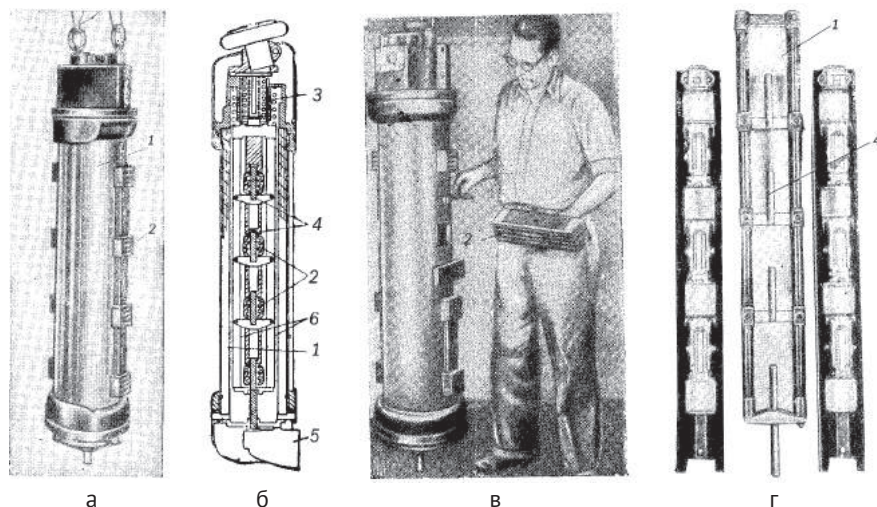


Рис. 6—20 Гасительное устройство импульсного масляного выключателя бакового типа фирмы «Вестингауз» (1954 г.)
а — внешний вид гасительного устройства; б — разрез; в — выемка целевой камеры; г — внутреннее устройство гасительной камеры

Контакты 4 покрыты серебром, что обеспечивает их хорошую работу при длительном токе 2000 а.

У каждой гасительной камеры установлены нелинейные сопротивления, выполненные в виде угольных пропитанных блоков.

Выключатель был испытан в лабораторных условиях. Испытания выключателя производились по частям, т. е. испытывалась часть щелевых камер, включенных последовательно, а остальные щелевые камеры на время испытания закорачивались.

Путем экстраполяции была определена отключающая способность выключателя. Здесь необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что рассмотренный выключатель по принципу гашения дуги является комбинированным. В нем используется для создания давления дугогасящей среды энергия, развиваемая самой дугой. Энергия привода используется для сжатия пружины поршня и служит для поддержания давления в гасительной камере при переходе тока через нулевые значения и гашения малых токов.

В 1956 г. выключатели этого типа были испытаны на подстанции Дирборн в штате Огайо при отключении участков линии передачи длиной 67,5, 175 и 298 км при напряжении 330 кв. Испытания показали, что максимальное время отключения не превышало 2,45 периода (60 гц), а минимальное составляло 1,72 периода. Выключатели работали устойчиво, и случаев повторного зажигания дуги и перенапряжений не наблюдалось. Ревизия контактов у выключателя требовала затраты времени менее 1 ч.

Здесь следует напомнить, что фирма «Вестингауз» в 1946 г. впервые построила баковый выключатель с несколькими разрывами цепи тока на полюс, снабженный подпружиненным поршнем. Этот выключатель имел мощность отключения 4370 Мва при напряжении 230 кв. Испытания этого выключателя на отключающую мощность были произведены на станции Гренд-Кули, как то сообщалось в № 11 журнала «El. Engineering» за 1946 г.

6–9 СУЩНОСТЬ И НОВИЗНА БАКОВЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ФИРМ «ВЕСТИНГАУЗ» И ДЖИИ

При сопоставлении конструкции баковых импульсных масляных выключателей фирм «Вестингауз» и ДЖИИ видно, что эти выключатели по принципу действия совершенно аналогичны и отличаются только по конструктивному выполнению.

Выключатели обеих фирм имеют закрытые гасительные камеры с многократным разрывом цепи тока, где основное давление маслогазовой смеси создается за счет энергии горящих дуг. Гасительная камера является общей для всех мест разрыва цепи тока,

что напоминает так называемый «выключатель с семейной камерой», описание которого приведено в гл. 5.

Эти выключатели называют импульсными. Данное название не вполне соответствует конструкции этих выключателей. Принято считать импульсным выключателем такой выключатель, где гашение дуги осуществляется полностью только за счет струи масла, подаваемого под давлением от постороннего источника энергии, а не за счет энергии самой горящей дуги. Таковы были маломасляные импульсные выключатели, которые изготовлялись фирмой ДЖИИ.

Там давление масла создавалось подпружиненным поршнем, кинематически связанным с приводом выключателя.

В баковых импульсных масляных выключателях обеих фирм также имеются подпружиненные поршни, создающие давление масла. Заводка пружин осуществляется за счет энергии привода. Но наряду с поршнями установлены гасительные камеры, в которых давление масла возникает за счет энергии горящих дуг, образующихся при расхождении контактов выключателя и развивающих достаточно высокие гасящие свойства при отключении больших токов и без воздействия подпружиненного поршня. Подпружиненные поршни у обеих фирм имеют небольшие диаметры и малое давление пружин, поэтому они при своем перемещении не могут обеспечить постоянной подачи масла к местам горения дуги при больших токах, так как давление в гасительной камере значительно больше, чем натяжение пружин поршня. Процесс отключения выключателя продолжается около трех периодов (60 *Гц*). Роль подпружиненного поршня особенно велика при отключении небольших токов или зарядных токов линий передач большой протяженности. В этом случае энергия горящих дуг в гасительных камерах не обеспечивает нужного давления масла и тогда поддержание требуемого давления масла в закрытом гасительном устройстве создается энергией сжатой пружины, давящей на поршень.

При отключении токов короткого замыкания масло из-под поршня освобождает гасительную камеру от газов и подготавливает в течение долей секунды к следующей операции отключения.

Если рассмотреть новую конструкцию гасительного устройства, примененного американскими фирмами, то следует указать на следующие моменты:

1. Применение закрытого гасительного устройства в баковом масляном выключателе было выполнено фирмой «Вестингауз» в 1935 г. в выключателе для напряжения 287 кВ с отключаемой мощностью 2500 Мва.

Отличие заключается в том, что выключатель имел гасительное устройство с узкой щелью, и гасительная камера была подразделена на изолированные друг от друга отсеки по числу гасительных устройств. В современном баковом импульсном выключателе гасительная камера общая для всех мест разрывов цепи тока и в ней образуется единое давление газомасляной смеси, создаваемое одновременно горящими дугами.

2. Применение подпружиненного поршня в гасительной камере [рис. 6-21] было в 1931 г. запатентовано в Германии «Саксенверкским осветительным и силовым акционерным обществом» [Л. 6-17].

На нижнем конце ввода 1 установлена гасительная камера 2, выполненная из изолирующего материала. Неподвижный контакт 3 охватывает втулка 4, снабженная заплечиком 5. В кольцевом пространстве между стенками гасительной камеры 2 и телом втулки 4 помещен

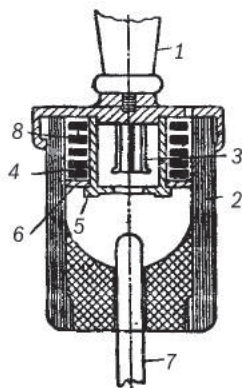


Рис. 6–21 Гасительная камера с подпружиненным поршнем (1931 г.)

кольцевой подпружиненный поршень 6, опирающийся на заплечики 5. При образовании дуги между подвижным 7 и неподвижным 3 контактами в процессе отключения масляного выключателя создается давление газов в гасительной камере 2. При амплитудной величине тока дуга обладает максимальной энергией и соответственно получается наивысшее давление в камере. Поршень 6 поднимается вверх и сжимает плоскую пружину 8, снижая тем самым давление в камере. В моменты перехода тока через нулевое значение давление в камере 2 падает и поршень 6 под действием плоской пружины 8 опускается вниз и регулирует этим давление в камере 2 в течение процесса отключения и включения.

Отличие в применении подпружиненного поршня в конструкциях импульсных баковых выключателей фирм «Вестингауз» и ДЖИИ по сравнению с германским патентом № 521638 заключается в том, что в масляном выключателе Саксенверкского осветительного общества поднятие подпружиненного поршня осуществляется за счет энергии самой дуги, а в американских импульсных баковых выключателях – за счет энергии привода.

Здесь следует отметить, что предложение устанавливать в щелевой гасительной камере подпружиненный поршень с его отжатием в процессе включения выключателя за счет энергии привода было сделано впервые в СССР М.М.Акодисом.

В заявке № 5226/307847 1937 г. Акодис предложил щелевую гасительную камеру поперечного дутья с многократным разрывом цепи тока и подпружиненным поршнем, который, как сказано в этой заявке, «на некоторую... часть своего пути взводится включающим механизмом, что достаточно для гашения дуги при малых токах. При больших токах давление, создаваемое дугой, дополнительно взводит поршень, что увеличивает усилие пружин».

Спустя 9 лет (1946 г.) Акодис вновь возвращается к этой конструкции дугогасительной камеры. По этим обеим заявкам Акодису не было выдано авторского свидетельства.

В 1947 г. Акодис третий раз подает заявку на гасительную камеру с несколькими гасящими и гасимыми дугами, образующимися

одновременно в процессе расхождения контактов выключателя при его отключении. Эта гасительная камера не имела подпружиненного поршня, но по своей конструкции повторяла один из вариантов гасительной камеры, показанной в его заявке от 1937 г.

В последней заявке Акодис ничего не говорил об установке в гасительной камере подпружиненного поршня, и по этой заявке было выдано авторское свидетельство № 77229 с приоритетом от 1937 г., о чем уже было сказано в гл. 5.

Как видно из приведенных данных, идея создания жидкостного выключателя с гасительной камерой поперечного дутья с несколькими одновременно расходящимися контактами и подпружиненным поршнем, частично взводимым при помощи механизма привода выключателя в процессе включения, была оформлена Акодисом заявкой в 1937 г., т. е. на 8 лет раньше, чем эта конструкция нашла применение у фирмы «Вестингауз» в США.

В области изобретательства часто можно наблюдать факты, что сделанное в какой-либо стране изобретение не находит применения. В этом случае о нем забывают. Так было в России с изобретением в 1763 г. Ползуновым универсальной паровой машины. Так было в Италии с изобретением в 1860 г. Пачинотти электродвигателя с кольцевым якорем.

Кроме того, на основе изучения истории изобретательства можно установить, что если потребность в каком-либо изобретении назрела и пути его осуществления подготовлены общим развитием техники, то такое изобретение обязательно будет сделано. При этом такое изобретение часто делается совершенно самостоятельно и одновременно несколькими лицами в разных странах.

Примером такого одновременного изобретения было создание камеры продольного дутья в СССР Егоровым и в США фирмой ДЖИИ. Из приведенных в книге примеров по развитию выключателя высокого напряжения можно видеть справедливость высказывания К. Маркса относительно коллективного творчества в области изобретательства. По этому вопросу К. Маркс писал: «Критическая история технологии вообще показала бы, как мало какое бы не было

изобретение XVIII столетия принадлежит тому или иному отдельному лицу» [К.Маркс, Капитал, т. I, 1956 г., стр. 378]. Правильность высказывания К.Маркса о коллективной работе целого ряда лиц при создании какой-либо новой конструкции верно не только по отношению к изобретателям XVIII столетия, но остается в силе и для развития техники в последующие периоды.

6—10 НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЙ 380 КВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В ШВЕЦИИ

В журнале «El. Engin» за 1953 г. [Л. 6-14] сообщаются некоторые данные относительно испытаний 380 кв выключателей, установленных в 1952 г. в Швеции на линии электропередачи Гарспронгет — Гальсберг.

На этой линии передачи было установлено 32 выключателя, изготовленных пятью различными фирмами. Из них 26 выключателей с гашением дуги сжатым воздухом трех типов и шесть масляных выключателей с малым объемом масла.

Три типа выключателей были подвергнуты испытанию, а именно:

- 1) Фирмы АСЭА, установившей выключатели с гашением дуги сжатым воздухом на 1000 а, 350 кв с мощностью отключения 8000 Мва. Выключатель с девятью гасительными камерами на полюс, снабженный нелинейными шунтирующими сопротивлениями и активными делителями напряжения.
- 2) Фирмы «Браун-Бовери», поставившей выключатели с гашением дуги сжатым воздухом на 1000 а, 350 кв с мощностью отключения 7500 Мва. Выключатель имеет десять разрывов

на полюс и снабжен активным и реактивным делителями восстанавливающегося напряжения.

- 3) Фирмы «Шпрехер и Шу», изготовившей и установившей маломаляные выключатели, выполненные по разработкам французской фирмы «Делль». Выключатель имеет две гасительные камеры на полюс и рассчитан на ток 1000 а, 350 кВ с мощностью отключения 7500 Мва и не имеет шунтирующих сопротивлений и отъединителей.

Испытание выключателей проводилось в следующих условиях:

- 1) Отключение ненагруженной линии длиной 500 км при напряжении в линии 600 кВ.
- 2) Отключение ненагруженного трансформатора мощностью 300 000 кВа при напряжении 420 кВ.
- 3) Отключение трансформатора с реактивной нагрузкой 40 000 и 180 000 кВа при напряжении 420 кВ.

В табл. 6-1 приведены верхние пределы перенапряжений, которые наблюдались в системе при отключениях различными типами выключателей.

Таблица 6-1

Вид отключения	Выключатели	
	С гашением дуги сжатым воздухом	Масляные с малым объемом масла
	Перенапряжения сверх амплитуды фазного напряжения	
Отключение:		
ненагруженной линии передачи	1,3 раза	2,4 раза
ненагруженной линии с ненагруженным трансформатором	1,5 раза	2,3 раза
нагруженной линии с трансформатором и реактором	1,5 раза	1,7 раза
ненагруженного трансформатора	1,7 раза	1,5 раза
трансформатора с индуктивной нагрузкой	2,1 раза	2,4 раза

6—11 ДЕЛИТЕЛИ ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ С МНОГОКРАТНЫМ РАЗРЫВОМ ЦЕПИ ТОКА

а) Общие сведения

В первых выключателях высокого напряжения с многократным разрывом цепи тока для выравнивания восстанавливающегося напряжения в местах разрыва цепи тока применялись электростатические экраны. С электростатическими экранами были построены в 1905 г. маломасляные импульсные выключатели фирмы ДЖИИ и баковые выключатели с гасительными камерами фирмы «Вестингауз» для напряжения 287 кВ.

Встроенные в баковые выключатели фирмы «Вестингауз» сопротивления преследовали цель уменьшения величины отключаемого тока в момент его разрыва и одновременно являлись обмотками катушек, создающих магнитное дутье при перемещении электрической дуги в спиральных каналах гасительных камер.

Современные выключатели с многократным разрывом цепи тока чаще изготавливаются с активными делителями восстанавливающегося напряжения, а иногда дополнительно снабжаются реактивными делителями напряжения. Так, например, фирма «Браун-Бовери» в 1952 г. установила оба вида устройств в своих выключателях, изготовленных для шведской линии электропередачи на 380 кВ.

Для той же линии шведская фирма АСЭА изготовила выключатели с девятью разрывами на полюс и установила в них активные делители напряжения.

Делители напряжения играют важную роль в современной отключающей аппаратуре, работающей на принципе многократного разрыва цепи тока.

Интересно выявить, кем и когда были предложены активные делители напряжения в выключателях с большим числом

одновременно расходящихся контактов при отключении выключателя.

При просмотре выданных в Советском Союзе авторских свидетельств было обнаружено, что применение активных делителей напряжения в выключателях было предложено в Советском Союзе Г.Л.Эпштейном 17 марта 1941 г. и в Германии фирмой «Браун-Бовери» в 1940 г.

б) Предложение Г.Л.Эпштейна

Г.Л.Эпштейн 17 марта 1941 г. сделал заявку и 31 января 1944 г. получил авторское свидетельство № 63027 на «Устройство для размыкания одно- и многофазного тока».

В этом авторском свидетельстве указано, что «Предметом... изобретения является устройство для размыкания одно- и многофазного тока с многократными разрывами дуги..., отличающееся тем, что контакты многократной системы с целью подачи на них в момент размыкания цепи напряжения определенной величины шунтированы сопротивлениями, включенными последовательно друг за другом и присоединенными к сети со стороны источника питания установки».

В этом устройстве [рис. 6-22] параллельно местам разрыва цепи 1 подключены шунтирующие активные сопротивления 2, являющиеся делителями напряжения. Привод 3 служит для перемещения подвижных контактов 4 выключателя.

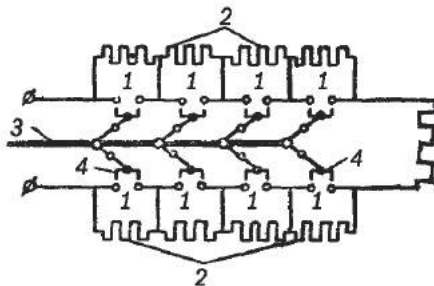


Рис. 6–22 Схема активного делителя напряжения Г.Л.Эпштейна (1941 г.)

Как следует из этого авторского свидетельства, предложение устанавливать в выключателях высокого напряжения с многократным разрывом цепи тока выравнивающие сопротивления было сделано в Советском Союзе и было признано изобретением, что подтверждено фактом выдачи авторского свидетельства.

в) Предложение фирмы «Браун-Бовери»

Дальнейшие изыскания показали, что аналогичное предложение было сделано швейцарской фирмой «Браун-Бовери» 23 июля 1940 г. и защищено германским патентом № 726441, выданным 14 октября 1942 г. (изобретатель Ганс Томмен).

В описании изобретения в германском патенте указывается, что фирма «Браун-Бовери» предложила колонковый выключатель с гашением дуги сжатым воздухом. Гасительная камера выключателя имела большое число мест разрыва цепи тока [рис. 6-23].

На резервуаре 1 со сжатым воздухом установлен опорный изолятор 2, на котором помещена гасительная камера 3, выполненная с пятью или более местами разрыва цепи тока. Отдельные элементы этой гасительной камеры скреплены стяжными колоннами 4 и 5 из изолирующего материала. Далее указывается, что для выравнивания напряжения между местами разрыва цепи тока стяжные колонны 4 и 5 следует использовать для помещения в них последовательно включенных конденсаторов 6, как то показано на рисунке справа, или активных сопротивлений 7, как то изображено на рисунке слева. Конденсаторы и сопротивления подключены последовательно к сети и от них сделаны ответвления для шунтирования мест разрывов цепи тока. По этой заявке фирме «Браун-Бовери» был выдан германский патент, причем указано, что новизна предложения заключается в том, что активный и реактивный делители напряжения встроены в стяжные колонны 4 и 5. Сам же принцип деления напряжения при помощи активных и реактивных делителей считается известным.

Следует признать, что фирма «Браун-Бовери» сделала заявку на получение патента почти на девять месяцев раньше, чем Г.Л.Эпштейн.

Однако германский патент был выдан только 14 октября 1942 г., т. е. на семь месяцев позже подачи заявки Г.Л.Эпштейна. До момента публикации патента рассмотрение заявки производится в порядке, не подлежащем оглашению. Поэтому ни Г.Л.Эпштейн, ни Патентное управление Советского Союза не могли знать о том, что в Германском управлении рассматривается аналогичная заявка. Этим и объясняется факт выдачи в Советском Союзе авторского свидетельства, а в Германии патента на одно и то же изобретение.

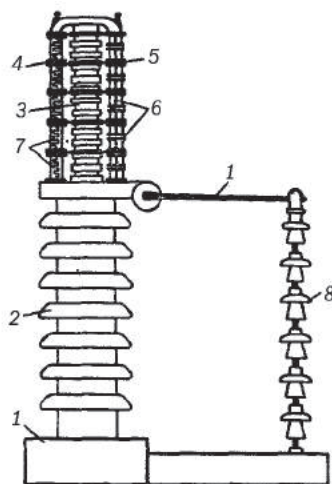


Рис. 6–23 Выключатель колонкового типа фирмы «Браун-Бовери» с реактивным и активным делителями восстанавливающегося напряжения (1940 г.)

Несмотря на то, что Г.Л.Эпштейн по моменту подачи своей заявки имеет более поздний приоритет, все же в данном случае надлежит считать авторами изобретения как фирму «Браун-Бовери», так и Г.Л.Эпштейна. Такой вывод правомерен потому, что оба изобретения не только совпадают по существу, но и действительно были сделаны независимо друг от друга, как то видно из приведенных материалов.

Здесь следует добавочно отметить, что предложение Г.Л.Эпштейна в части установки активных делителей напряжения шире, чем пред-

ложение фирмы «Браун-Бовери». По патентной формуле Г.Л.Эпштейна речь идет не только о выравнивании восстанавливающихся напряжений в отдельных местах разрыва цепи тока, но в установлении «определенной» величины восстанавливающегося напряжения в любом месте разрыва цепи тока.

Это новое качество, присущее изобретению Г.Л.Эпштейна, несомненно, является существенным отличием от предложения фирмы «Браун-Бовери», защищенного германским патентом.

Предложения, развитые в указанных выше патентах фирмы «Браун-Бовери» и Г.Л.Эпштейна, представляют, несомненно, определенную крупную веху на пути прогресса выключателестроения. Наличие активных делителей напряжения для каждого из мест разрыва породило в дальнейшем исключительно полезную идею о возможности построения выключателей для любого напряжения на базе сочетания единообразных конструкций мест разрыва дуги. Эта тенденция нашла исключительно широкое применение, как можно видеть на примере продукции ряда аппаратостроительных фирм, изготавливающих выключатели для напряжений от 45 до 400 *кв* путем постепенного увеличения числа основных элементов (узлов), применяемых для указанного диапазона напряжений в количестве от 1 до 12 на полюс с соответствующим числом газоподводов и газотводов. Этот же принцип позволил исходить при расчете мощностей отключения из учета таковой лишь для одного из элементов системы выключения и установить полную мощность отключения комплексного выключателя пропорциональной числу элементов, сочетаемых в выключателе, на то или иное напряжение. Этим последним обстоятельством оказалось возможным воспользоваться при установлении испытательного процесса, столь сложного для комплексного выключателя высокого напряжения с большими величинами мощностей выключения.

Примечание. При рассмотрении вопроса о выдаче патента на применение активных сопротивлений для деления восстанавливающегося напряжения в выключателях с многократным разрывом

цепи тока могло возникнуть сомнение: следует ли рассматривать это предложение изобретением.

Активные делители напряжения были известны и применялись в вентильных разрядниках задолго до подачи заявок фирмой «Браун-Бовери» и Г.Л.Эпштейном.

Практически признается, что в тех случаях, когда перенос известного способа из одной области техники в другую новым путем разрешает поставленную задачу, – такой перенос рассматривается как изобретение.

Правильность этого положения подтверждается фактами выдачи патента в Германии и авторского свидетельства в СССР. Особо следует отметить, что авторское свидетельство Г.Л.Эпштейну было выдано Министерством электропромышленности СССР, тогда как на заводах электропромышленности строились тиритовые разрядники с активными сопротивлениями для равномерного деления напряжений в искровых промежутках этих разрядников.

Говоря об активном делителе напряжения, полезно вспомнить еще одно советское изобретение, а именно: предложение применять проводящую глазурь или проводящую ток массу у керамических изоляторов с целью получения равномерного распределения напряжений по отдельным элементам гирлянд или по высоте опорных и проходных изоляторов. Это изобретение было сделано Г.Л.Эпштейном 20 января 1945 г. и на него было получено 18 июля 1946 г. авторское свидетельство № 67086, а в 1947 г. получены патенты во Франции № 931166 и в Швеции № 120373.

Применение проводящей глазури обеспечивает не только равномерное распределение напряжения по отдельным элементам гирлянды или по высоте опорного изолятора, но и содействует уменьшению потерь на корону, а также увеличивает пробивное напряжение.

Возвращаясь к роли активного делителя напряжения в выключателях, мы не можем не высказать мысли применять взамен металлических сопротивлений проводящую глазурь, нанесенную на

фарфоровые рубашки, в которых помещены гасительные камеры с многократным разрывом цепи тока. Это позволит сэкономить много тонн дорогого нихрома и упростит конструкцию выключателя.

6—12 ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О РАЗВИТИИ МАСЛЯНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ГАСИТЕЛЬНЫМИ КАМЕРАМИ

Рассматривая историю развития масляного выключателя, следует сделать вывод, что основное его совершенствование связано с улучшением гасительных камер, осуществляющих деионизацию дугового пространства после перехода тока через нулевое значение и погасания дуги.

Простые гасительные камеры и камеры с промежуточным контактом успешно осуществляли гашение средних и больших токов и плохо работали или даже совсем не гасили дугу при малых отключаемых токах. В выключателях с гасительными камерами этого типа время горения дуги составляло 0,05–0,15 сек и более.

С целью приспособления гасительной камеры для гашения как больших, так и малых токов была предложена расширительная гасительная камера с автоматически действующим устройством для изменения давления газов в камере в зависимости от величины отключаемого тока. В этой гасительной камере сечение выхлопных отверстий зависело от величины давления газов в гасительной камере, что являлось функцией величины отключаемого тока. При дальнейшем развитии простая гасительная камера была улучшена путем установки в ней ряда перегородок, образующих карманы для запасов масла. Такую камеру с перегородками в отношении ее воздей-

ствия на гашение дуги можно рассматривать как комбинацию из нескольких простых гасительных камер, установленных последовательно друг за другом. В такой камере значительно повышалась интенсивность дутья за счет более высокого давления газов в камере.

Применение эпоксидной смолы позволило увеличить механическую прочность гасительной камеры, и эта смола нашла применение в современных маломасляных выключателях.

Гасительная камера продольного дутья с промежуточным контактом также была усовершенствована путем применения в ней автоматически действующего устройства для изменения длины гасящей дуги в зависимости от величины отключаемого тока. Несмотря на указанные улучшения конструкций этих гасительных камер, время гашения дуги и время повторного включения оказывались более длинными, чем у выключателей с гашением дуги сжатым воздухом.

Кроме того, попытки создать гасительную камеру с предварительным запасанием энергии сжатого газа за счет энергии самой дуги показали, что такие гасительные камеры успешно работают только при отключении значительных токов.

Верхний предел отключаемого тока определяется величиной давления газов, образовавшихся в камере под термическим действием дуги в процессе отключения выключателя. Величина этого давления ограничивалась механической прочностью гасительной камеры. Нижний предел отключаемых токов зависел от конструкции гасительной камеры, но никогда не опускается ниже определенной величины для данного типа гасительной камеры и сопровождается сильным ростом времени отключения. Рост отключаемой мощности в энергосистемах и строительство линий передач большой протяженности требовали создания такого выключателя, который одинаково надежно и без перенапряжений отключал бы токи короткого замыкания и весь диапазон зарядных токов ненагруженных линий передач или холостого хода трансформаторов.

Решение поставленной задачи для масляных выключателей было найдено путем применения таких мероприятий, как:

- а) установка гасительных камер с многократным и одновременным разрывом цепи отключаемого тока;
- б) выполнение гасительных камер закрытого типа, общих для всех мест разрыва цепи тока;
- в) принудительное распределение восстанавливающегося напряжения между всеми местами разрыва цепи тока при помощи активных или реактивных делителей напряжения;
- г) снабжение выключателя шунтирующими сопротивлениями для получения апериодического процесса восстановления напряжения;
- д) комбинированное гашение дуги в процессе отключения выключателя с использованием энергии самой дуги и энергии привода, для чего устанавливался подпружиненный поршень, создающий масляное дутье при спаде давления в гасительной камере.

В заключение обзора развития масляного выключателя уместно привести высказывание И. Бирманса, видного немецкого специалиста по выключателям.

Тридцать лет тому назад в статье «Исследование масляного выключателя», напечатанной в 1927 г. «ETZ» № 32, Бирманс писал:

«При взгляде на пути развития выключателя (масляного) нужно удивляться, что он вообще мог подняться на настоящую его высоту, так как он все-таки является противоестественным аппаратом, который тушит огонь маслом... При всем удовлетворении достигнутыми результатами мы все же должны остерегаться излишнего оптимизма и направить наше стремление к тому, чтобы вообще заменить масляный выключатель менее опасным аппаратом».

В результате распространенного мнения, что противоестественно гасить огонь маслом, были сделаны попытки замены масла водой, а затем сжатым воздухом.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ТРУБЧАТЫЕ И АВТОГАЗОВЫЕ

7–1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Способ гашения электрической дуги струей газа впервые был применен в трубчатых выключателях, которые были предложены в начале девяностых годов прошлого столетия.

В первых конструкциях трубчатых выключателей не применялись газогенерирующие обкладки в гасительных трубках, а устраивался очень плотно входящий в трубку подвижной контакт.

При выдвигании из трубки подвижного контакта в трубке создавалось разреженное пространство и загоралась электрическая дуга.

Под действием атмосферного давления в трубку устремляется струя воздуха, что приводило к охлаждению дуги и быстрому ее гашению.

В последующих, по времени появления, трубчатых выключателях гашение дуги осуществлялось за счет дутья газами, которые выделялись под термическим действием дуги газогенерирующими обкладками, помещенными внутри дугогасительных трубок.

Предлагалось осуществить гашение электрической дуги при помощи струи газа, образующегося при расплавлении капсулы с газом или жидкостью под термическим действием гасимой дуги.

На такой способ гашения электрической дуги фирма «Вестингауз» получила в 1907 г. в России привилегию [Л. 7-1].

Сущность изобретения заключается в следующем.

На изоляторе 1 [рис. 7-1] укреплен неподвижный контакт 2 с прикрепленной над ним капсулой 3, содержащей дугогасящую жидкость или газ под давлением.

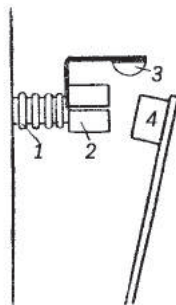


Рис. 7—1 *Гасительное устройство фирмы «Вестингауз» с капсулой, содержащей газ или жидкость (1902 г.)*

При отключении между неподвижными контактами 2 и подвижным контактом 4 образуется электрическая дуга. Капсула 3 расплавляется, и освобожденная жидкость или газ устремляются к месту горения дуги и осуществляют ее гашение.

7—2 ТРУБЧАТЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

а) Трубчатые выключатели фирмы «Вестингауз» (США)

Первый трубчатый выключатель [рис. 7-2] был показан фирмой «Вестингауз» на Всемирной выставке в Чикаго в 1893 г. [Л. 7-2].

Распределительные устройства, предназначенные для обслуживания павильонов выставки, были снабжены трубчатыми выключателями. Трубчатый выключатель [рис. 7-3] устанавливался сзади

мраморной или шиферной доски, а рукоятка управления помещалась на передней части доски.

Фарфоровая трубка 1 каждого отключающего элемента выключателя снабжена тонким каналом 2 для проникновения атмосферного воздуха в трубку при выдвигании подвижного контакта 4 в процессе отключения выключателя. На одном из концов трубки 1 помещен неподвижный контакт 3, в который входит подвижной контакт 4, укрепленный на эбонитовом держателе 5. Держатель 5 укреплен на штанге рычажного привода 6.

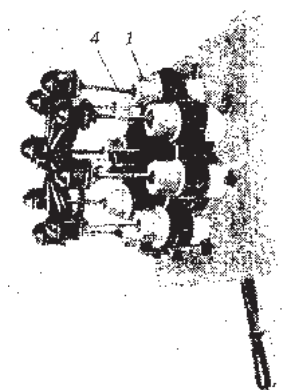


Рис. 7-2 Трубчатый выключатель фирмы «Вестингауз» (1893 г.)

На рис. 7-2 выключатель показан в выключенном положении, подвижной контакт 4 полностью не выходит из трубки 1, т. е. он действует как поршень, создающий разрежение в трубке. Такие выключатели фирмой «Вестингауз» строились для напряжения до 5000 в.

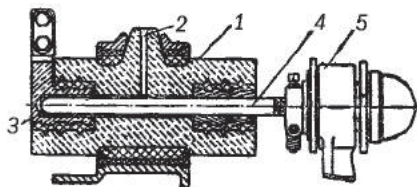


Рис. 7-3 Разрез одного элемента трубчатого выключателя фирмы «Вестингауз» (1893 г.)

Трубчатые выключатели фирмы «Вестингауз» имели малые внешние размеры, что дало возможность значительно упростить выполнение распределительных устройств и уменьшить их габариты.

В данном типе трубчатого выключателя гашение дуги осуществлялось за счет дутья воздуха через канал 2 в зону горения дуги.

Последовательно в каждый полюс отключаемой цепи тока включалось не менее двух гасительных трубок, так что получалось одновременно два разрыва тока на каждый полюс.

При тех малых мощностях отключаемых токов, которые встречались в электрических установках того времени, гашение дуги в трубчатом выключателе фирмы «Вестингауз», осуществлялось весьма успешно, так как дуга малой мощности не могла создать противодавления в гасительной трубке выключателя.

б) Трубчатые выключатели фирмы ДЖИИ

Фирма ДЖИИ строила в 1898 г. трубчатые выключатели с одним разрывом дуги на полюс и снабжала их устройством для автоматического отключения. Позднее она стала строить трубчатые выключатели с двойным разрывом на фазу [рис. 7-4]. Неподвижные контакты 1 помещены рядом и отделены друг от друга изолирующей перегородкой 2. К контактам прикреплены фибровые трубки 3, внутрь которых входят U-образные подвижные контакты 4.

Для устранения удара подвижных контактов 4 в конечном выключенном положении установлен воздушный катаракт в виде поршня 5, входящего в цилиндр 6. Во включенном положении подвижные контакты 4 удерживаются защелкой, которая может быть автоматически освобождена электромагнитным реле при перегрузке или при коротком замыкании.

При отключении выключателя подвижные контакты 4 быстро отходят под действием пружин. Образовавшаяся дуга между подвижными и неподвижными контактами создает бурное газообразование в фибровых трубках 3, под давлением газов подвижные контакты 4 стремительно отходят вниз, а деионизированные газы продвигаются через дуговое пространство, что приводит к быстрому гашению дуги.

Включение трубчатого выключателя осуществлялось деревянным стержнем, который вводится в отверстие крышки цилиндра 6. Стержень упирается в поршень 5 и производит подъем подвижных контактов 4 во включенное положение.

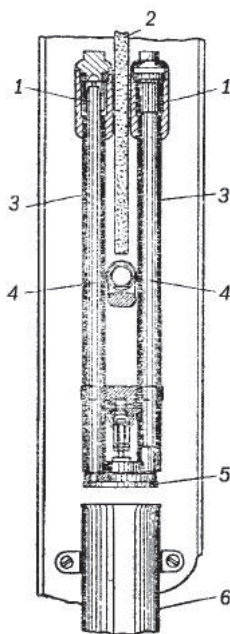


Рис. 7-4 Трубчатый выключатель фирмы ДЖИИ с фибровыми трубками (1898 г.)

В 1901 г. были проведены испытания трубчатого выключателя и было установлено, что он успешно отключал рабочие токи в сетях напряжением до 25 кв [Л. 7-2].

в) Трубчатые выключатели фирмы «Эрликон» (Швейцария)

Европейские электротехнические фирмы также изготавливали трубчатые выключатели [Л. 7-3].

В 1898 г. фирма «Эрликон» получила в Швейцарии патент на трубчатый двухполюсный выключатель [рис. 7-5]. На мраморной

плите 1 установлены два фибровых цилиндра 2. На дне каждого цилиндра помещены розеточные неподвижные контакты 3. Подвижные контакты 4 приводятся в движение штангой 6 с траверсой 5, выполненные из изолирующего материала. Скользящие контакты 7, вводами 8 подсоединены к сети и электрически соединены с подвижными контактами 4.

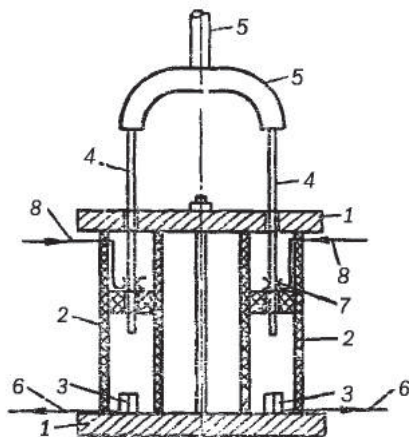


Рис. 7—5 Трубчатый выключатель завода «Эрликон» (1898 г.)

Такие выключатели были установлены в 1901 г. на электростанции в Лозанне.

Вот как объясняет инженер фирмы «Эрликон» К. Тенбер действие этого типа выключателя [Л. 7-4].

«Как выключатели, так и предохранители являются специальной конструкцией завода «Эрликон». Выключатели высокого напряжения получили название «Zugschalter» (вытягивающиеся выключатели). Они изготавливаются с августа 1897 г. и разработаны фирмой в результате продолжительных исследований. У этих выключателей прерывание тока происходит в камерах 2 следующим образом:

в момент отключения под действием образовавшейся дуги генерируются газы, которые препятствуют проникновению свежего воздуха, вследствие чего дуга не может продолжать гореть».

Приведенное Тенбером пояснение относительно принципа гашения дуги в трубчатом выключателе фирмы «Эрликон» не является правильным. В действительности процесс гашения дуги происходит под действием газов, выделяемых стенками фибровых цилиндров 2 вследствие термического воздействия дуги.

Выделяющиеся газы создают давление в цилиндрах и деионируют дуговое пространство, что и приводит к гашению дуги.

ТРЕХФАЗНЫЙ ТРУБЧАТЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ

Фирма «Эрликон» в 1898 г. изготовляла трубчатые выключатели с общим рычажным приводом для трех фаз и с двойным разрывом цепи тока на полюс [рис. 7-6 и 7-7].

Неподвижный торцовый контакт 1 помещен внутри фарфоровой трубки 2, укрепленной хомутом 3 на чугунной траверсе 4. Подвижной контакт 5 при отключении выключателя полностью вытягивается из трубки 2, снабженной внутри фибровой обкладкой. При отключении выключателя под термическим действием дуги генерируются газы, которые создают газовое дутье и тем гасят дугу.

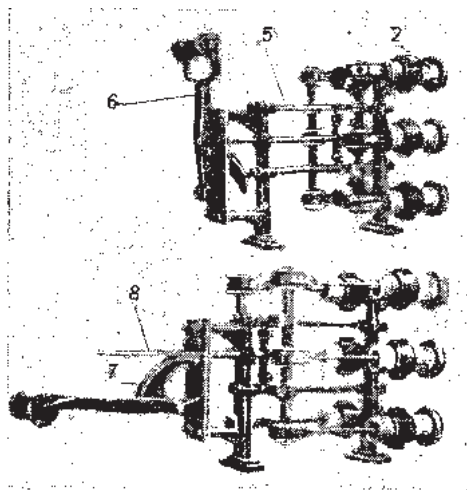


Рис. 7-6 *Трехфазный трубчатый выключатель завода «Эрликон» с общим приводом (1898 г.)*

Контакты 5 выдвигаются поворотом рукоятки 6 с зубчатым сектором 7, сцепленным с рейкой 8.

О принципе гашения дуги этим выключателем и эффективности его действия Фогельзанг пишет [Л. 7-2]:

«В 1901 г. я имел случай произвести испытание такого трубчатого выключателя. Испытание показало, что при быстром отключении выключателя наблюдается малое выбрасывание пламени из трубок, что особенно бросается в глаза по сравнению с протеканием процесса отключения с применением рычажного или рогового выключателя. К сожалению, действие таких выключателей ненадежно, так как при частых отключениях дуга задерживается в гашении, что приводит к оплавлению контактов и трубки».

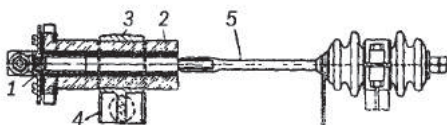


Рис. 7—7 Разрез одного элемента трехфазного трубчатого выключателя завода «Эрликон» (1898 г.)

ТРУБЧАТЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ СО ВСТРОЕННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Трубчатый выключатель со встроенным сопротивлением для ограничения силы гасимого тока предложила в 1909 г. фирма «Эрликон», получившая на него германский патент [Л. 7-5].

На дне металлического бака 1 выключателя [рис. 7-8], установленного на изоляторах, помещен неподвижный розеточный контакт 2. Подвижной контакт 3 входит в бак выключателя через изолирующую втулку 7. Ограничивающее ток сопротивление 4 размещено на цилиндре 5 из изолирующего материала, установленного коаксиально с подвижным контактом 3. Один конец сопротивления присоединен к розеточному 2, а второй к промежуточному контакту 6, установленному во втулке 7. При отключении подвижной контакт 3 выходит из розеточного контакта 2. Возникающая между ними дуга шунти-

руется сопротивлением 5 и легко гасится при переходе тока через нулевое значение. Ток отключаемой цепи будет проходить через сопротивление 5, и образующаяся дуга при отходе подвижного контакта 3 от промежуточного 6 гасится во втулке 7.

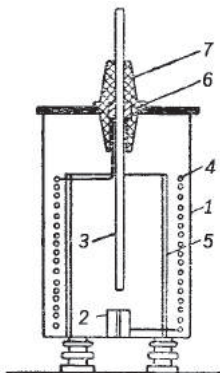


Рис. 7—8 Трубчатый выключатель завода «Эрликон» со встроенным сопротивлением (1909 г.)

Гашение происходило за счет быстрого восстановления разноименно заряженных частиц при их соприкосновении с холодными стенками втулки 7, выполненной из изолирующего материала.

г) Выключатель фирмы «Браун-Бовери»

Фирма «Браун-Бовери» предложила в 1898 г. трубчатый двухполюсный выключатель [рис. 7-9]. Четыре ножа 1 выключателя выполнены изогнутыми по дуге окружности и при повороте оси 2 входят с небольшим зазором в трубки 3, изготовленные из газогенерирую-

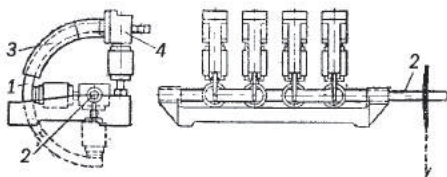


Рис. 7—9 Трубчатый выключатель фирмы «Браун-Бовери» (1898 г.)

щего материала. На дне трубок 3 помещены неподвижные контакты 4. Крайние ножи 1 электрически соединены с соседними ножами, а подвод и отвод тока производятся от неподвижных контактов 4. Таким образом, на каждый полюс имеется два места разрыва электрической дуги. Такие выключатели около 10 лет находились в эксплуатации на электрической станции во Франкфурте-на-Майне [Л. 7-2].

д) Выключатель фирмы «Сименс-Гальске»

Фирма «Сименс-Гальске» сделала в 1899 г. заявку и 10 октября 1900 г. получила в Германии патент на трубчатый выключатель.

Этот патент являлся вообще первым патентом на выключатель высокого напряжения, выданным в Германии.

Заявка на аналогичный выключатель была также сделана в 1900 г. в России «Акционерным обществом русских электромеханических заводов фирмы Сименс-Гальске» и по ней была выдана в 1905 г. привилегия в России [Л. 7-6].

Этот выключатель монтирован на плите 1 [рис. 7-10], выполненной из изолирующего материала. Ток подводится к неподвижному пружинящему контакту 2 и отводится от второго пружинящего контакта 3. На плите 1 установлена трубка 4, выполненная из изолирующего материала и снабженная в верхней части металлическим кольцом 5. Подвижной контакт 6, снабженный изолированной ручкой,

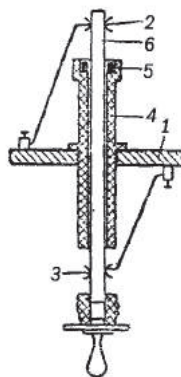


Рис. 7—10 Трубчатый выключатель фирмы «Сименс-Гальске» (1899 г.)

проходит внутри трубки 4 и скользит между пружинящими неподвижными контактами 2 и 3. При отключении выключателя верхний конец подвижного контакта 6 выходит из пружинящего контакта 2. Образующаяся электрическая дуга втягивается в трубку 4. Ниже приводится выписка из русской привилегии, полученной фирмой:

«При выключении цепи можно быстро потушить появляющуюся при этом вольтову дугу, втягивая контакт в изолированную трубку. При этом и сама дуга будет несколько втянута в трубку.

Вследствие этого на конце последней разовьется высокая температура, могущая значительно уменьшить изолирующие свойства трубки и даже испортить или разрушить самую трубку. Для устранения указанных недостатков на соответствующих концах трубок укрепляются особые металлические части, которые отнимают у трубок большую часть развивающейся в них теплоты, парализуя таким образом вредное действие последней».

Рассматривая выключатель фирмы «Сименс-Гальске» с позиции современных взглядов на процессы гашения дуги, следует приписать гашение дуги ее охлаждению, что вызовет быструю деионизацию дугового пространства при соприкосновении дуги с холодными стенками фарфоровой трубки. Трубчатый выключатель фирмы «Сименс-Гальске» не получил широкого распространения.

7-3 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ АВТОГАЗОВЫЕ

а) Общие сведения

Изобретенные в 1893 г. трубчатые выключатели на протяжении 60 лет претерпевали ряд конструктивных изменений. Вначале они приобрели внутренние обкладки из газогенерирующего материала, затем стали применяться в качестве трубчатых разрядников для

защиты от перенапряжений на линиях передач. Первые конструкции трубчатых выключателей не отвечали предъявляемым к ним требованиям надежно отключать нормальные токи и токи коротких замыканий. Даже в пределах рабочих токов трубчатые выключатели обладали хорошими дугогасящими свойствами только в определенных диапазонах величины отключаемого тока. При малых отключаемых токах наблюдалось недостаточно сильное термическое воздействие дуги на стенки трубки и благодаря этому не выделялось достаточного количества газов, что уменьшало дугогасящую способность трубчатого выключателя. При очень больших отключаемых токах происходили разрывы трубок под действием чрезмерных давлений газов, образующихся внутри трубки. Все эти недостатки трубчатых выключателей привели к тому, что в тех конструктивных формах, которые они имели в первых своих исполнениях, они теперь не строятся.

Дальнейшим развитием этого класса выключателей являются выключатели автогазовые. Основное их качественное отличие от трубчатых выключателей состоит в том, что автогазовые выключатели способны отключать не только рабочие токи, но и обладать определенной отключающей мощностью, обеспечивающей отключение токов коротких замыканий.

б) Выключатель Б.А.Воронова и Л.Е.Машкиллейсона (СССР)

Автогазовые выключатели в различных их модификациях и в комбинации с гасительными камерами, выполненными из газогенерирующего материала, неоднократно предлагались советскими изобретателями.

Так, например, инженеры завода «Электроаппарат» Б.А.Воронов и Л.Е.Машкиллейсон в 1931 г. предложили выключатель с гасительной камерой, снабженной обкладкой из газогенерирующего материала [рис. 7-11].

На эту конструкцию выключателя в 1933 г. им было выдано авторское свидетельство [Л. 7-7].

Внутренняя часть гасительной камеры 1 выложена обкладкой 2, выполненной из газогенерирующего материала. При отходе подвиж-

ного контакта 3 от неподвижного 4 образуется электрическая дуга. Под термическим действием дуги обкладка гасительной камеры генерирует газы, которые создают давление в камере. При выходе подвижного контакта 3 из горловины 5 горящая дуга интенсивно обдувается газами, поступающими из камеры 1, и гасится. Отвод газов происходит по трубке 6. Гасительная камера установлена на проходном изоляторе 7.

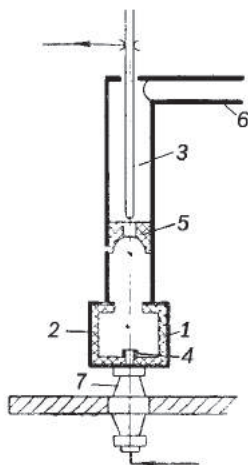


Рис. 7-11 Автогазовый выключатель Б.А.Воронова и Л.Е.Машкиллейсона (1931 г.)

в) Выключатель М.М.Акодиса (СССР)

В развитие изобретения Воронова и Машкиллейсона М.М.Акодис предложил видоизменение выключателя [Л. 7-8], на что в 1933 г. получил зависимое авторское свидетельство. Он предложил снабдить подвижной контакт 1 [рис. 7-12] выключателя фибровой надставкой 2, которая втягивается в гасительную камеру 3, выполненную в виде фибровой трубки. При отходе подвижного контакта 1 от неподвижного 4 между ними образуется дуга. В горловину неподвижного контакта 4 втягивается фибровая надставка 2, которая образует кольцевой проход для газов, выходящих из гасительной

камеры. Эта надставка резко уменьшает сечение канала, и дуга горит в кольцевом зазоре, что увеличивает газообразование и тем способствует деионизации дугового пространства.

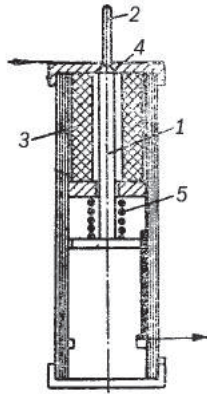


Рис. 7—12 Автогазовый выключатель М.М.Акодуса (1933 г.)

г) Выключатель Г.П.Зедгинидзе (СССР)

Принципиальным недостатком выключателей с фибровыми газогенерирующими дугогасящими камерами или трубками является неодинаковый дугогасящий эффект при действии этих выключателей в зависимости от величин отключаемого тока. Геометрические размеры и конструктивное оформление дугогасящей камеры, как то: внутренний диаметр гасительной камеры, активная и полная длина камеры, определяют верхний и нижний пределы токов, которые способен отключать данный тип выключателя. С целью устранить этот недостаток выключателя Воронова и Машкиллейсона Г.П.Зедгинидзе (СССР) предложил в 1944 г., а в 1947 г. получил зависимое авторское свидетельство на выключатель с переменными параметрами величин отключаемых токов [Л. 7-9]. В этом выключателе [рис. 7-13] ток подводится к неподвижному 6 и подвижному 4 контактам. Дугогасительная трубка 1 снабжена газогенерирующей обкладкой. На закрытом конце трубки помещен электромагнитный механизм 3, передвигающий подпружиненный стержень 2, выпол-

ненный из газогенерирующего материала. В соответствии с величиной отключаемого тока стержень 2 устанавливается в требуемое положение в трубке 1.

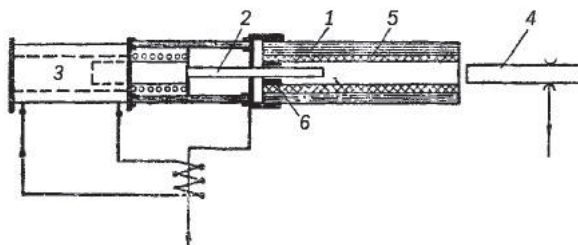


Рис. 7-13 Автогазовый выключатель Г.П.Зедгинидзе с автоматическим изменением дугогасящих свойств (1944 г.)

д) Выключатель Г. Бурмейстера (США)

При просмотре американских патентов был обнаружен патент на электрический выключатель с твердым дугогасящим веществом, выданный фирме ДЖИИ по заявке от 28 января 1937 г. [Л. 7-10].

В этом патенте указывается, что действительным изобретателем этого типа выключателя является Герман Бурмейстер из Берлина-Шпандау, который переуступил ДЖИИ свои права на этот выключатель. Далее в патенте указано, что аналогичная заявка на этот тип выключателя сделана в Германии 11 февраля 1936 г. Соответствующего германского патента не удалось обнаружить. Вероятно, в выдаче патента в Германии на этот тип выключателя было отказано, так как по принципу действия такой выключатель аналогичен трубчатому выключателю при выполнении трубки из материала, выделяющего газы при нагреве электрической дугой.

На рис. 7-14 показан этот выключатель, как он приведен в американском патенте.

Между неподвижным 1 и подвижным 2 контактами при отключении выключателя образуется электрическая дуга. Стенки гасительной камеры 3 выполнены из газогенерирующего материала, как то: органического стекла, фибры, хлорвинила или других материалов,

способных выделять газы при нагреве. Под термическим действием дуги выделяющиеся газы создают поперечно-продольное дутье, быстро охлаждают дугу и деионизируют дуговое пространство, что приводит к быстрому гашению электрической дуги.

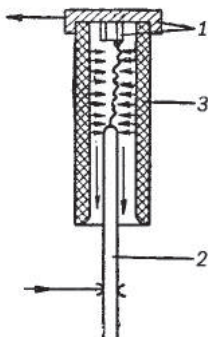


Рис. 7—14 Выключатель Г.Бурмейстера с твердым дугогасящим веществом (1937 г.)

е) Автогазовый выключатель типа ВГ-10 (СССР)

В 1947 г. во Всесоюзном электротехническом институте имени В.И.Ленина (ВЭИ) была разработана конструкция автогазового выключателя для установки в закрытых помещениях. Этот выключатель изготавливается заводом «Электроаппарат» для напряжений 6 и 10 кВ на 400 А. При напряжении 6 кВ выключатель имеет мощность отключения 120 МВА, при 10 кВ – 200 МВА. На сварной раме выключателя установлены сдвоенные изоляторы, на которых укреплены гасительные камеры и направляющие устройства с контактными подвижными ножами. Качающиеся гетинаксовые рычаги передвигают ножи при включении и отключении выключателя.

На рис. 7-15 показана гасительная камера, состоящая из двух гетинаксовых пластин 1, текстолитовой вставки 2 с двумя пластинами 3 из органического стекла. В пластинах 3 вырезаны пазы с вложенными в них сменными вкладышами 6. На контактном стержне 5 закреплены неподвижные контакты 7. При включении подвижной контакт входит между пластинами 3, раздвигает заслонки 4 и осу-

ществляет замыкание цепи при соприкосновении с неподвижным контактом 7.

При отключении образуется электрическая дуга между подвижным и неподвижным контактами и начинается бурное газообразование. Создавшееся в камере давление газов открывает подпружиненную заслонку 8, и полость 9 заполняется газами. При движении вниз подвижной контактный нож открывает канал 10, благодаря чему возникает интенсивное поперечное газовое дутье. Газы выходят в газоотвод 11, заполненный охлаждающими трубками, и выбрасываются в атмосферу через патрубок.

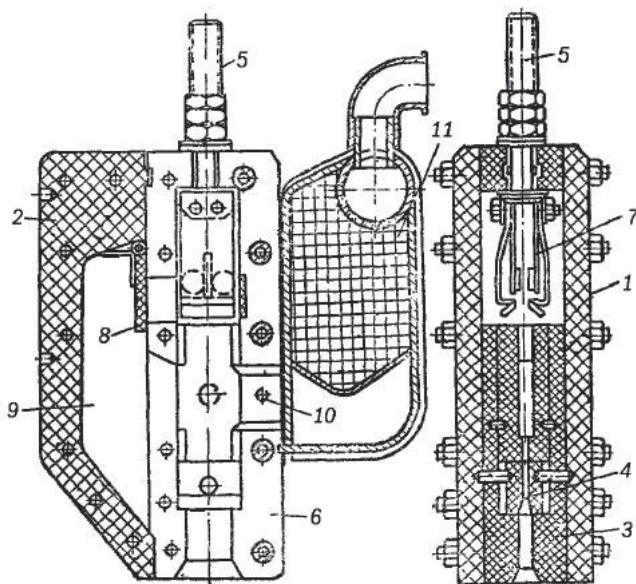


Рис. 7—15 Газительная камера автогазового выключателя типа ВГ-10 (1947 г.)

Применение автогазовых выключателей особо рационально на подстанциях, где нет постоянного обслуживающего персонала.

Автогазовый выключатель является современной интерпретацией предложенного в конце прошлого столетия трубчатого выключателя с газогенерирующими обкладками внутри трубок.

В настоящее время автогазовые выключатели с твердым дугогасящим веществом и выключатели нагрузки с газогенерирующими трубками изготавливаются как отечественными, так и зарубежными электротехническими фирмами и являются современной модификацией идеи старого трубчатого выключателя. Принцип газового дутья для гашения электрической дуги не нашел применения для выключателей напряжением свыше 20 кВ и мощностью отключения более 300 МВА.

Более эффективным способом гашения электрической дуги оказалось воздушное дутье, что позволило создать выключатели для напряжений до 400 кВ с мощностью отключения 15 000 МВА.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ С ГАШЕНИЕМ ДУГИ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

8–1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Новым этапом развития выключателей после внедрения масляного выключателя явился выключатель с гашением электрической дуги сжатым воздухом. Этот тип выключателя в настоящее время нашел широкое применение в энергетических установках, особенно на напряжение 110 кВ и выше.

В первые 20 лет своего существования, т. е. в период с 1930 по 1950 г., этот тип выключателя по своим электрическим параметрам имел значительные преимущества по сравнению с масляными выключателями как в отношении времени горения дуги, так и в отношении времени, затрачиваемого на автоматическое повторное включение. После изобретения бакового импульсного масляного выключателя эти преимущества отпали, так как у современных баковых масляных выключателей время горения дуги имеет ту же продолжительность, что и в воздушных выключателях, 0,01–0,02 сек.

Что касается затраты времени на АПВ, то в современном масляном выключателе оно может быть сделано даже меньше, чем в выключателе с гашением дуги сжатым воздухом. Это достигается обратным включением масляного выключателя путем «подхвата», т. е. не ожидая окончания полного хода траверсы вниз. В современных масляных выключателях не требуется ожидать наполнения

гасительной камеры маслом, так как запас масла в камере достаточен для цикла: отключение – вновь включение – вторичное отключение.

При рассмотрении вопроса развития и внедрения выключателя с гашением дуги сжатым воздухом в историческом аспекте необходимо провести сравнение этого типа выключателя не с современными масляными выключателями, а с масляными выключателями тех конструкций, которые существовали в тот период, т. е. с выключателями, снабженными гасительными камерами простого и продольного дутья. В отношении этих масляных выключателей выключатель с гашением дуги сжатым воздухом имел ряд существенных преимуществ, которые и содействовали его быстрому развитию.

Главными преимуществами нового типа выключателя являлись следующие его качества:

1. Более короткое время горения дуги и меньшая затрата времени на отключение, а именно:

В выключателе с гашением дуги сжатым воздухом горение дуги продолжалось 0,01–0,02 сек, а полное отключение заканчивалось в течение 0,05–0,07 сек. В масляном выключателе время горения дуги было 0,05–0,1 сек, а полное время отключения 0,07–0,15 сек.

2. Более короткое время для повторного включения – у выключателя с гашением дуги сжатым воздухом 0,1–0,25 сек, а у выключателя масляного 0,5–0,8 сек.

Уменьшение времени отключения в режиме короткого замыкания ограничивает величину возможных разрушений в энергетической системе. Малый промежуток времени, требующийся для автоматического повторного включения (АПВ), дает возможность избежать перерывов в подаче энергии потребителям. При быстром АПВ немедленно восстанавливается нормальная работа линии, если причина, вызвавшая короткое замыкание, имела быстро проходящий характер. В этом случае подключенные к линии потребители не почувствуют имевшего место перерыва в подаче энергии, так как электродвигатели не успевают отключиться или выпасть из синхронизма.

Идея повторного включения впервые была разработана Ф.Пикеттом, который предложил это мероприятие в 1916 г. и получил соответствующий патент в США.

Опыт эксплуатации линий высокого напряжения показывает, что значительное большинство коротких замыканий носит преходящий характер и самостоятельно ликвидируется после первого отключения поврежденного участка.

Вначале применяли трехполюсное автоматическое повторное включение поврежденного участка, которое осуществляли с некоторой выдержкой времени, чтобы обеспечить деионизацию дугового пространства в месте, где произошло короткое замыкание и образовалась дуга. С целью сократить перерывы в работе временно поврежденного участка сети в настоящее время стали применять в сетях с заземленной нейтралью однополюсное АПВ. В этом случае можно задержать включение поврежденной фазы, так как по двум неповрежденным фазам будет в это время продолжаться питание потребителей.

3. Отсутствие взрывобезопасности и пожаробезопасности при аварийных отключениях, когда отключение могло бы сопровождаться разрушением выключателя.

Взрыво- и пожаробезопасность выключателя с гашением дуги сжатым воздухом привела к тому, что наиболее прогрессивные европейские электротехнические фирмы, строившие до этого масляные выключатели, перешли на изготовление выключателей с гашением дуги сжатым воздухом. В частности, это сделала швейцарская фирма «Браун-Бовери», которая по этому поводу так сообщала в своем фирменном журнале:

«После того как мы, в свое время, участвовали в развитии баковых масляных выключателей, а затем маломасляных выключателей, после зрелого размышления в течение тридцати лет, нами принято решение приступить к изготовлению выключателей с гашением дуги сжатым воздухом. Это решение исходило из нашего убеждения в том, что сжатый воздух по своим изолирующим и гасящим свойствам обеспечивает более короткое время отключения, позво-

ляет осуществлять быстрое повторное включение и дает возможность создать простой по конструкции выключатель» [Л. 8-1].

4. Безотказность работы при низких температурах окружающего воздуха.

5. Простота и быстрота производства ревизии рабочих контактов выключателя. При ревизии контактов у выключателя с гашением дуги сжатым воздухом не требуется производить его разборки.

6. Сохранение постоянной электрической прочности дугогасящей среды.

При каждом срабатывании выключателя к рабочим контактам в гасительной камере поступает свежая порция сжатого воздуха. Поэтому электрическая прочность дугогасящей среды в процессе работы выключателя с течением времени не ухудшается.

В масляном выключателе дугогасящая среда после каждого отключения ухудшает свои электрические свойства.

7. Транспортабельность в собранном виде. При перевозке по железным дорогам баковых масляных выключателей для напряжения 110 кВ и выше их приходится демонтировать, тогда как выключатели с гашением дуги сжатым воздухом для напряжений до 220 кВ можно перевозить в собранном виде.

Таблица 8-1

Вид отключения	Выключатели	
	Масляный типа МКП-274	С гашением дуги сжатым воздухом фирмы АЭГ
Напряжение, кВ	220	220
Рабочий ток, А	800	600
Мощность отключения, МВА	2500	3000
Общий вес, т	10	15
Вес масла, т	51	–
Время отключения, сек	0,15	0,05
Время включения, сек	0,8	0,1
Вес фарфора на 3 фазы, т	6	4
Вес металла на 3 фазы, т	40	10
Высота, мм	7120	4240

В табл. 8-1 дано сравнение масляного выключателя МКП-274 с аналогичным по своим параметрам выключателем с гашением дуги сжатым воздухом фирмы АЭГ.

При сопоставлении цен обоих типов выключателей следует иметь в виду, что баковый масляный выключатель МКП-274 имеет встроенные трансформаторы тока, а при установке выключателя с гашением дуги сжатым воздухом требуется установить отдельно трансформаторы тока.

8-2 ОПЫТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДУТЬЯ ДЛЯ ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

О первой попытке применить воздушное дутье в выключателях для гашения электрической дуги на электростанции Обершпре в Берлине сообщает германский электротехник Пробст [Л. 8-2].

На этой электростанции, принадлежавшей фирме АЭГ, в 1897 г. производилась реконструкция приводов рычажных выключателей, установленных на распределительном устройстве с напряжением 6000 в. Взамен ручных приводов выключатели снабжались пневматическими приводами. При исполнении этой работы возникла мысль применить воздушное дутье для улучшения гашения электрической дуги в этих выключателях. Для этой цели сжатый воздух давлением 2 ат резиновой трубкой был подведен к месту образования дуги между горизонтально расходящимися контактами, что создавало поперечное дутье на горящую дугу. Под действием воздушного дутья электрическая дуга сильно удлинялась. При этом наблюдались случаи перебрасывания дуги на металлический каркас распределительного устройства, что вызывало короткие замыкания на землю.

Опыты оказались неудачными, и фирма АЭГ вновь вернулась к проблеме создания выключателя с воздушным дутьем только в 1926–1928 гг. после исследования этого вопроса Руппелем.

Попытки снабдить рычажный выключатель со свободной дугой воздушным дутьем были сделаны также фирмой Гелиос в 1900 г. [рис. 8-1] и такой выключатель фирма демонстрировала на Всемирной выставке в Париже [Л. 8-3].

При перегрузке максимальное реле 1 освобождает защелку и под действием пружин ножи 2 быстро отходят от неподвижных контактов 3. Между контактами установлены сопла, к которым подведены резиновые трубки для подачи сжатого воздуха давлением 20 ат. При повороте ножей 2 одновременно открываются отверстия сопел и сжатый воздух устремляется к месту образования электрических дуг между расходящимися контактами.

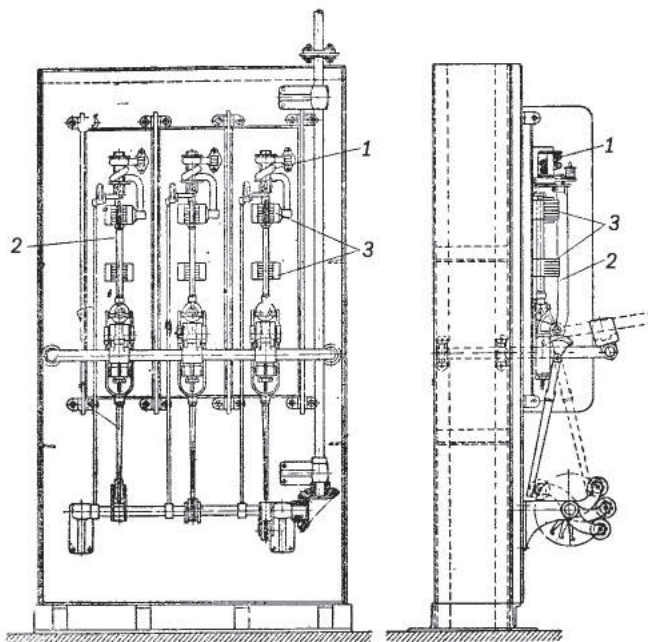


Рис. 8—1 Рычажный выключатель фирмы «Гелиос» со свободной дугой и воздушным дутьем (1909 г.)

Такие выключатели были применены в 1901 г. на электростанции Кротторф в Англии.

Обе описанные выше попытки создать выключатель с воздушным дутьем базировались на известных конструкциях рычажных выключателей со свободной дугой и являлись их модернизацией, состоящей в том, что резиновыми трубками подводилось воздушное дутье к месту расхождения контактов.

8–3 ПЕРВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ГАШЕНИЕМ ДУГИ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

а) Выключатель Джонсона и Лунделя (США)

Первые попытки конструирования специальных выключателей, гасящих дугу сжатым воздухом, относятся к началу нашего столетия. Описание таких выключателей помещено в статье К.А.Видмана, опубликованной им в журнале «ETZ» за 1929 г. [Л. 8-4].

В воздушном выключателе для гашения электрической дуги сжатым воздухом, предложенном Джонсоном и Лунделем в 1900 г. [рис. 8-2], компрессия воздуха создается самим выключателем в процессе его отключения. Выключатель на рисунке показан во включенном положении.

При подаче вспомогательного тока в катушку 1 производится отключение выключателя. Под действием магнитного потока, образованного катушкой 1, в нее втягивается стальной сердечник 2 и штанга 3 перемещает вверх контактный мост 4. Находящийся в цилиндре 5 воздух сжимается и устремляется через сопла 6 на горящую дугу, образовавшуюся при отходе подвижных

контактов 7 от подпружиненных контактов 8, имеющих сферическую форму.

В этой конструкции выключателя давление воздуха создавалось электромагнитным приводом, одновременно являющимся поршнем в момент отключения выключателя, что удлиняло процесс отключения выключателя.

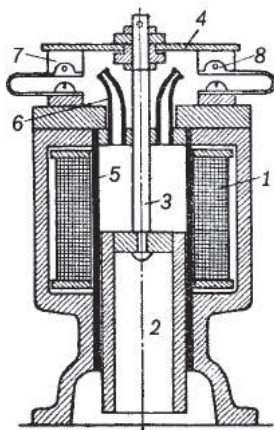


Рис. 8—2 Выключатель Джонсона и Лунделя с гашением дуги сжатым воздухом (1900 г.)

б) Выключатель Рида (США)

В 1901 г. Р. Рид предложил выключатель с полым контактом [рис. 8-3]. На этот тип выключателя был получен в США патент № 716848 [Л. 8-4].

Неподвижный полый контакт 1 выключателя снабжен сменным дугогасительным контактом. Подвижный контакт 8 имеет подпружиненный дугогасительный контакт 2. Воздушный вентиль 3, служащий для подачи сжатого газа, открывается и закрывается электромагнитным реле 4. На рисунке выключатель показан во включенном положении, удерживаемом в таком состоянии защелкой 5, которая открывается рычажной передачей при опускании вниз поршня 6. При подаче вспомогательного тока в катушку реле 4 втягивается сердечник 7, кинематически связанный с вентиляем 3 и открываю-

щий доступ сжатого газа в камеру А выключателя. Под действием сжатого воздуха, поступившего в камеру А, поршень 6 перемещается вниз и тем освобождает защелку 5. Подвижной контакт 8 под действием пружин 9 быстро отходит вниз, и находящийся в камере А воздух выбрасывает электрическую дугу внутрь полого неподвижного контакта 1, где она деионизируется и гасится.

Выключатель Рида имеет ряд элементов, которые впоследствии нашли применение в выключателях с гашением дуги сжатым воздухом. К числу таких элементов относятся: применение полого контакта;

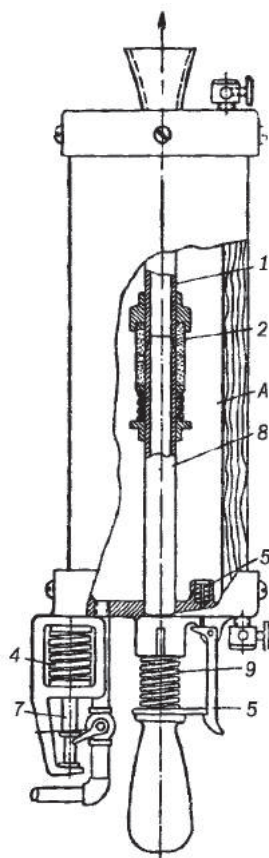


Рис. 8-3 Выключатель Р.Рида с гашением дуги сжатым воздухом (1901 г.)

расхождения контактов выключателя только после достижения надлежащего давления воздуха в пространстве А, т. е. в полости гасительной камеры; применение конической насадки у выхода ионизированного газа из трубчатого неподвижного контакта, что создает условия для увеличения скорости удаления ионизированных газов.

в) Выключатель Джексона (США)

Выключатель со свободной струей воздуха для гашения электрической дуги [рис. 8-4] был в 1905 г. предложен Р. Джексоном.

Такой выключатель был разработан в двух модификациях, и на эти обе конструкции выключателя были получены в 1906 г. в Германии патенты [Л. 8-5].

В цилиндре 1 выключателя установлен подпружиненный поршень 2, шток которого 3 связан с подвижным контактом 4 выключателя. Неподвижный контакт 5 установлен на особой изолированной стойке. Давлением воздуха, находящегося в цилиндре 1, поршень 2 удерживается в крайнем правом положении, а выключатель во включенном состоянии. При отключении выключателя открывается клапан 6, давление воздуха в цилиндре 1 падает, и поршень 2 под действием пружины 7 перемещается в крайнее левое положение. Подвижный контакт 4 отходит от неподвижного подпружиненного контакта 5, и между ними загорается электрическая дуга. Одновременно с расхождением контактов 4 и 5 клапан 8 автоматически открывает доступ сжатого воздуха из пространства 9 в головку 10, откуда через центральный канал в теле

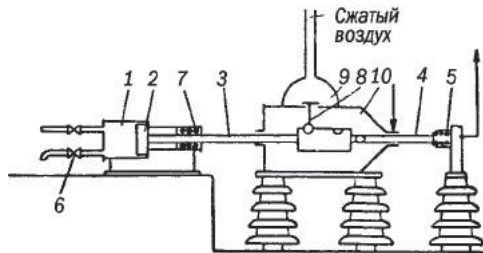


Рис. 8—4. Выключатель Р. Джексона со свободной гасящей струей воздуха (1905 г.)

подвижного контакта 4 и кольцевую щель сжатый воздух устремляется к месту горения дуги.

Предложенная Джексоном конструкция выключателя являлась одной из первых попыток инженерного решения задачи гашения электрической дуги струей сжатого воздуха. Примененный им полый контакт с целью подачи дугогасящей среды к месту горения дуги нашел применение в маломасляных выключателях французской фирмы Делль. Расхождение контактов вне гасительной камеры и гашение дуги свободной струей воздуха нашли применение в выключателях фирмы АЭГ, известных как выключатели «со свободной струей воздуха».

г) Роговой выключатель фирмы «Сименс-Шуккерт» с воздушным дутьем

Первый вариант 1914 г.

Незадолго до начала Первой мировой империалистической войны 1914 г. фирма «Сименс-Шуккерт» установила на электрифицированном участке железной дороги роговой выключатель с воздушным дутьем [Л. 8-6].

Выключатель этот [рис. 8-5] предназначался для установки в цепи постоянного тока.

При включенном положении выключателя ток протекает от контактного провода 4 в цепь 5 через главные контакты 1 и 2.

При отключении выключателя рычаг 8 опускает контактный мостик 9 и в цепи катушки соленоида 12 начнет протекать ток от контакта 2 через сопротивление 14 на землю. Под действием магнитного поля, образованного катушкой 12, втягивается стальной сердечник и при этом производится открытие вентиля 6, установленного на трубопроводе сжатого воздуха 10. Через сопло 7 струя сжатого воздуха устремляется к месту горения электрической дуги между контактами 1 и 2. Электрическая дуга выдувается на рога 3 и там гасится струей воздуха. При погасании электрической дуги прекращается протекание тока через катушку 12 и вентиль 6 автоматически закрывается под действием пружины 11.

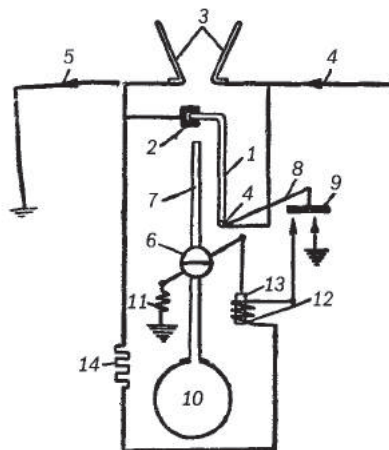


Рис. 8—5 *Роговой выключатель постоянного тока фирмы «Сименс-Шуккерт» с воздушным дутьем (1914 г.)*

На этот тип выключателя фирма «Сименс-Шуккерт» в 1915 г. получила германский патент.

По сравнению с опытами АЭГ, проведенными фирмой в 1897 г. на электростанции Обершпре, прогресс в конструкции выключателя фирмы «Сименс-Шуккерт» состоит в установке рогов под местом образования дуги и в автоматизации подачи воздуха при расхождении контактов выключателя.

Выключатель с деионной решеткой и воздушным дутьем

Через 17 лет после получения первого патента на воздушный выключатель с гашением дуги сжатым воздухом фирма «Сименс-Шуккерт» делает заявку в 1931 г. и получает зависимый германский патент [Л. 8-7] от выключателя, описанного выше.

В новом выключателе [рис. 8-6] во включенном положении в цилиндрах 1 находится сжатый воздух, удерживающий поршни в крайнем верхнем положении. При отключении выключателя сжатый воздух из цилиндров 1 выпускается, и подпружиненные поршни передвигаются вниз и штоками 2 повертывают рычаги 3,

что сопровождается расхождением контактов 4. Одновременно открывается доступ сжатого воздуха в сопло 5 из резервуара 6. Возникающая между контактами 4 электрическая дуга растягивается и гасится в металлической решетке 7, разрезающей дугу на ряд коротких дуг.

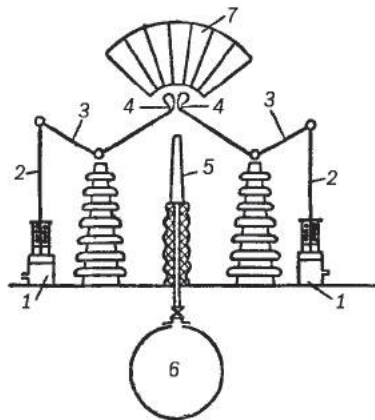


Рис. 8—6 Выключатель с деионной решеткой и воздушным дутьем фирмы «Сименс-Шуккерт» (1931 г.)

Из рассмотрения этого патента фирмы «Сименс-Шуккерт» видно, что эта фирма еще не оценила важности и прогрессивности исследований, сделанных в 1929 г. Руппелем, и по-прежнему решала вопрос в области старых взглядов, а именно применяя простое воздушное дутье и металлическую решетку для гашения и охлаждения дуги.

д) Выключатель завода «Эрликон» (Швейцария)

Завод «Эрликон» в 1922 г. получил в Швейцарии и Германии патенты на выключатель с гашением дуги сжатым воздухом [Л. 8-8].

Подвижной контакт 1 выключателя [рис. 8-7] укреплен на поворачивающемся рычаге 2, который связан со штоком 3 поршня 4, находящегося в пневматическом цилиндре 5. Выключатель может быть включен рукой или под действием электромагнита 6. Штанга 7, на которой укреплены клапаны 8 и 9 воздушных вентилях, перемеща-

ется вверх. При этом клапан 8 закрывает доступ сжатого воздуха в трубку 10, а клапан 9 открывает доступ воздуха под поршневый поршень 4 цилиндра 5. Под действием давления воздуха поршень 4 поднимается и шток 3 замыкает контакты 1 и 12.

При отключении выключателя штанга 7, опускаясь, закрывает клапан 9 и открывает клапан 8. Находящийся под поршнем 4 сжатый воздух устремляется через трубку 11 и сопло 13 к месту горения дуги, возникшей при расхождении контактов 1 и 12.

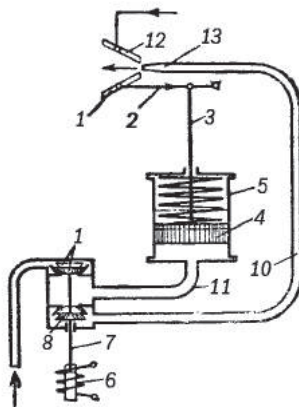


Рис. 8—7 Выключатель завода «Эрликон» с гашением дуги сжатым воздухом (1922 г.)

В выключателе завода «Эрликон» имеет место дальнейшее усовершенствование автоматики, обеспечивающей одновременность расхождения контактов выключателя с подачей дутья сжатого воздуха к месту образования дуги.

е) Общие выводы

Из приведенных выше данных можно сделать заключение, что попытки применить дутье сжатого газа для гашения электрической дуги имели место, начиная с 1897 г. по 1927 г.

Ввиду того, что вопросы гашения струей сжатого газа электрической дуги не были достаточно изучены, перечисленные выше

выключатели не давали хороших результатов при их испытании и эксплуатации.

Хорошие результаты эксплуатации масляных выключателей в начале столетия привели к тому, что основным типом выключателей в 1910–1930 гг. стали масляные выключатели для напряжений до 220 кВ с мощностью отключения до 2500 Мва.

По мере роста мощности электрических станций и увеличения напряжений в линиях передач был выдвинут вопрос о создании выключателей на более высокие напряжения и с большей отключаемой мощностью.

Решение этой проблемы путем укрупнения размеров масляного выключателя в его старых формах было явно неприемлемым выходом. Необходимо было создать принципиально новые конструкции выключателей, которые имели бы меньшие габаритные размеры, обладали бы требующейся отключающей мощностью, имели бы меньшую продолжительность горения дуги и не представляли опасности в отношении пожара и в случае взрыва выключателя. Эта задача в тридцатых годах была разрешена путем создания выключателей с гашением дуги сжатым воздухом.

8–4 РАБОТЫ РУППЕЛЯ (ГЕРМАНИЯ)

В 1925–1926 гг. Руппель проводил ряд исследований по гашению электрической дуги в разрядниках струей сжатого воздуха. Чтобы увеличить скорость истечения струи воздуха, выходное отверстие выполнялось в виде конического расширяющегося сопла.

Получившийся сильный дугогасящий эффект привел к мысли использовать такое устройство для гашения электрической дуги в выключателях.

С таким предложением Руппель обратился к фирме АЭГ.

Как вспоминает Грюнвальд, один из участников первых опытов гашения дуги струей воздуха, проводившихся в 1897 г. на электростанции Обершпре, предложение Руппеля было сделано им в весьма благоприятный момент. Незадолго перед этим произошло несколько взрывов масляных выключателей, сопровождавшихся пожарами и человеческими жертвами. Эти взрывы вновь подняли вопрос о том, что масляный выключатель является опасным звеном в электрических системах.

Призванный защищать отдельные участки энергосистем от повреждений при перегрузках и коротких замыканиях масляный выключатель сам взрывается и является причиной тяжелых аварий, сопровождающихся пожарами.

В двадцатых годах европейские электротехнические фирмы проводили конструктивные разработки выключателей для напряжения 220 кв. Столь высокое напряжение в 1920 г. уже было применено в США на линии передачи в Калифорнии.

Разработка конструкций масляных выключателей показала, что объем масла в баковых выключателях растет в третьей степени к росту напряжения, т. е. при переходе от 110 к 220 кв объем масла в баках выключателя увеличивался в 8 раз. Такой резкий рост объемов масла в выключателях увеличивал и их пожарную опасность в случае взрыва.

Полученный Руппелем эффект успешного гашения электрической дуги струей воздуха при больших скоростях истечения через сопло явился полной неожиданностью для многих лиц, которые занимались вопросом конструирования новых типов выключателей. Опыты Руппеля быстро получили высокую оценку со стороны фирмы АЭГ, и его предложение строить выключатели с гашением дуги сжатым воздухом было принято.

За время с 1927 г. по 1936 г. Руппель получил 92 патента в Германии на различные конструкции выключателей. Им были запатентованы выключатели с гашением дуги сжатым воздухом в различных модификациях с однократным и многократным разрывами цепи

тока, со взрывчатым веществом, с пристроенными отъединителями в нескольких исполнениях.

Исследование выключателя Руппеля с гашением дуги сжатым воздухом и опыты с ним были поручены известному немецкому специалисту по выключателям И. Бирмансу, который в то время работал над созданием водяного выключателя. Вскоре Бирманс сделал доклад в Электротехническом обществе, где он дал хороший отзыв о предложенной Руппелем конструкции выключателя с гашением дуги сжатым воздухом [Л. 8-9]. Особенностью конструкции являлось то, что в процессе отключения выключателя подвижной контакт втягивался в зону повышенного давления. Между неподвижным и подвижным контактами выключателя создавался мощный поток воздуха, что быстро деионизировало пространство между электродами и приводило к гашению дуги в течение первого полупериода.

Недостатком масляного выключателя, по мнению Бирманса, являлись небольшая скорость расхождения контактов выключателя и медленная деионизация дугового пространства. Вследствие этого под действием восстанавливающегося напряжения электрическая дуга в масляном выключателе несколько раз зажигалась после очередного ее погасания при переходе тока через нулевое значение. Такие повторные зажигания приводили к обгоранию контактов масляного выключателя и затягивали процесс отключения.

Применяя для гашения дуги сжатый воздух, можно установить такое давление и скорость воздуха, которые обеспечат быстрое удаление ионизированных газов из области дугового столба и тем осуществят гашение дуги в течение полупериода или одного периода. В разработанном Руппелем выключателе подвижной контакт при отключении втягивался в область повышенного давления воздуха, т. е. в зону, где воздух обладает повышенной электрической прочностью.

Проверочными испытаниями было установлено, что при заданном профиле сечения сопла и определенном начальном давлении воздуха максимальная отключаемая мощность получается при

вполне определенном расстоянии подвижного контакта от сопла, являющегося неподвижным контактом.

Было также установлено, что наилучшее действие отключающего устройства получается в том случае, если подвижной контакт займет наивыгоднейшее положение для гашения дуги в возможно более короткий промежуток времени.

После окончания гашения дуги подвижной контакт перемещается с небольшой скоростью дальше и останавливается от неподвижного на расстоянии, обеспечивающем достаточную изоляцию между подвижным и неподвижным контактами в выключенном положении выключателя.

После сообщения в печати об успешных работах Руппеля и о постройке первых выключателей с воздушным дутьем стало очевидным, что проблема постройки выключателей с воздушным дутьем имеет многообещающие перспективы. Почти все ведущие электротехнические фирмы стали вести работы в области исследований и создания новых конструкций выключателей с воздушным дутьем.

За период с 1900 по 1930 г. включительно в Германии было выдано 13 патентов на выключатели с гашением дуги сжатым воздухом.

После опубликования работ Руппеля сразу произошел скачок в выдаче патентов. За период с 1931 по 1935 г. число выданных в Германии патентов на эти выключатели составило 198.

В дальнейшем число патентов все время увеличивалось, что свидетельствует о большом интересе, который стали проявлять электротехнические фирмы и отдельные изобретатели к созданию новых конструкций выключателей с гашением дуги сжатым воздухом.

8–5 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ АЭГ (ГЕРМАНИЯ)

а) Первые выключатели конструкции 1929–1935 гг.

При разработке выключателей с воздушным дутьем фирма АЭГ стремилась осуществить следующие два условия:

- 1) расположить оба контакта симметрично по отношению ко всей вытекающей струе воздуха;
- 2) поместить хотя бы одну из конечных точек электрической дуги в сфере наивысшей скорости струи воздуха, производящей гашение электрической дуги.

Наиболее рациональной конструкцией, отвечающей этим требованиям являлась кольцевая форма неподвижного контакта.

Описание и схематический чертеж первого выключателя, построенного фирмой АЭГ, опубликованы в «ETZ» в 1929 г. [Л. 8-9].

Первый выключатель с воздушным дутьем и одним разрывом тока на полюс был выполнен трехполюсным для напряжения 15 кв [рис. 8-8].

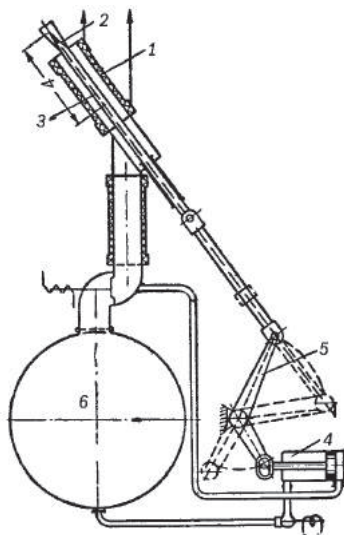


Рис. 8–8 Разрез первого выключателя для 15 кв фирмы АЭГ с гашением дуги сжатым воздухом (1929 г.)

Гасительная камера 1 выполнена из изолирующего материала. Неподвижный контакт 2 представляет собой сопло, в узкую часть которого входит подвижной контакт 3, приводимый в движение поршнем пневматического цилиндра 4 и соответствующей системой рычагов 5. Выключатель смонтирован на цилиндрическом баке 6, в котором находился сжатый воздух.

Такой выключатель в однополюсном исполнении был испытан при различных давлениях воздуха в пределах от 2,5 до 15 ат и показал при напряжениях 10–15 кв мощность отключения до 270 Мва.

Выключатель, показанный на рис. 8-9, предназначен для напряжения 10 кв, 600 а и был построен фирмой АЭГ в трехполюсном исполнении. Его мощность отключения была равна 600 Мва.

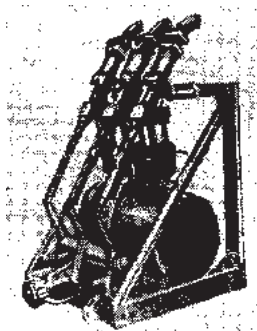


Рис. 8—9 Трехполюсный выключатель на 10 кв, 600 а, 600 Мва фирмы АЭГ с гашением дуги сжатым воздухом (1929 г.)

В 1930 г. Бирманс сообщил [Л. 8-10], что фирмой АЭГ построен выключатель с гашением дуги сжатым воздухом, имеющий два разрыва тока на полюс [рис. 8-10]. Подвижные контакты 1 и 2 установлены на концах гетинаксовых штанг 5 и 6. Неподвижные контакты 3 и 4 выполнены в виде сопел. При размыкании выключателя подвижные контакты 1 и 2 под действием пневматического привода отходят от неподвижных контактов 3 и 4. При этом на каждый полюс образуются две последовательно включенные электрические дуги. При испытании такой выключатель показал отключаю-

щую мощность 1250 Мва; гашение дуги осуществилось в течение одного полупериода.

Приведенные выше выключатели следует рассматривать как опытные конструкции, построенные фирмой АЭГ по разработкам Руппеля.

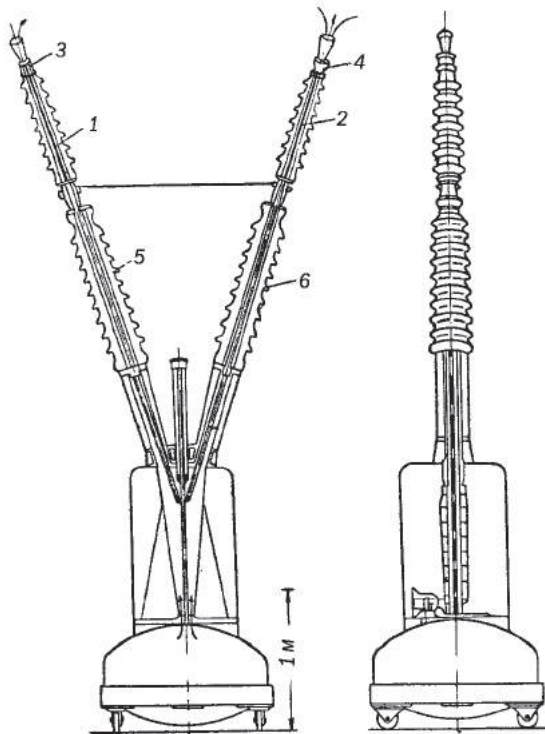


Рис. 8-10 Выключатель с гашением дуги сжатым воздухом фирмы АЭГ с двумя разрывами цепи тока на полюс для 600 кв, 1250 Мва (1930 г.)

На аналогичный выключатель с двойным разрывом цепи тока Руппель получил в Германии патент № 580699 по заявке от 4 июля 1929 г.

В 1933–1934 гг. фирма АЭГ разработала первую серию выключателей с гашением дуги сжатым воздухом с одним разрывом цепи тока на полюс для напряжений от 3 до 220 кв [рис. 8-11].

На корыччатом основании 1 в нижней части помещен цилиндр с поршнем 2, приводимый в движение сжатым воздухом. В процессе включения открывается кран 10, поршень 2 перемещается в крайнее верхнее положение и своим штоком поворачивает рычаг 3, связанный с подвижным контактом 4. Неподвижный контакт 5 установлен вверху гасительной камеры, выполненной из изолирующего материала и снабженной глушителем 7. При отключении через клапан 9 по трубопроводу подается сжатый воздух в гасительную камеру и одновременно по трубке 6 сжатый воздух поступает под верхнюю крышку цилиндра пневматического привода. Поршень 2 опускается вниз и между подвижным 4 и неподвижным 5 контактами образуется электрическая дуга, которая гасится струей сжатого воздуха, выходящего через сопло неподвижного контакта 5.

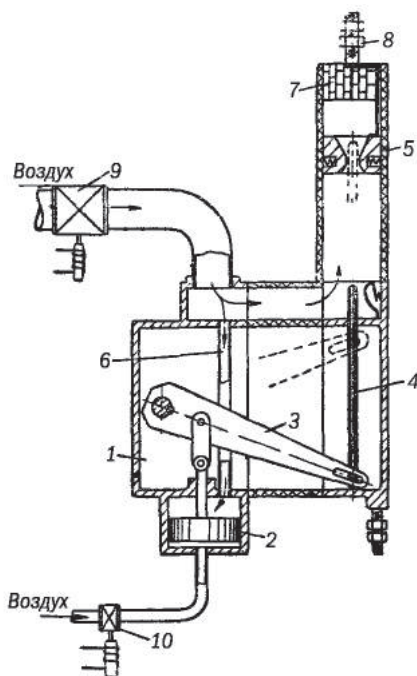


Рис. 8—11 Выключатель с гашением дуги сжатым воздухом с одним разрывом цепи тока на полюс фирмы АЭГ на 10 кВа, 600 а (1933 г.)

На рис. 8-12 показаны внешний вид и разрез одного из серии выключателей для напряжений 60–220 кВ с мощностью отключения от 1000 до 2500 Мва. Все три фазы выключателя смонтированы на общей раме. Пневматический привод размещен между боковыми стенками рамы, образованными четырьмя резервуарами сжатого воздуха.

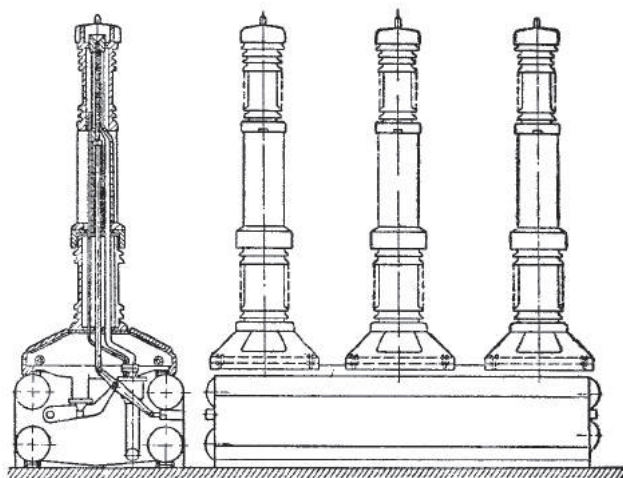


Рис. 8—12 Внешний вид и разрез колонкового выключателя с гашением дуги сжатым воздухом фирмы АЭГ с одним разрывом цепи тока на полюс для напряжений 60–200 кВ (1933 г.)

Характерной особенностью привода этой серии выключателей было наличие трех пневматических цилиндров, поршни которых через шток и систему рычагов осуществляли перемещение подвижных контактов выключателей.

В 1928 г. фирма АЭГ предложила новую конструкцию привода для перемещения контактов выключателя путем установки поршня, непосредственно укрепленного на нерабочем конце подвижного контакта. На эту конструкцию привода подвижного контакта фирма АЭГ получила в 1930 г. германский патент [Л. 8-11]. Изобретателем этой конструкции был Риттмейр, как то указано в германском патенте.

Подвижной контакт *1* [рис. 8-13] связан с поршнем *2*. При подаче сжатого воздуха по трубе *3* над поршнем *2* создается давление воздуха, и поршень *2* вместе с подвижным контактом *1* передвигается вниз.

Между контактами *1* и *4* образуется дуга, которая быстро гасится сильной струей воздуха, протекающего через сопло, установленное на неподвижном контакте *4*.

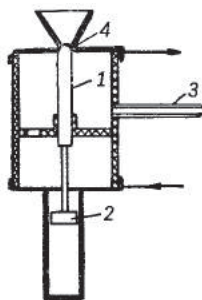


Рис. 8—13 Новая конструкция привода подвижного контакта в выключателях фирмы АЭГ, предложенная К. Риттмейером (1923 г.)

Здесь следует отметить, что идея установки на конце подвижного контакта поршня для передвижения подвижного контакта принадлежит Руппелю. На такую конструкцию в 1928 г. Руппелю был выдан германский патент № 543132. В предложенной Руппелем конструкции пружины у поршня ускоряли ход подвижного контакта, а в выключателе фирмы АЭГ они возвращают подвижной контакт в исходное положение по окончании процесса отключения.

Идея непосредственной связи поршня с подвижным контактом выключателя нашла широкое применение в новой серии выключателей фирмы АЭГ со свободной струей воздуха.

б) Выключатели со свободной струей воздуха

При поставке выключателей серии 1932–1933 гг. появились нарекания со стороны заказчиков на большие размеры выключателей, высота которых при 220 кв достигала 7 м. В этой серии выключателей

гасительная камера выполнялась из изолирующего материала, и ее размеры по длине сильно увеличивались с ростом рабочего напряжения. Это объяснялось тем, что на одном конце гасительной камеры размещался неподвижный контакт, а через дно камеры проходил подвижной контакт с длинной штангой, связанной с рычажным механизмом пневматического привода. Чтобы уменьшить габаритные размеры выключателя и сделать его более компактным и дешевым, фирма АЭГ в 1935 г. разработала новую конструкцию выключателя со свободной струей воздуха и получила на нее в 1939 г. германский патент № 683016. В этом типе выключателя нашла применение идея непосредственной связи подпружиненного поршня с подвижным контактом.

Подвижные контакты *1* [рис. 8-14] помещены в гасительные головки и в момент отключения втягиваются внутрь грибообразных изоляторов *2*. Контакты *1* передвигаются под давлением сжатого воздуха на подпружиненные поршни *4*, укрепленные на концах подвижных контактов. Последние проходят через изоляторы *2* с зазором, так что при подаче сжатого воздуха в процессе отключения выключателя свободная струя воздуха устремляется через кольцевую

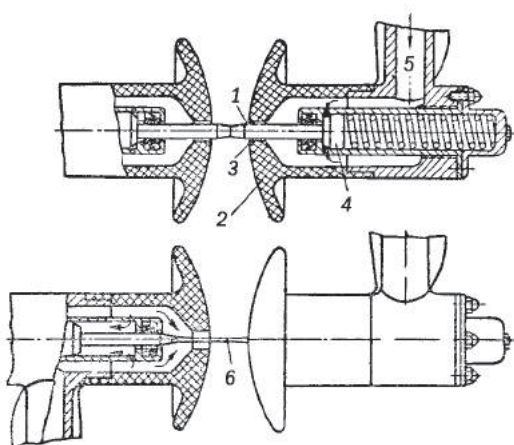


Рис. 8—14 Гасительная головка выключателя фирмы АЭГ со свободной струей воздуха (1935 г.)

щель 3 к месту расхождения контактов 1, где образуется электрическая дуга б. При дальнейшем движении контактов дуга затягивается внутрь гасительных камер.

В момент прохождения контакта 1 через отверстие в головке грибообразного изолятора 2 оба конца дуги интенсивно обдуваются струей сжатого воздуха, поступающего по трубе 5, и дуга б гасится в течение одного-двух полупериодов.

К дальнейшему улучшению выключателя со свободной струей воздуха служило предложение поместить обе гасительные головки на концах пустотелых рычагов, установленных на верху опорных изоляторов. После окончания процесса гашения дуги опорные изоляторы поворачивались на угол около 80° , и тем создавался достаточный воздушный промежуток между обеими гасительными головками, что давало возможность не ставить отъединителя.

На конструкцию выключателя в 1936 г. [рис. 8-15] была подана заявка и получен германский патент № 703743.

На головках опорных изоляторов укреплены пустотелые рычаги, несущие на свободных концах гасительные головки. Изоляторы поворачиваются, и гасительные головки расходятся одна от другой

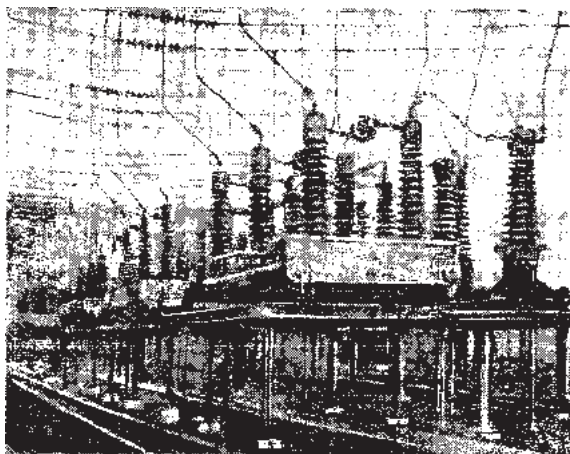


Рис. 8—15 *Трехполюсный выключатель фирмы АЭГ с гашением дуги сжатым воздухом на 220 кв (1940 г.)*

в горизонтальной плоскости. Этого типа выключатели снабжались устройством для автоматического повторного включения. Недостатком этой конструкции выключателя являлось то обстоятельство, что в процессе гашения дуги пары металла обгорающих контактов вдувались в зону дуги и тем затрудняли деионизацию дугового пространства.

в) Выключатели фирмы АЭГ выпуска 1952–1953 гг.

В журнале «ETZ» за 1953 г. [Л. 8-12] помещена статья И.Бирманса, где он приходит к выводу, что современные выключатели с дутьем воздуха под давлением являются наиболее дешевым устройством, имеют наивысшую скорость отключения и особо пригодны, когда по условиям надежности и бесперебойности подачи энергии необходимо осуществлять быстрые повторные включения. Кроме того, выключатели с гашением дуги сжатым воздухом наиболее безопасны в пожарном отношении. Одновременно он указывает, что требуемые мощности отключения настолько быстро растут, что уже теперь в США требуются выключатели с мощностью отключения 15 000 *Mva*, что соответствует отключаемому току 50 *ка* при рабочем напряжении 220 *кв*.

Такие требования в отношении мощности отключения предъявлять к выключателю, по мнению Бирманса, нерационально. Является более целесообразным делить мощные системы на части или устанавливать ограничители токов короткого замыкания. Наиболее мощные выключатели с гашением дуги сжатым воздухом в 1952 г. установлены фирмой АЭГ на Рейнско-Вестфальской электрической станции, где была введена первая в Германии линия электропередачи между Браунвейлером и Рейнау 300 *кв* протяженностью 225 *км*. Для этой установки фирма АЭГ изготовила выключатели с гашением дуги сжатым воздухом с мощностью отключения 4000 *Mva* [рис. 8-16].

г) Выключатели фирмы АЭГ выпуска 1954 г.

Дальнейший ход развития энергетических систем не стал на путь, предложенный Бирмансом в части ограничения мощности коротких замыканий в системах.

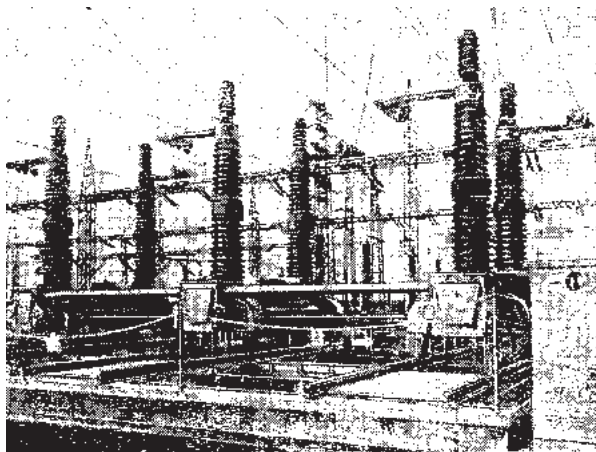


Рис. 8—16 *Трехполюсный выключатель фирмы АЭГ с гашением дуги сжатым воздухом на 360 кв, 4000 Мва на Рейнско-Вестфальской электростанции (1952 г.)*

Чтобы не отстать от других конкурирующих фирм, фирме АЭГ пришлось пересмотреть свои взгляды на этот вопрос и разработать новую конструкцию выключателя с гашением дуги сжатым воздухом на мощности отключения до 12 000 Мва. Это новое направление в работах фирмы АЭГ освещено в статьях А.Хохрайнера и И.Бирманса — директоров «Института высоких напряжений фирмы АЭГ», помещенных в 1955 г. в журнале «ETZ» № 8 и 20. Из этих статей можно усмотреть, что фирма АЭГ стала на путь создания выключателя с многократным разрывом цепи тока, выполненного из ряда последовательно включенных гасительных камер, установленных на отдельных колоннах опорных изоляторов.

В отличие от ранее применявшихся грибообразных гасительных камер со свободной струей воздуха, у которых подвижные контакты разводились под действием давления воздуха на подпружиненный поршень, в новой конструкции гасительной камеры выключателя отсутствует подпружиненный поршень. Он заменен поршнем, движение которого осуществляется путем подвода сжатого воздуха по отдельным воздухопроводам к одной или другой стороне поршня.

На рис. 8-17 показан разрез двойной гасительной камеры этого выключателя в отключенном положении. На опорном изоляторе 1 установлена гасительная камера с двумя подвижными контактами 2, снабженными поршнями 3.

Наверху гасительной камеры помещены в фарфоровых покрывках 4 делители напряжения, выполненные в виде конденсаторов 5. На концах фарфоровых покрывшек укреплены держатели 6 с неподвижными контактами 7.

При включении сжатый воздух подается по трубе, выполненной из изолирующего материала и установленной по центру опорного изолятора 1.

В процессе отключения сжатый воздух поступает по кольцевому пространству 9, образованному телом опорного изолятора 1 и трубой 8.

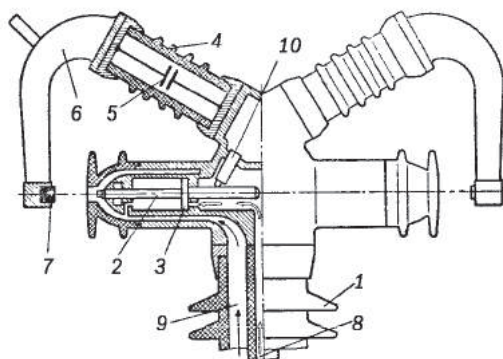


Рис. 8-17 Разрез гасительного устройства выключателя фирмы АЭГ с многократным разрывом цепи тока (1954 г.)

В отключенном положении защелка 10 защемляет подвижный контакт и тем предотвращает возможность произвольного выдвижения.

Ход каждого подвижного контакта около 200 мм, что обеспечивает достаточный воздушный промежуток для предотвращения перекрытия в выключенном состоянии под действием соответствующего нормам испытательного напряжения.

Наличие реактивного типа делителей напряжения и увеличенный ход подвижных контактов позволили отказаться от установки отделителя.

Первый трехполюсный выключатель этого типа был установлен фирмой АЭГ на подстанции Вейль-Добке Рейнско-Вестфальской электрической станции.

Выключатель имеет восемь разрывов цепи тока. Последовательно включенные гасительные камеры смонтированы на четырех колоннах опорных изоляторов. Отключаемая мощность 8000 *Мва*.

Путем соответствующего набора гасительных камер фирма АЭГ разработала единую серию выключателей в следующем исполнении:

Таблица 8-2

Напряжение, <i>кв</i>	110	220	380
Число разрывов на полюс	4	8	12
Отключаемая мощность, <i>Мва</i>	4000	8000	12 000

На рис. 8-18 показан один полюс выключателя на 380 *кв*, 12 000 *Мва*.

У выключателя этого типа подвижной и неподвижный контакты подвергаются непосредственному воздействию атмосферного воздуха, что будет неблагоприятно отражаться на их состоянии — на них может образоваться отложение льда. При отключенном положении выключателя подвижной контакт втягивается внутрь гасительной головки, и через сопло гасительной головки может попадать влага внутрь выключателя, что при понижении внешней температуры воздуха создаст ледяную пробку и сделает невозможным включение. Выключатель фирмы АЭГ в новом конструктивном выполнении вряд ли окажется пригодным для работы в наших климатических условиях.

В заключение обзора развития выключателей с гашением дуги сжатым воздухом фирмы АЭГ следует обратить особое внимание на успешное применение фирмой выключателей с грибообразными

гасительными головками и со свободной струей воздуха. Как видно из рис. 8-4 и соответствующего к нему описания, конструкция выключателя со свободной струей воздуха была разработана Джексоном в 1905 г. В выключателе Джексона электрическая дуга образовывалась при расхождении контактов вне гасительной камеры. Струя сжатого воздуха подавалась по осевому каналу, находящемуся в теле подвижного контакта выключателя.

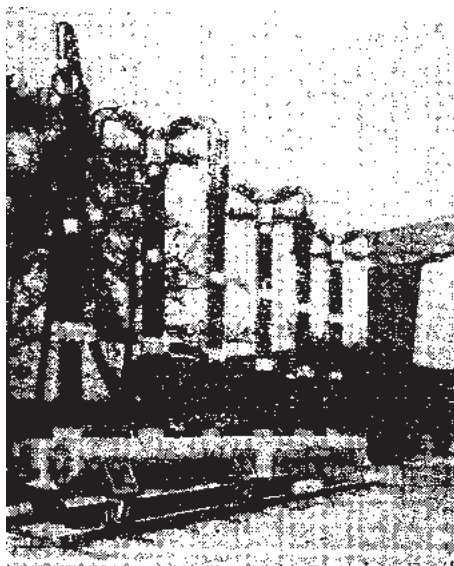


Рис. 8—18 Один полюс выключателя фирмы АЭГ с многократным разрывом цепи тока на 380 кв, 12 000 Мва (1955 г.)

Фирма АЭГ в своем выключателе с грибообразными гасительными головками подает сжатый воздух через кольцевую щель, образованную телом подвижного контакта и стенками сопла. Дуга гасится в момент прохождения конца подвижного контакта через отверстия сопла, т. е. в зоне наиболее интенсивного дутья.

Нельзя, конечно, утверждать, что конструкция выключателей фирмы АЭГ со свободной струей воздуха повторяет предложение Джексона, но известная преемственность в конструкции между обоими

типами выключателей существует. Это можно видеть в следующих конструктивных особенностях:

- а) Образование электрической дуги вне гасительной камеры с одновременным аксиальным обдуванием дуги струей сжатого воздуха;
- б) Применение пневматического устройства для перемещения подвижного контакта. При этом подвижной контакт непосредственно связан со штоком поршня пневматического устройства;
- в) Самостоятельное управление пневматическим устройством для передвижения подвижного контакта, что позволило осуществить выключатель с многократным разрывом цепи тока без отъединителя.

Приведенное сопоставление конструкций выключателей 1905 и 1955 гг. показывает, что старые идеи вновь становятся жизнеспособными для создания новых современных выключателей.

8—6 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ «БРАУН-БОВЕРИ»

Эта фирма строит выключатели для напряжения 400 кв с мощностью отключения 12 000 *Мва*.

Первые конструкции выключателей «Браун-Бовери»

1. Выключатель конструкции 1922 г.

В фирменном журнале «Браун-Бовери» помещена статья «К истории выключателей переменного тока Браун-Бовери» [Л. 8-13].

В статье приведена фотография первого выключателя, построенного фирмой в 1922 г. [рис. 8-19].

Выключатель однополюсный с одним разрывом цепи тока. На крышке цилиндрического бака 1 установлен ввод 2, на конце металлического стержня которого укреплен торцового типа неподвижный контакт 3. Перегородка 4 снабжена в центре отверстием, через которое проходит трубчатый контакт 5, укрепленный на подпружиненном поршне 6. Во включенном положении выключателя контакт 5 плотно прижат к неподвижному контакту 3 натягом пружины 7. При отключении по трубке 10 из резервуара подается сжатый воздух и одновременно освобождается защелка, которая удерживает контакт 5 во включенном положении. Под давлением сжатого воздуха контакт 5 отходит от неподвижного контакта 3, и между ними образуется электрическая дуга. При расхождении контактов к месту образования дуги устремляется струя сжатого воздуха, поступающая в трубчатый контакт 5 через окно 8, прорезанное в его стенке. Ионизированные газы удаляются в атмосферу через отверстия 9. Давление воздуха составляет 0,6 ат.

Испытания показали, что выключатель отключал ток 1400 а при 8000 в. Время гашения дуги составляло один полупериод.

Характерной особенностью конструкции выключателя было то, что сам неподвижный контакт является одновременно тарелкой

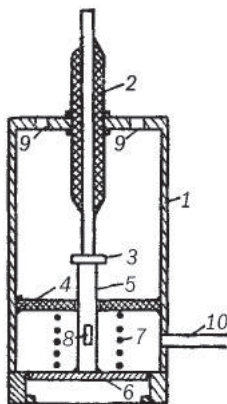


Рис. 8—19 Газительная камера первого выключателя фирмы «Браун-Бовери» с гашением дуги сжатым воздухом (1922 г.)

клапана, закрывающего выход сжатого воздуха из нижнего резервуара. Эта попытка фирмы «Браун-Бовери» сконструировать выключатель с гашением дуги сжатым воздухом показывает, что стремление применить в качестве дугогасящей среды воздух взамен масла имела место в Европе еще в начале двадцатых годов.

2. Выключатели конструкции 1930–1931 гг.

а) Выключатель со свободной струей и механическим передвижением контактов

В 1932 г. фирма «Браун-Бовери» получила германский патент на выключатель с гашением дуги сжатым воздухом [Л. 8-14].

На рис. 8-20 показана схематически гасительная камера этого выключателя.

В баке 1, наполненном сжатым воздухом, помещается стержень подвижного контакта 2 с рейкой 3, с которой сцеплен сектор шестерни 4, передвигающей контакт 2. На стержне контакта 2 установлен подпружиненный клапан 5, закрывающий во включенном положении

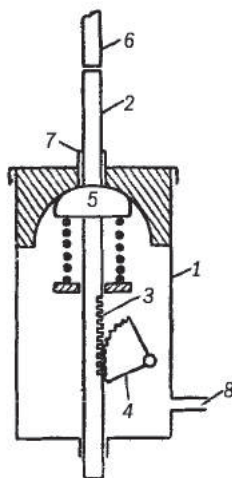


Рис. 8—20 Выключатель с гашением дуги сжатым воздухом фирмы «Браун-Бовери» со свободной струей и механическим передвижением контактов (1932 г.)

выключателя выход сжатого воздуха из бака 1. При отключении поворачивается сектор 4, и контакт 2 отходит от неподвижного контакта 6. Одновременно клапан 5 открывает кольцевую щель 7 между телом стержня контакта 2 и отверстием в крышке бака 1. Сжатый воздух из резервуара подается по трубке 8. Создается продольное дутье свободной струей воздуха, которое охлаждает дугу и деионизирует дуговое пространство. Эти выключатели не поступили в производство.

б) Выключатель с гашением дуги в зоне повышенного давления воздуха

В 1931 г. фирма «Браун-Бовери» сделала заявку и в том же году получила германский патент на выключатель с гашением дуги в зоне повышенного давления воздуха [Л. 8-15].

В баке 1 [рис. 8-21] встроена перегородка 2, являющаяся неподвижным контактом и имеющая отверстие 3 для выхода сжатого воздуха из правой полости бака 1 в левую. Подвижной контакт 4 сплошной и одновременно является воздушным клапаном, открывающим выход сжатого воздуха из правой части бака 1 к месту образования дуги между расходящимися контактами.

Сжатый воздух в гасительную камеру подается из резервуара по трубке 5 и имеет давление 15 ат. При отключении выключателя сжатый воздух дросселируется через отверстие 3 до давления 10 ат, которое поддерживается в левой части бака 1 во время процесса отключения.

Такое конструктивное оформление выключателя было предложено фирмой для повышения электрической прочности воздуха

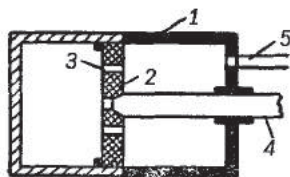


Рис. 8-21 Выключатель фирмы «Браун-Бовери» с гашением дуги в зоне повышенного давления воздуха (1931 г.)

в зоне образования дуги. По мнению фирмы, оно давало возможность создавать лучшие условия гашения дуги при значительно более высоких напряжениях отключаемого тока. Мысль поместить оба контакта выключателя в зону повышенного давления воздуха позднее была использована фирмой ДЖИИ при создании выключателей с гашением дуги сжатым воздухом.

в) Выключатели с одним разрывом цепи тока
на полюс и пристроенным отъединителем

В 1935 г. фирма «Браун-Бовери» стала изготавливать выключатели для внутренней установки [рис. 8-22 и 8-23] и разработала серию выключателей на напряжение $6 \div 50$ кв с мощностями отключения в пределах $100 \div 600$ Мва [Л. 8-16].

Выключатель с одним разрывом цепи тока на фазу снабжен пристроенным отъединителем 1. При отключении сжатый воздух

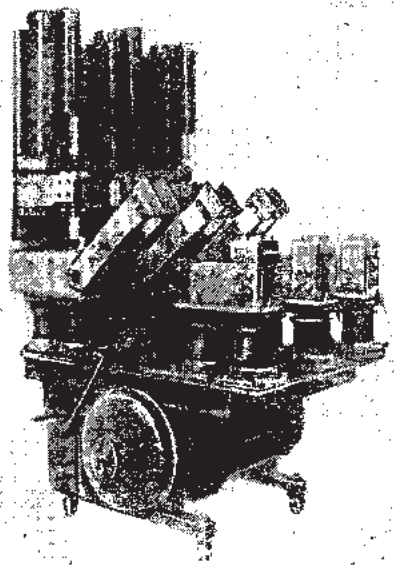


Рис. 8—22 Выключатель фирмы «Браун-Бовери» с гашением дуги сжатым воздухом при одном разрыве цепи тока на полюс и пристроенным отъединителем на 10 кв (1935 г.)

подается по трубке 9 в гасительную камеру и поршень 10 вместе с подвижным контактом 7 перемещается вниз. Образовавшаяся дуга между неподвижным 6 и подвижным 7 контактами деионизируется струей воздуха и в течение одного полупериода гаснет. Одновременно с подачей сжатого воздуха в гасительную камеру сжатый воздух подается в цилиндр 11 и тяга 3 рычагом 4 поворачивает вал 5, на котором насажен нож отъединителя 1. Отключение отъединителя производится после погасания дуги между контактами 6 и 7.

При включении сжатый воздух подается в цилиндр 2 и передвижением тяги 3 включается нож отъединителя. В отключенном положении выключателя в гасительной камере отсутствует давление, а потому контакты 6 и 7 оказываются замкнутыми под действием натянутой пружины 8.

В 1936 г. фирма «Браун-Бовери» разработала серию выключателей для внутренней установки напряжением до 64 кВ, мощностью отключения 800 МВА.

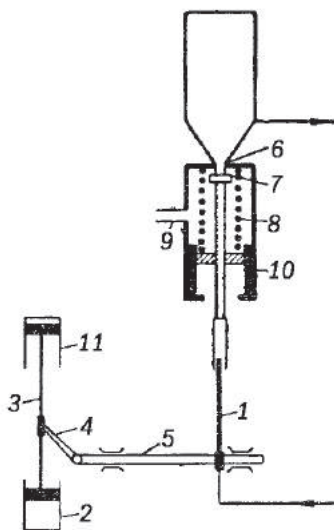


Рис. 8—23 Кинематическая схема и разрез гасительной камеры выключателя фирмы «Браун-Бовери» с гашением дуги сжатым воздухом и пристроенным отъединителем (1935 г.)

Широкий выпуск на рынок выключателей с гашением дуги сжатым воздухом, снабженных пристроенными отъединителями, является заслугой фирмы «Браун-Бовери». Однако здесь следует отметить, что идея установки отъединителя у выключателя с гашением дуги сжатым воздухом была предложена Руппелем и на такие выключатели им были получены два германских патента. По первому патенту № 556808 по заявке от 23 августа 1928 г. подвижной контакт выключателя жестко заблокирован со стержневым подвижным контактом отъединителя. В процессе отключения вначале размыкались контакты выключателя, а после гашения дуги при дальнейшем движении подвижного контакта освобождался подпружиненный отъединитель, который откидывался в сторону, создавая этим необходимый воздушный промежуток.

По второму германскому патенту Руппеля № 540152, выданному по заявке от 29 сентября 1929 г., предусматривалась установка у трехфазного выключателя с гашением дуги сжатым воздухом трех отъединителей ножевого типа. Поворот ножей происходил в горизонтальной плоскости. Предложение Руппеля устанавливать отъединители нашло впервые широкое применение не на родине, а в Швейцарии у выключателей фирмы «Браун-Бовери», а затем получило распространение во всем мире.

3. Выключатели колонкового типа с одним и двумя разрывами цепи тока

В 1937 г. фирма «Браун-Бовери» стала строить выключатели колонкового типа с одним и двумя разрывами цепи тока для наружной установки в сетях с напряжением 64, 87 и 150 кВ, мощностью отключения $600 \div 1800$ Мва.

Выключатели снабжались пристроенными отъединителями и были приспособлены для автоматического повторного выключения [рис. 8-24, 8-25].

Гасительная камера имеет два разрыва цепи тока на фазу. Около главной колонны 1 выключателя, через которую подается дутье в гасительную камеру, установлен дополнительный воздухопровод 2.

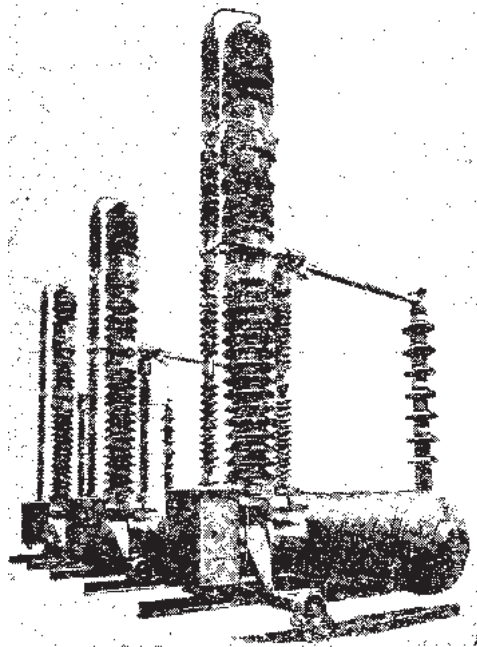


Рис. 8—24 Выключатель колонкового типа фирмы «Браун-Бовери» с гашением дуги сжатым воздухом при двух разрывах цепи тока и автоматическим повторным включением на 150 кв, 1800 Мва с пристроенным отъединителем (1937 г.)

Он служит для подачи сжатого воздуха в полость 3, где расположены поршни 4, укрепленные на нерабочих концах подвижных контактов 5. При отключении подается сжатый воздух из резервуара 6 в гасительные камеры 7. После первого отключения выключателя и гашения дуги срабатывает управляющее устройство для быстрого повторного включения. В этом случае по дополнительному воздухопроводу 2 подается сжатый воздух в полость 3 и поршни 4 передвинут и вновь замкнут контакты выключателей 5 и 8. Если короткое замыкание в сети не исчезло, то вновь срабатывает защитное реле и прекращается впуск сжатого воздуха по дополнительному воздухопроводу 2, и контакты 5 и 8 вторично разомкнутся. Вслед за этим произойдет поднятие ножа 9 отъединителя.

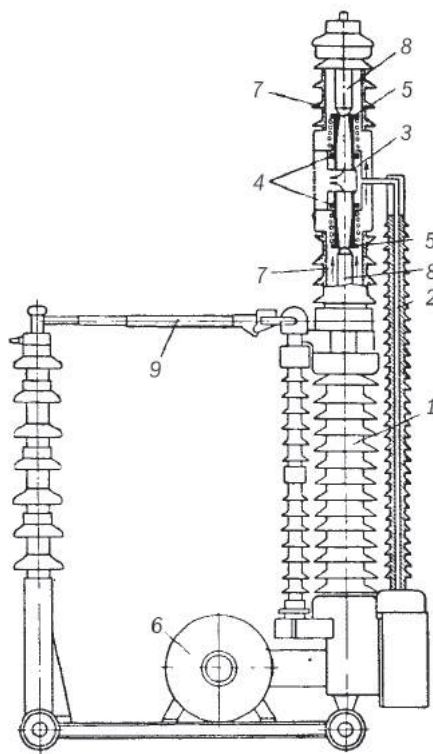


Рис. 8—25 Разрез выключателя на 150 кВ, 1800 Мва фирмы «Браун-Бовери» с гашением дуги сжатым воздухом с автоматическим повторным включением и пристроенным отъединителем (1937 г.)

В 1939 г. был построен выключатель на 220 кВ, гасительные камеры которого имели четыре разрыва цепи тока на фазу [рис. 8-26]. Выключатель не имел устройства для автоматического повторного включения. Он был рассчитан на рабочий ток 630 а и имел мощность отключения 2500 Мва. По своей конструкции он представлял собой спаренный выключатель на 110 кВ и имел четыре гасительные камеры, установленные попарно на двух колонках с общим отъединителем, находящимся между колонками выключателя [Л. 8-17]. В отличие от ранее описанных выключателей он имел делители напряжения для выравнивания восстанавливающегося напряже-

ния между отдельными местами разрыва цепи тока. При наличии четырех мест разрыва цепи тока на каждое место разрыва приходилось восстанавливающееся напряжение свыше 50 кВ, а при наблюдающихся в процессе отключения перенапряжениях оно еще могло значительно возрастать. Изготовленные сдвоенные выключатели на 220 кВ оказались весьма тяжелыми и дорогими.

Перед фирмой встал вопрос о создании новой, более совершенной конструкции выключателя. Взамен выключателей с небольшим числом мест разрыва цепи тока фирма стала строить выключатели с гашением дуги сжатым воздухом и многократным разрывом цепи тока.

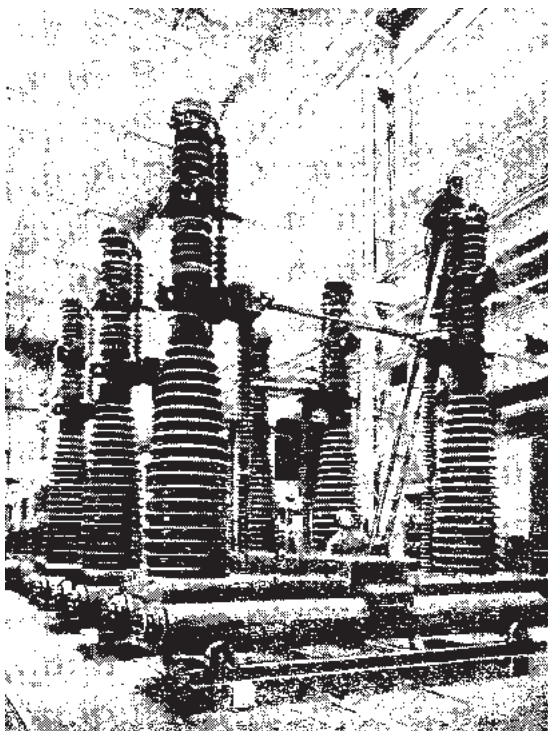


Рис. 8—26 Сдвоенный выключатель на 223 кВ, 2500 Мва, фирмы «Браун-Бовери» с четырьмя разрывами цепи тока с гашением дуги сжатым воздухом и внешним отъединителем (1939 г.)

4. Колонковые выключатели с многократным разрывом цепи тока

К проектированию колонкового выключателя с многократным разрывом цепи тока было приступлено в 1937 г. Характерной особенностью нового выключателя является увеличение числа мест разрыва цепи тока, примерно в 2 раза по сравнению с аналогичными по напряжению выключателями серии 1937 г.

Кроме того, новая серия выключателей должна была комплектоваться для всех напряжений из одних и тех же основных элементов и узлов.

В связи с большим числом мест разрывов в гасительной камере остро вставал вопрос об устройствах для выравнивания распределения восстанавливающегося напряжения между отдельными местами разрыва. Решение вопроса было найдено фирмой в постановке активных и реактивных делителей восстанавливающегося напряжения. На эту конструкцию выключателя с двойным делителем восстанавливающегося напряжения фирма в 1940 г. сделала заявку и получила в Германии патент [Л. 8-18], о чем было подробно изложено в гл. 6 этой книги.

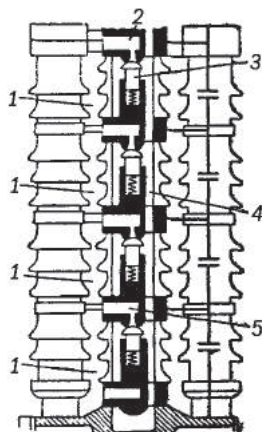


Рис. 8—27 Разрез гасительной камеры колонкового выключателя фирмы «Браун-Бовери» с гашением дуги сжатым воздухом и многократным разрывом цепи тока (1937 г.)

По внешнему виду такой выключатель имел вид колонны, почему и получил свое название – колонковый [рис. 8-27] [Л. 8-19].

Гасительная камера состоит из четырех отдельных частей 1, в которые вмонтированы отключающие элементы, каждый с одним разрывом цепи тока.

Число отключающих элементов выбирается в зависимости от требующейся мощности отключения и в соответствии с величиной рабочего напряжения. В каждом отключающем элементе имеется неподвижный контакт 2, выполненный в виде гнезда клапана с соплом, и сплошной подпружиненный подвижной контакт 3, закрывающий отверстие неподвижного контакта. Сжатый воздух из резервуара подводится к отдельным местам разрыва цепи тока по каналу 4. Образовавшиеся газы при отключении выключателя отводятся в атмосферу через отверстия 5.

При отключении выключателя сплошные подпружиненные контакты 3 отжимаются давлением воздуха от неподвижных контактов. Образовавшиеся дуги в местах расхождения контактов охлаждаются струями воздуха, и ионизированные газы удаляются, что приводит к погасанию дуги.

Фирма «Браун-Бовери» построила выключатель колонкового типа для напряжения 220 кв, 600 а и мощностью отключения 3500 Мва [рис. 8-28]. Он имел 11 мест разрыва цепи тока на полюс.

В связи с тем, что после окончания Второй мировой войны возник вопрос о строительстве в Швеции линии передачи с напряжением 380 кв, фирма «Браун-Бовери» предложила выполнить выключатель на такое напряжение путем спаренной установки двух выключателей колонкового типа, соединенных последовательно и снабженных усиленной изоляцией [рис. 8-29]. Он имеет 22 места разрыва цепи тока на полюс и поворотный разъединитель, установленный между ними.

Проведенные фирмой исследования показали, что столь большое число разрывов цепи тока весьма затруднило регулировку гасительной камеры для получения одновременности расхождения контактов в процессе отключения.

Контактная система принятой фирмой гасительной камеры имела малый ход у подвижных контактов и односторонний выход сжатого воздуха только через сопла неподвижных контактов, так как подвижные контакты были выполнены в виде сплошных стержней. При этой конструкции контактной системы допустимое восстанавливающееся рабочее напряжение не превышало 20 кВ на каждое место разрыва цепи тока. Здесь следует учесть, что при отключении длинных ненагруженных линий передачи или срезе тока при отключении малых индуктивных нагрузок могут возникать перенапряжения, превышающие нормальное восстанавливающееся напряжение в 2–3 раза.

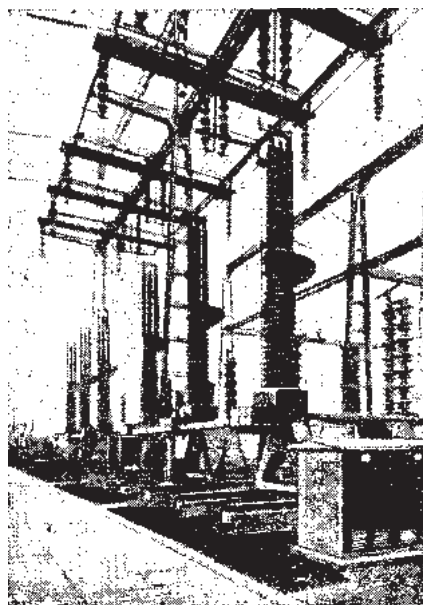


Рис. 8—28 Выключатель колонкового типа с 11-ю разрывами цепи тока на полюс фирмы «Браун-Бовери» на 220 кВ, 2500 Мва (1938 г.)

Недостаточная термическая устойчивость контактной системы не допускала увеличения мощности отключения свыше 3500 Мва, тогда как требования на поставку выключателей были на мощности отключения 5–8 000 Мва.

Наличие у выключателя колонкового типа внешнего отъединителя создавало затруднения при эксплуатации таких выключателей в местах, где могли иметь место обледенения неподвижных контактов у отъединителя. Все эти обстоятельства поставили вопрос о создании новой серии выключателей, свободной от указанных выше недостатков.

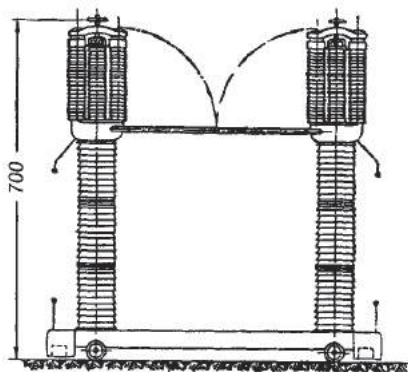


Рис. 8–29 *Сдвоенный выключатель на 400 кв 6000 Мва колонкового типа фирмы «Браун-Бовери» с 22 местами разрыва цепи тока на полюс и внешним отъединителем (проект) (1939 г.)*

5. Воздухонаполненные выключатели с многократным разрывом цепи тока

В 1948–1949 г. фирма «Браун-Бовери» разработала воздухонаполненный выключатель с многократным разрывом цепи тока [Л. 8–20].

При создании новой серии выключателей с гашением дуги сжатым воздухом фирмой были поставлены следующие задачи:

- 1) создать серию выключателей для рабочих напряжений от 45 до 400 кв с мощностью отключения в пределах 1000–12 000 Мва и гашением дуги в течение 0,01–0,015 сек;
- 2) сделать выключатели пригодными для работы без внешних отъединителей;
- 3) предусмотреть возможность комплектации выключателей новой серии на различные напряжения и требующиеся мощности отключения из единых для всей серии элементов и узлов.

Выполнение поставленных задач при конструировании новой серии выключателей было достигнуто следующими путями.

а) Основные особенности конструктивного оформления выключателя новой серии

В основу новой серии был положен воздушнонаполненный тип выключателя с многократным разрывом цепи тока, снабженного несколькими гасительными камерами. В отключенном положении выключателя его гасительные камеры оставались наполненными сжатым воздухом. Гасительные камеры соединялись последовательно, и количество их определялось величиной рабочего напряжения.

Деление восстанавливающегося напряжения производилось двумя делителями напряжения — активным и реактивным. Из них активный делитель напряжения автоматически подключался только на время протекания процесса выключения, а реактивный делитель был включен все время.

Выключатель не имел внешнего отделителя.

б) Одновременность размыкания контактов

Одновременность размыкания контактов зависела от выполнения двух требований, а именно: все гасительные камеры выключателя должны быть поставлены в одинаковые условия в отношении питания их сжатым воздухом и обязательного выполнения гасительных камер с идентичными механическими характеристиками. Первое требование выполнялось уменьшением числа мест разрывов цепи в одной гасительной камере и установкой гасительных камер на отдельных колоннах изоляторов, с подводом сжатого воздуха к каждой камере отдельным воздухопроводом. Второе требование достигалось соответствующей организацией производства гасительных камер на заводе-изготовителе. Однотипность применяемых гасительных камер позволила организовать их производство поточным способом, что обеспечило снижение издержек производства и выполнение строгих требований в части взаимозаменяемости деталей гасительных камер и уменьшения разброса технических характеристик.

в) ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ГАШЕНИЯ ДУГИ

Лабораторными испытаниями было установлено оптимальное давление воздуха в гасительной камере для получения наилучших результатов гашения дуги. При этом выяснилось, что при слишком малом давлении воздуха удлиняется время горения дуги, что является следствием недостаточной электрической прочности и малой скорости струи воздуха между контактами. При слишком большом давлении воздуха в гасительной камере наблюдаются обрывы тока раньше, чем наступит естественный переход тока через нулевое значение. Это может явиться причиной перенапряжений. В процессе окончательной регулировки гасительной камеры на заводе добиваются, чтобы все гасительные камеры размыкали контакты при установленном оптимальном давлении воздуха, выбранном на основе тщательно произведенных исследований и опытов. Расхождение контактов производится в два приема. Подвижные контакты с наивысшей возможной скоростью отходят от неподвижных контактов при отключении выключателя на расстояние, обеспечивающее оптимальные условия гашения дуги. Затем после погасания дуги подвижные контакты медленно отодвигаются на расстояние, обеспечивающее достаточную прочность воздушного промежутка между контактами. Это достигается установкой подпружиненного поршня и пневматического устройства, тормозящего ход подвижного контакта.

г) УМЕНЬШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ФАРФОРОВЫХ КОРПУСОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

Корпус гасительной камеры представляет собой пустотелый фарфоровый изолятор с ребрами на наружной поверхности. В процессе отключения и в отключенном положении выключателя внутри фарфорового корпуса и питательного трубопровода находится сжатый воздух давлением до 20 ат.

Стенки корпуса и трубопровода работают на растяжение, что может повести к разрыву стенок, так как фарфор на растяжение работает плохо. С целью снижения растягивающих нагрузок в фарфоровых деталях гасительной камеры желательно уменьшить диаметры

корпусов гасительной камеры и питательных трубопроводов. В новой серии выключателей [рис. 8-30] это достигнуто увеличением количества гасительных камер с питанием их по отдельным трубопроводам, что позволяет уменьшить диаметры гасительных камер и трубопроводов. Последнее мероприятие не представляется возможным осуществить в выключателях колонкового типа.

На общем резервуаре 1 со сжатым воздухом установлены две колонны изоляторов 2, наверху которых помещены гасительные камеры 3, каждая с двумя местами разрыва цепи тока. На гасительных камерах установлены активные делители напряжения 4.

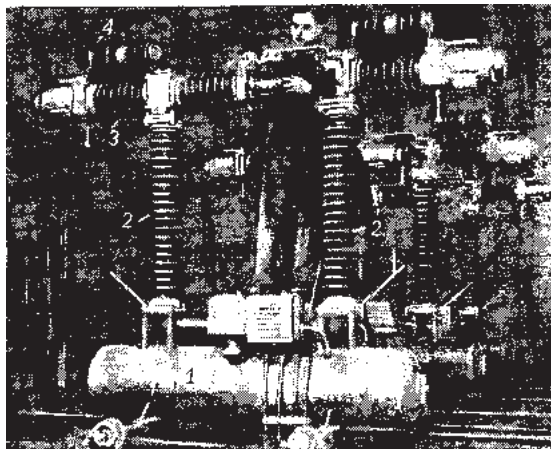


Рис. 8—30 Воздухонаполненный выключатель фирмы «Браун-Бовери» на 110 кв, 2500 Мва с двумя гасительными камерами (1950 г.)

На линии электропередачи в Швеции в 1952 г. был установлен выключатель на 1000 а, 350 кв с мощностью отключения 7500 Мва. Выключатель имеет в каждом полюсе десять мест разрыва и снабжен активным и реактивным делителями восстанавливающегося напряжения [Л. 8-21]. На пяти колоннах установлены пять гасительных камер с двумя разрывами цепи тока в каждой.

Конденсаторы 1 реактивного делителя напряжения [рис. 8-31] включены параллельно местам разрыва цепи 2. В цепи активного

делителя 3 установлены разъединители 4, которые после отключения выключателя отсоединяют от сети сопротивление 3. Последние установлены у каждого места разрыва цепи тока и выполнены в виде нелинейных сопротивлений, имеющих относительно высокое активное сопротивление.

Дугогасительные камеры включены последовательно.

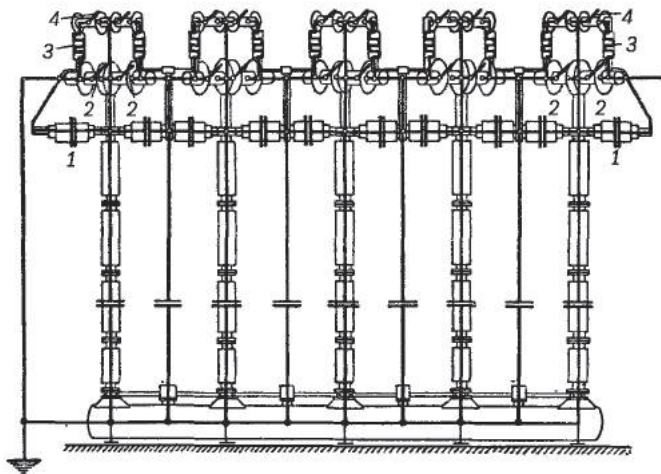


Рис. 8—31 Принципиальная схема воздушнонаполненного выключателя фирмы «Браун-Бовери» на 350 кв (1952 г.)

Конструкция гасительной камеры [Л. 8-22] показана на рис. 8-22, где изображена половина камеры, находящейся в процессе отключения выключателя. Под давлением сжатого воздуха трубчатый подвижный контакт 1, представляющий одно целое с подпружиненным поршнем 2, отходит от неподвижного контакта 3 и между ними образуется дуга 4. Сжатый воздух поступает по каналу 7 в пространство 8, которое сообщается с полостью 9. После уравнивания давления в полостях 8 и 9 подпружиненный упор 10 вместе с трубчатым подвижным контактом 1 отойдет в крайнее левое положение. К этому моменту процесс гашения дуги уже закончен. Одновременно поршень 2 перекрывает выход сжатого воздуха из гасительной камеры через отверстие 6.

При включении главный клапан открывает выход сжатого воздуха из гасительной камеры в атмосферу, и подвижной контакт *1* под действием пружин занимает исходное положение, т. е. входит в соприкосновение с неподвижным контактом *3*.

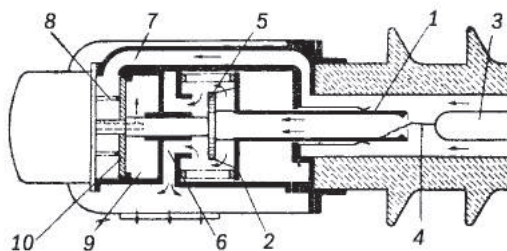


Рис. 8—32 Разрез гасительной камеры воздушнонаполненного выключателя фирмы «Браун-Бовери» (1950 г.)

У главного клапана выключателя [рис. 8-33], осуществляющего пуск и выпуск сжатого воздуха из резервуара в гасительную камеру [Л. 8-22], внутренняя часть клапана находится в соединении с резервуаром *1* сжатого воздуха. Верхний фланец *2* клапана присоединен к воздухопроводу, помещенному в колонне изоляторов, на которой укреплена гасительная камера. Трубка *3* осуществляет соединение между управляющим вентилям и главным клапаном и служит для управления последним.

По своей конструкции главный клапан состоит из двух клапанов, сблокированных друг с другом. В положении, показанном на рисунке, клапан слева закрыт подпружиненной тарелкой клапана *4*, так что воздухопровод в колонне изоляторов не сообщается с резервуаром *1*. Через открытый правый клапан *5* гасительная камера сообщается непосредственно с атмосферой, что указывает на включенное положение выключателя. При необходимости отключить выключатель по трубке *3* от вентиля управления дается давление сжатого воздуха на поршень *6* и тарелка *7* одновременно с тарелкой *4* передвигается в крайнее левое положение. В результате клапан *4* окажется открытым, а клапан *5* закрытым. Сжатый воздух из

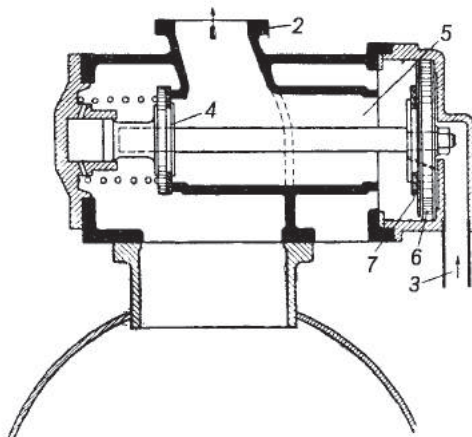


Рис. 8-33 Разрез главного клапана для подачи сжатого воздуха в гасительную камеру воздушнонаполненного выключателя фирмы «Браун-Бовери» (1950 г.)

резервуара 1 через клапан 4 поступит в гасительную камеру, вследствие чего произойдет расхождение контактов и гашение дуги в гасительной камере. На рис. 8-34, а, б, в и г показаны схематическое устройство и принцип действия разъединителей, осуществляющих отключение и включение активного сопротивления [Л. 22]. В положении а главные контакты гасительной камеры замкнуты, а контакты разъединителей разомкнуты, т. е. выключатель включен, и ток через активное сопротивление не проходит.

В положении б выключатель находится в процессе отключения, дуга между главными контактами горит, а контакты разъединителей замкнуты вследствие того, что на их поршни давит сжатый воздух, поступивший в гасительную камеру.

В положении в процесс гашения дуги закончился, но контакты разъединителей еще находятся в замкнутом состоянии. Это служит частично для уменьшения перенапряжений при отключении ненагруженных линий.

Спустя некоторое время после окончания процесса отключения выключателя давление по обе стороны подпружиненных поршней

разъединителей уравнивается вследствие перетекания воздуха через соответствующие лабиринты, сообщающие полости по обе стороны поршня. Под действием пружин контакты разъединителей разойдутся, и через активное сопротивление прекратится протекание тока, как то показано в положении з.

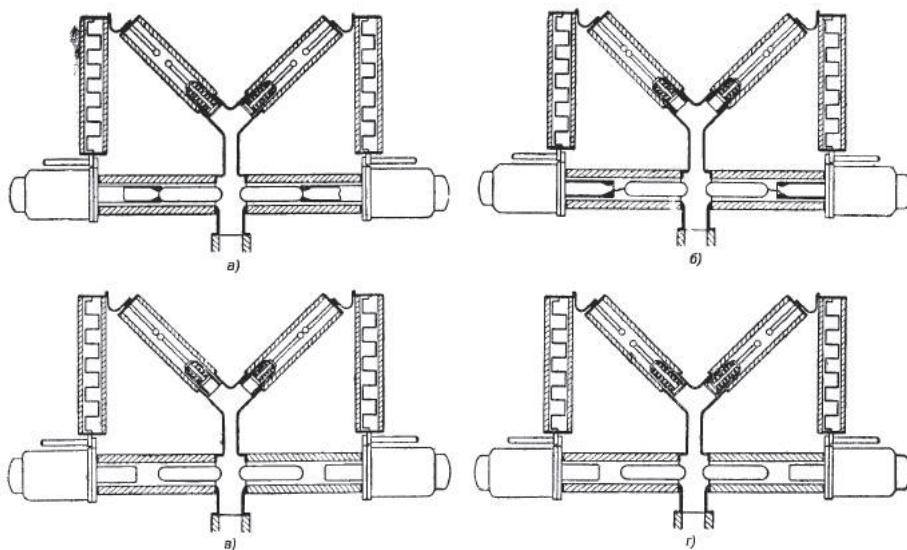


Рис. 8—34 Принцип действия разъединителей для включения и отключения активных делителей напряжения у воздушнонаполненного выключателя фирмы «Браун-Бовери» (1950 г.)

Ток через сопротивления протекает короткое время только в процессе гашения дуги и некоторое время после окончания процесса расхождения контактов гасительной камеры. После полного погасания дуги, когда прекращается протекание тока через активное сопротивление, деление напряжения между элементами выключателя осуществляется емкостным делителем напряжения.

В апрельском номере французского журнала «R. G. E.» за 1955 г. помещена статья П. Бордо о «Возможности применения воздушного выключателя при эксплуатации электрических сетей». В статье при-

ведена таблица комплектации трех полюсов выключателя на различные рабочие напряжения и мощности отключения.

Комплектация производится из отдельных стандартных узлов и элементов, число которых определяется требующимися параметрами выключателя. Приводимая табл. 8-2 охватывает выключатели для рабочих напряжений от 45 до 400 кВ и мощности отключения до 8500 Мва.

Последние конструкции выключателей фирмы «Браун-Бовери» обладают следующими положительными качествами:

- 1) очень короткое время отключения при отсутствии перенапряжений;
- 2) хорошо продуманная простая конструкция;
- 3) пригодность для осуществления пофазного и трехфазного автоматического повторного включения;
- 4) малые габариты и незначительный вес.

Эти выключатели подвергались неоднократно испытаниям во Франции на 220 кВ линии в Париже, на электростанции Гренд-Кули (США) и в Швеции. Особенно благоприятные результаты по отключаемой мощности показали выключатели при испытании в 1951 г. в США, где они отключали мощность свыше 10 000 Мва (по нормам США) при напряжении 230 кВ против гарантированной фирмой мощности отключения 6000 Мва.

При сравнительных испытаниях во Франции, проведенных в 1949 г., выключатели фирмы «Браун-Бовери» отключали ненагруженную линию передачи длиной 828 км и во время отключения не наблюдалось никаких перенапряжений, тогда как при отключении маломасляным выключателем фирмы Делль ненагруженной линии длиной 250 км создавались перенапряжения, превышающие нормальное напряжение в 2,2 раза.

Выключатели фирмы «Браун-Бовери» хорошо работали при пофазном и трехфазном повторном включении и выключении, а выключатели фирмы Делль вообще не могли осуществить быстрого повторного включения и отключения, как то требовалось по техническим условиям.

Таблица 8-3

Напряжение, кВ	45	70		150		250		400
Мощность отключения, Мва	1000	1000–1600		2500–3500		3500–5000		8500
Число гасительных камер	3	6	6	12	12	18	18	30
Число элементов активного сопротивления	–	–	6	–	12	–	18	30
Число элементов реактивного делителя напряжения	–	–	–	6	6	18	18	30
Число опорных изоляторов	3	3	3	12	12	27	27	60
	Три колонны по одному изолятору			Шесть колонн по два изолятора		Девять колонн по три изолятора		Пятнадцать колонн по четыре изолятора
Главные воздушные клапаны, шт	2	2	2	3	3	6	6	12
Шкафы управления, шт	1	1	1	3	3	3	3	6

Существенным недостатком воздушнонаполненного выключателя является наличие сжатого воздуха в гасительных камерах при отключенном положении выключателя. Наблюдались случаи разрушения фарфора гасительной камеры под действием давления сжатого воздуха. Так как при отключенном положении выключателя около него может находиться обслуживающий персонал, то при взрыве гасительной камеры возможны несчастные случаи с людьми.

8-7 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ АСЭА (ШВЕЦИЯ)

30 марта 1952 г. была введена в эксплуатацию в Швеции трех-фазная линия электропередачи 380 кВ протяженностью около 960 км. Передаваемая по линии электропередачи мощность составляла 350 000 кВА [Л. 8-21].

Шведская фирма АСЭА поставила колонковые выключатели с гашением дуги сжатым воздухом. Выключатель имеет в каждой фазе девять разрывов цепи тока и предназначается для напряжения 350 кВ, 1000 А при мощности отключения 8 000 000 кВА [рис. 8-35].

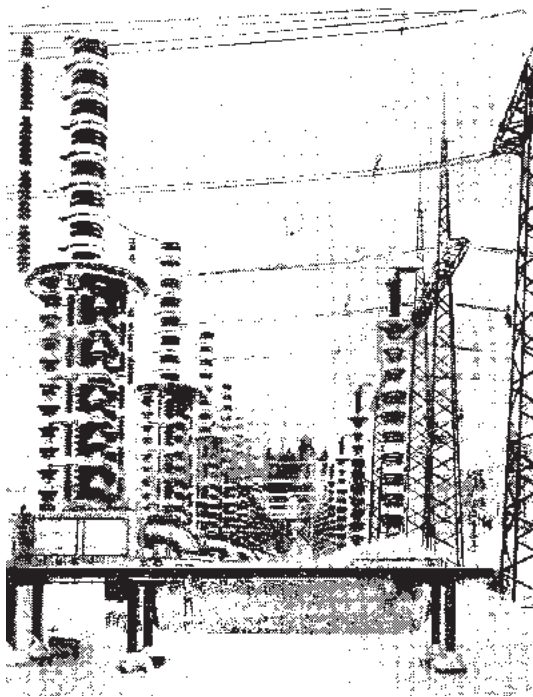


Рис. 8-35 Выключатель колонкового типа фирмы АСЭА с гашением дуги сжатым воздухом на 350 кВ, 1000 А, 8000 МВА (1952 г.)

На рис. 8-36 изображен первый вариант гасительной камеры [Л. 8-23]. В процессе выполнения заказа для шведской линии передачи фирма АСЭА поставила в выключателе гасительную камеру с общей фарфоровой покрывкой. Такое устройство первого варианта гасительной камеры было следующим.

По каналу 1, образованному колонной фарфоровых изоляторов 2, подается из резервуара в момент отключения выключателя сжатый воздух давлением 15 ат (минимальное давление 12 ат). По щели 3 сжатый воздух поступает в гасительную камеру 4. Давлением воздуха подпружиненный поршень 5 с подвижным контактом 6 поднимается вверх и открывает отверстие 7, сообщающее внутреннюю полость гасительной камеры 4 с наружной атмосферой. Струя сжатого воздуха устремляется из гасительной камеры 4 наружу и гасит электрическую дугу, образовавшуюся между подвижным 6 и неподвижным 8 контактами. Для выравнивания напряжения между отдельными местами разрыва цепи в десяти гасительных камерах установлены внутри канала 1 сопротивления 9.

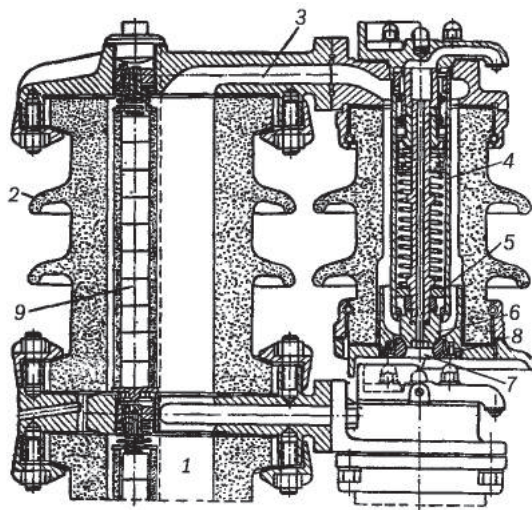


Рис. 8—36 Разрез гасительной камеры выключателя фирмы АСЭА с гашением дуги сжатым воздухом на 350 кв, 8000 Мва (1952 г.)

Для отсоединения от сети выключатель снабжен рубящим отъединителем, приводящимся в движение поворотным фарфоровым изолятором. Для устранения перенапряжений при отключении емкостных токов установлен нелинейный шунт, видный сбоку от гасительной камеры.

В фирменном журнале за 1954 г. сообщается, что заводы АСЭА изготовили новые типы выключателей для напряжения 132 и 380 кВ, которые комплектуются из стандартных узлов и деталей [Л. 8-24]. Выключатель для напряжения 132 кВ имеет восемь разрывов, а выключатель на 380 кВ – 12 разрывов цепи тока на полюс [рис. 8-37].

Каждые две гасительные камеры питаются сжатым воздухом от отдельного воздухопровода, при этом гасительные камеры имеют каждая по два места разрыва цепи тока.

Выключатели на 380 кВ имеют внешний отъединитель и снабжены активным делителем напряжения и шунтирующим нелинейным сопротивлением. Активные сопротивления установлены параллельно гасительным камерам, а нелинейный шунт установлен горизонтально над выключателем.

Отличительной особенностью конструкции выключателей фирмы АСЭА по сравнению с выключателями фирмы «Браун-Бовери»

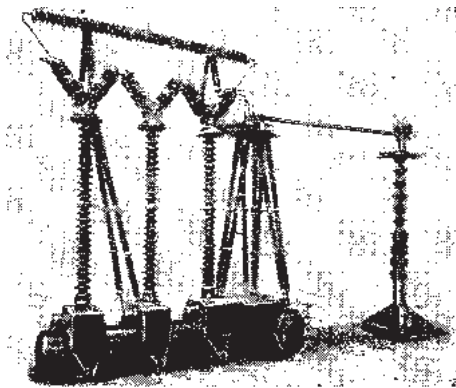


Рис. 8—37 Тип выключателя с гашением дуги сжатым воздухом фирмы АСЭА с питанием гасительных камер сжатым воздухом отдельными воздухопроводами и внешним отъединителем (1954 г.)

является наличие отъединителя. В выключателях фирмы АСЭА гасительные камеры при отключенном положении выключателя не имеют внутри сжатого воздуха, и потому их главные контакты сомкнуты.

Наличие отъединителя позволило применить гасительные камеры с коротким ходом главных подвижных контактов, что дало возможность на одной вертикальной колонке установить четыре гасительные камеры, которые все питаются сжатым воздухом из общего воздухопровода, помещенного в одной колонке опорных изоляторов. Увеличение числа гасительных камер на одной колонке изоляторов в свою очередь уменьшило число колонн изоляторов и число главных вентилях, что является достоинством конструкции выключателя фирмы АСЭА.

8—8 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ «ДЕЛЛЬ» (ФРАНЦИЯ)

а) Выключатель с поперечным дутьем

Конструкторское электротехническое бюро «Делль» предложило ряд выключателей с гашением дуги сжатым воздухом. Обычно фирма «Делль» применяла для гашения дуги поперечно-продольное дутье с автоматическим подключением сопротивления, ограничивающего величину отключаемого тока.

По заявке от 22 декабря 1929 г. фирма «Делль» получила 8 ноября 1935 г. в Германии патент № 621518 на выключатель с гашением дуги сжатым воздухом, снабженный промежуточным контактом с подключенным к нему активным сопротивлением для ограничения величины отключаемого тока [рис. 8-38]. При расхождении подвижных контактов 1 и 2 загорается дуга, которая под действием струи

сжатого воздуха, поступающего через сопло 3, перекидывается на вспомогательный контакт 4.

К последнему подключено активное сопротивление 5, второй конец которого подключен к подвижному контакту 1. При переходе тока через нулевое значение дуга гаснет, но под действием восстанавливающегося напряжения вновь загорается между вспомогательным контактом 4 и подвижным 2. В цепи отключаемого тока окажется включенным сопротивление, что облегчит окончательное гашение дуги при следующем переходе тока через нулевое значение. Фирма «Делль» является пионером в строительстве выключателей с промежуточным контактом и подключенным ограничительным сопротивлением. В последующих конструкциях выключателей фирма «Делль» стала применять не один, а несколько промежуточных контактов с подключенными к ним активными сопротивлениями.

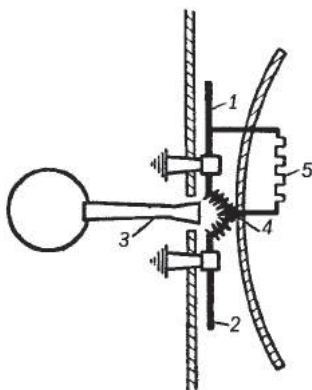


Рис. 8-38 *Гасительные устройства в выключателе фирмы «Делль» с поперечным гашением дуги сжатым воздухом, снабженное промежуточным контактом и омическим сопротивлением (1929 г.)*

На этот тип выключателя с гашением дуги сжатым воздухом при поперечном дутье [рис. 8-39] фирма «Делль» получила в 1935 г. германский патент [Л. 8-25].

При расхождении рабочих контактов 1 и 2 по трубе 3 в гасительную камеру 4 дается поперечное по отношению к стволу дуги

воздушное дутье. Дуга с контактов 1 и 2 последовательно перекидывается на контакты 5–5', 6–6', 7–7', 8–8'. При переходе электрической дуги с рабочих 1 и 2 на промежуточные контакты автоматически подключаются последовательно в цепь отключаемого тока все большие и большие активные сопротивления 2, снижающие величину тока и облегчающие гашение дуги. С целью охлаждения горячих газов и предотвращения их выбрасывания за пределы выключателя могут быть установлены пластинчатые решетки.

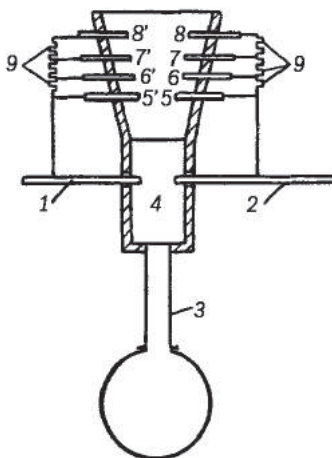


Рис. 8–39 Разрез гасительного устройства выключателя фирмы «Делль» с поперечным гашением дуги сжатым воздухом, снабженное несколькими промежуточными контактами и сопротивлениями (1935 г.)

В случае применения поперечного дутья, как показали испытания, для успешной работы выключателя требуется меньшее давление воздуха, чем при продольном.

Для выключателей с мощностью отключения до 500 000 *кв*а при напряжении до 15 *кв* давление воздуха требуется не выше 2–3 *ат*.

Расход воздуха примерно такой же, как и в выключателях с продольным дутьем, что объясняется большим поперечным сечением выходного отверстия у выключателя с поперечным дутьем по

сравнению с кольцевым выходным отверстием для воздуха при продольном дутье.

Из сопоставления описанного в гл. 2 выключателя Рашковско-го с последним выключателем фирмы «Делль» видно, что принцип автоматического включения нескольких активных сопротивлений в цепь электрической дуги, образовавшейся между расходящимися контактами, был предложен в СССР инженером Рашковским на 5½ лет раньше, чем предложила фирма «Делль».

б) Выключатель с поперечно-продольным дутьем

Французская фирма «Делль» в 1933 г. получила французский патент [Л. 8-26] на воздушный выключатель с поперечно-продольным дутьем и сопротивлением, автоматически включающимся в цепь отключаемого тока в процессе отключения выключателя [рис. 8-40].

Одновременно с расхождением контактов 1 и 2 по трубе 3 дается воздушное дутье, идущее поперек направления ствола дуги. Гасительная камера 4 выполнена из изолирующего материала, и в ней установлен промежуточный контакт 5, подключенный к контакту 2 через сопротивление 7. Контакт 1 электрически соединен с цилиндрическим полым промежуточным контактом 6. Под действием поперечного дутья дуга перекидывается на контакты 5 и 6, благодаря чему

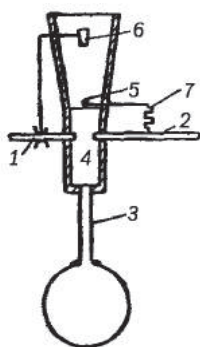


Рис. 8—40 Разрез гасительного устройства выключателя фирмы «Делль» с поперечно-продольным гашением дуги сжатым воздухом, двумя промежуточными контактами (1933 г.)

в цепь тока последовательно автоматически включается сопротивление 7. Гашение дуги осуществляется продольным дутьем воздуха.

Применение цилиндрического полого контакта 6, ось которого направлена вдоль струи воздуха, обеспечивает лучшее проникновение воздушной струи к центру ствола дуги, что должно способствовать интенсивному охлаждению и деионизации дугового пространства.

Воздушные выключатели, работающие по принципу поперечно-продольного дутья с автоматическим включением активного сопротивления, показали хорошие отключающие качества. Патенты фирмы «Делль» были приобретены рядом электротехнических фирм.

8—9 ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ФИРМЫ ДЖИИ

а) Отрицательное отношение в США к выключателям с гашением дуги сжатым воздухом

В США электротехническая промышленность долгое время не внедряла в производство выключателей с гашением дуги сжатым воздухом. Основные возражения, которые приводились против воздушных выключателей, сводились к следующим:

1. В производстве выключатели с гашением дуги сжатым воздухом являются более сложными, требуют более высоких классов точности обработки отдельных деталей, а поэтому выключатели являются более дорогими, чем масляные. Вопрос стоимости выключателя, несомненно, должен рассматриваться как один из главных доводов в пользу масляного выключателя.

2. Воздух всегда содержит влагу, которая конденсируется на внутренних стенках гасительного устройства и опорных изоляторов, если понижается температура наружного воздуха. В таких случаях может произойти заземление вследствие разряда по внутренней

поверхности изоляторов. Это возражение в настоящее время потеряло убедительность, так как воздух подсушивается и все время продувается через выключатели во время их работы.

3. Применение выключателей с гашением дуги сжатым воздухом требует оснащения станций и подстанций компрессорами и трубопроводами сжатого воздуха. Применение выключателей со сжатым воздухом требует создания на электрических станциях нового типа подсобного хозяйства – пневматики.

4. При установке бакового масляного выключателя в нем имеются встроенные трансформаторы тока, а при установке воздушного выключателя требуется изготовлять и монтировать трансформаторы тока отдельно, что удорожает установку.

Несмотря на эти возражения, американские электротехнические фирмы в настоящее время строят воздушные выключатели для напряжений до 20 кВ и применяют их в качестве генераторных выключателей. Многие американские мощные энергосистемы заказывают в Европе выключатели с гашением дуги сжатым воздухом для напряжений 220 и 300 кВ.

Отрицательное отношение американских электротехнических фирм к выключателям с гашением дуги сжатым воздухом сложилось не сразу. В 1940 г. было опубликовано сообщение, что в США стали применять выключатели этого типа для напряжений до 13 кВ [Л. 8-27].

В 1941 г. в США были изготовлены фирмой ДЖИИ опытные образцы выключателей с гашением дуги сжатым воздухом для напряжения до 220 кВ, мощностью отключения до 2500 МВА [Л. 8-28].

б) Выключатели с продольным дутьем

Фирма ДЖИИ закупила в Европе выключатели с гашением дуги сжатым воздухом различных фирм и произвела их исследование.

На основе этих испытаний фирма ДЖИИ сконструировала в 1940 г. свой тип выключателя [рис. 8-41] с гашением дуги продольным дутьем для напряжений 138 и 220 кВ [Л. 8-28].

Выключатель имеет два разрыва 1 цепи на полюс и снабжен поворотным разъединителем 2. Трансформатор тока 3 установлен отдельно.

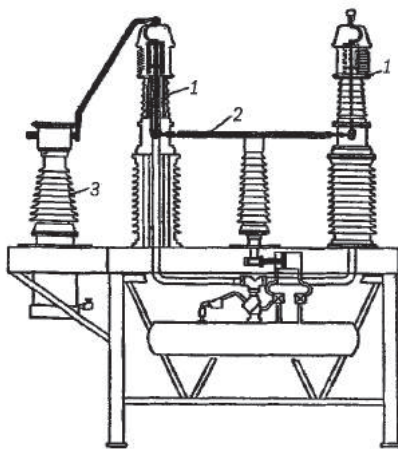


Рис. 8—41 Один полюс выключателя на 138 кВ фирмы ДЖИИ с гашением дуги сжатым воздухом (1940 г.)

Конструкция выключателя фирмы ДЖИИ была солиднее, чем у выключателя фирмы АЭГ, но для выполнения требовалось больше фарфора.

В этом выключателе применены сплошные контакты, и дуговой промежуток полностью находится в области сжатого воздуха. Воздух поступает через канал 9 [рис. 8-42], обтекает неподвижный контакт 1 и через кольцевую щель между стенками сопла 2 и телом подвижного контакта 3 проходит в пространство 4 и передвигает поршень 5. Подвижной контакт 3 отходит от неподвижного 1. Образовавшаяся между контактами дуга омывается сжатым воздухом и быстро гаснет. Ионизированные газы удаляются через отверстие 6 и пластинчатые решетки 7. После гашения дуги и поворота разъединителя контакт 3 возвращается в исходное положение под действием пружины 8.

Этот выключатель был испытан и отключал мощность 2500 Мва. Это было первое испытание такого типа выключателя на столь значительную мощность отключения. Выключатель был испытан в режиме автоматического повторного включения и показал хорошие результаты. После 17 отключений его контакты оказались вполне работоспособными.

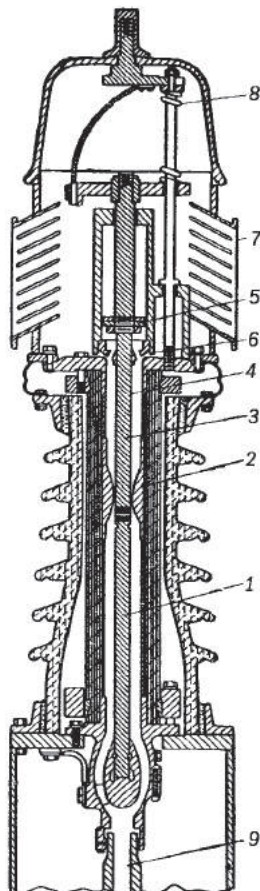


Рис. 8—42 Разрез гасительной камеры выключателя на 138 кв фирмы ДЖИИ с гашением дуги сжатым воздухом (1940 г.)

В 1945 г. фирма ДЖИИ построила выключатель с гашением дуги сжатым воздухом для напряжения 138 кв и мощностью отключения 3500 Мва с временем отключения в три периода. Время повторного включения 20 периодов, считая от момента оживления тока катушки отключения и до нового восстановления замыкания цепи.

Примененная фирмой ДЖИИ конструкция гасительной камеры отличалась от европейских конструкций тем, что оба контакта

находятся в зоне повышенного давления воздуха. Это создает лучшие условия для гашения дуги, так как при повышенном давлении воздуха он имеет бóльшую плотность, бóльшую теплоемкость и бóльшую электрическую прочность. Недостатком этого типа гасительной камеры является ее малая стойкость, так как в зоне горения дуги развивается высокая температура, которая быстро разрушает стенки гасительной камеры в месте ее сужения.

в) Выключатель с поперечным дутьем

Полученные во Франции фирмой «Делль» хорошие результаты с применением выключателей с поперечным дутьем показали, что такие выключатели особенно пригодны для применения в качестве генераторных выключателей, поскольку у них особо велика скорость восстановления напряжения.

При установке выключателя вблизи от генератора отключаемые цепи получаются короткими, т. е. с малыми емкостями, что определяет большие скорости восстановления напряжения.

Фирма ДЖИИ в 1941 г. построила выключатель для 13 кв с отключаемой мощностью 1500 Мва [Л. 8-28].

Генераторные выключатели с гашением дуги сжатым воздухом являются быстродействующими с общим временем отключения 0,08–0,10 сек и длительностью горения дуги около одного периода, что позволяет быстро осуществлять повторное включение.

В настоящее время фирма ДЖИИ выпускает выключатели с гашением дуги сжатым воздухом только как генераторные выключатели для напряжений до 15 кв.

От выпуска выключателей с гашением дуги сжатым воздухом для напряжений 100 и 200 кв фирма ДЖИИ отказалась. Выключатели для таких напряжений строятся только в виде масляных.

В журнале «El. Engineering» за 1955 и 1956 гг. имеются сообщения, что фирма «Вестингауз» построила выключатели с гашением дуги сжатым воздухом для напряжения 69 и 115 кв.

Выключатель на 115 кв выполнен газонаполненного типа. Несмотря на эти две попытки строить в США выключатели с гашением дуги

сжатым воздухом, все же основное производство мощных выключателей высокого напряжения в США идет по пути изготовления масляных выключателей.

По-видимому, одной из причин отказа американских электротехнических фирм строить выключатели с гашением дуги сжатым воздухом для напряжений 110–220–300 кВ и заменять ими баковые масляные выключатели является давление нефтяных концернов, оказываемое ими на техническую политику электротехнических фирм.

Нефтяные концерны извлекают значительные прибыли от продажи трансформаторного масла, которое применяется для наполнения баков выключателей. Переход на производство безмасляных выключателей создает для нефтяных концернов затруднения в сбыте трансформаторного масла и определенное снижение прибылей. Так как в США торговая политика американских концернов и монополий находится под давлением и контролем банков, то высказанное предположение, что отказ американских электротехнических фирм от широкого внедрения безмасляных выключателей диктуется не техническими соображениями, а нежеланием затронуть интересы нефтяных концернов, имеет достаточно веские обоснования.

8–10 БАКОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ С ГАШЕНИЕМ ДУГИ СЖАТЫМ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ

а) Выключатель компании «Канадский Вестингауз» (Канада)

Особой разновидностью выключателя с гашением дуги струей сжатого газа является выключатель, у которого контактная система или гасительная камера помещена в стальной бак и укреплена на концах проходных изоляторов – вводов.

При отключении выключателя дается дутье инертного газа или воздуха для гашения электрической дуги, образовавшейся в местах расхождения контактов выключателя. Такого типа выключатели до сего времени не строились электротехническими фирмами, хотя неоднократно предлагались отдельными изобретателями.

В 1955 г. компания «Канадский Вестингауз» вновь вернулась к идее создания бакового выключателя с гашением дуги сжатым воздухом, который и был построен на 115–138 кв с мощностью отключения 5000 Мва. Выключатель успешно прошел испытания, его мощность отключения оказалась 3500 и 5000 Мва и время горения дуги $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ периода при 60 гц.

Описание этого выключателя помещено в № 6 «The Engineering Journal» за 1955 г., где напечатана статья Скиллена и Мак-Кью «Новые идеи в выключателестроении».

Каждый полюс выключателя помещен в отдельном стальном баке, на крышке которого установлены два проходных изолятора, снабженных встроенными трансформаторами тока. Бак выключателя является одновременно резервуаром сжатого воздуха, имеющего давление 17,5 ат. На нижних концах проходных изоляторов [рис. 8-43, а] укреплены две дугогасительные камеры 1, последовательно соединенные электрически друг с другом перемычкой 8. Каждая дугогасительная камера имеет контактную систему, установленную на охладителе 2, снабженном фарфоровым газоотводом 3, укрепленным в днище бака выключателя. На концах газоотводов 3 расположены клапаны 4 с электропневматическим управлением 5.

Во включенном положении выключателя гасительная камера и газоотвод заполнены сжатым воздухом.

На рис. 8-43, б показана схематически гасительная камера выключателя. Подвижной подпружиненный нижний контакт 7 выполнен в виде сопла и помещен над охладителем 2. Контакт 7 электрически соединен гибкой связью со стержнем проходного изолятора, и на оси его установлен дугоулавливающий стержень 9.

Верхний подпружиненный контакт 10 также является подвижным. Он выполнен в виде стакана, во внутренней полости которого поме-

щена пружина 11. Верхние контакты 10 обеих дугогасительных камер электрически соединены друг с другом перемычкой 8. Внутренние полости контактов 10 связаны между собой трубкой 6, выполненной из изолирующего материала. Последняя снабжена электропневматическим клапаном, установленным в шкафу под баком выключателя.

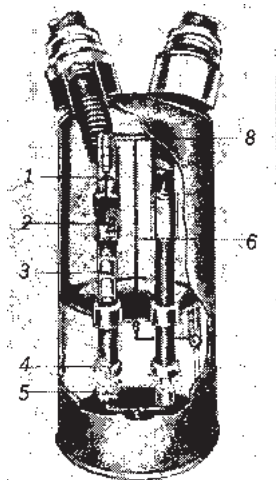


Рис. 8—43а Разрез бакового типа выключателя фирмы «Канадский Вестингауз» с гашением дуги струей сжатого газа 115–138 кв, 5000 Мва (1955 г.)

Во включенном состоянии выключателя сжатый воздух заполняет дугогасительную камеру, охладитель 2, фарфоровые газоотводы 3, внутренние полости верхних контактов 10 и трубку 6. Под действием пружин 11 и 12 верхний 10 и нижний 7 контакты прижаты друг к другу. При отключении выключателя открываются краны 4, находящиеся на концах фарфоровых газоотводов 3 обеих гасительных камер 1, и тем создается выход сжатого воздуха из фарфоровых газоотводов 3 и охладителя 2 в атмосферу. Под действием разности давлений со стороны рабочей поверхности нижнего контакта 7 и его внутренней полости оба нижних контакта опускаются, сжимая пружины 12. Между контактами 7 и 10 образуется дуга, и одновременно

поток сжатого воздуха устремится через сопло контакта 7 и охладитель 2 в атмосферу.

Струя воздуха сдувает дугу на дугоулавливающий стержень 9, она интенсивно охлаждается и гасится в течение $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ периода. После окончания гашения дуги открывается кран трубки 6 и выпускается в атмосферу сжатый воздух, находящийся во внутренних полостях верхних контактов 10. Под действием разности давления воздуха контакты 10 перемещаются вверх, сжимая пружины 11. Спустя несколько периодов закрываются клапаны 4 на концах газоотводов 3 и прекращается истечение воздуха через сопла контактов 7. Давление воздуха по обе стороны контактов 7 выравнивается, и последние под действием пружин 12 возвращаются в исходное положение. Выключатель оказывается отключенным, так как его верхние контакты 10 подняты и не соприкасаются с нижними 7. При включении по трубке 6 подается сжатый воздух во внутренние полости

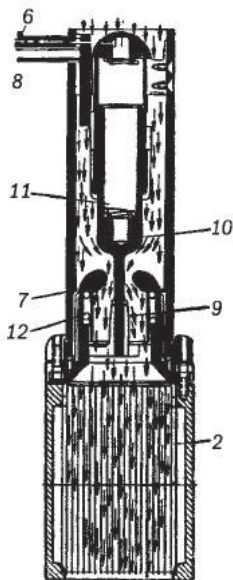


Рис. 8—436 Разрез гасительной камеры бакового типа выключателя фирмы «Канадский Вестингауз» с гашением дуги струей сжатого газа (1955 г.)

верхних контактов 10 и тем выравнивается давление по обе стороны их. Под действием пружин 11 контакты 10 отпускаются и входят в соприкосновение с контактами 7, закрывая выходные отверстия сопел.

Как видно из этого описания, выключатель имеет два разрыва цепи тока на полюс. Сжатый воздух является не только дугогасящей средой, но используется в качестве изолятора при отключенном положении выключателя. По своим внешним габаритам и весу построенный выключатель обладает меньшими размерами и весом, чем аналогичный по отключаемой мощности масляный выключатель. При увеличении числа мест разрыва цепи тока такой тип выключателя может быть построен и на более высокое напряжение, чем описанный выше. Обращаясь к заголовку статьи Скиллена и Мак-Кью «Новые идеи в выключателестроении», следует отметить, что сама мысль постройки выключателя с гашением дуги сжатым воздухом или инертным газом и размещением дугогасительной системы в железном баке на нижнем конце ввода не является новой. Это можно усмотреть из приведенных ниже описаний баковых выключателей, предложенных в Германии и в Советском Союзе.

б) Выключатель Греффа (Германия)

М. Грефф в 1916 г. предложил баковый выключатель с гашением дуги струей сжатого инертного газа [рис. 8-44] и получил на него в Германии патент [Л. 8-29].

На фарфоровом вводе в баке 1, наполненном инертным газом, укреплены неподвижные контакты: рабочий 2 и подпружиненный дугогасительный 3. На подвижной траверсе 4 установлены соответственно подвижные контакты: рабочий 5 и дугогасительный 6. Шлангом 7 к подвижному контакту 6 подводится сжатый газ из резервуара, не показанного на рисунке. Давление подводимого по шлангу 7 газа значительно выше, чем давление газа в баке 1. При отключении выключателя вал 8 поворачивается и под действием пружин 9 траверса 4 быстро опускается. Рабочие контакты 2 и 5 размыкаются, а подпружиненный дугогасительный контакт 3 следует вслед за контактом 6. Одновременно с поворотом вала 8 эксцентрик 10 открывает

вентиль *11*, через который подается сжатый газ. При отрыве друг от друга контактов *3* и *6* образуется дуга, которая гасится сжатым газом, поступающим по шлангу *7* к соплу, находящемуся у основания контакта *6*. По окончании гашения дуги вентиль *11* закрывается.

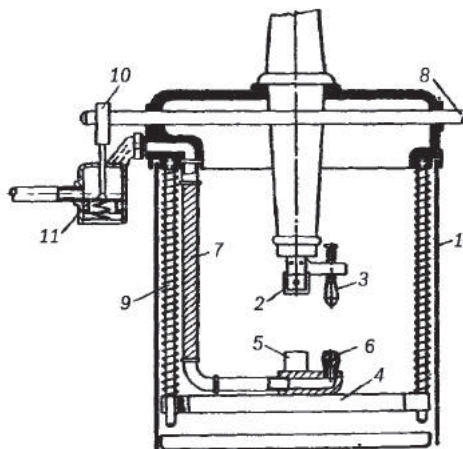


Рис. 8—44 Выключатель М. Греффа бакового типа с гашением дуги струей сжатого газа (1916 г.)

Процесс гашения дуги в этом выключателе осуществляется путем растягивания дуги под действием струи сжатого газа в баке, наполненном инертным газом, где газ используется как дугогасящая среда, сопротивление и изолятор. Выключатель Греффа не нашел применения.

в) Выключатель П.П.Николенко (СССР)

Выключатель с гашением электрической дуги сжатым газом с применением расширительной камеры [рис 8-45] был предложен в 1927 г. советским изобретателем П.П.Николенко, на что он получил в 1930 г. авторское свидетельство [Л. 8-30].

Стальной бак *1* наполнен инертным газом, и в нем помещен механизм обычного масляного выключателя с токоведущей траверсой *2* и двумя подвижными контактами *3*. На вводах установ-

лены неподвижные контакты 4, снабженные расширительной камерой 5 с кольцевыми каналами 6 для впуска инертного газа под давлением в расширительную камеру 5.

При отключении выключателя одновременно с опусканием штанги 10 и траверсы 2 открывается автоматически клапан 8, установленный на газопроводе 9, выходящем из баллона 7. Газопровод 9 выполнен из изолирующих трубок. Сжатый газ поступает в камеры 5, где расширяется и охлаждается. Охлажденный газ продувается через полый неподвижный контакт 4, и его струя охлаждает дугу, деионизирует дуговое пространство и осуществляет гашение дуги. В выключателе инертный газ используется в качестве дугогасящей среды и изолятора.

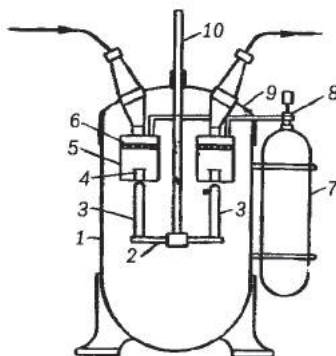


Рис. 8—45 Выключатель П.П.Николенко бакового типа с гашением дуги сжатым газом (1927 г.)

Отличительная особенность выключателя, построенного «Канадским Вестингаузом», заключается в том, что в нем применен воздух в качестве дугогасящей и изолирующей сред, а ионизированный газ выбрасывается в атмосферу, а не внутрь бака выключателя, как то имеет место в выключателях Греффа и Николенко. Приведенный выше случай возвращения к идее постройки выключателя бакового типа с гашением дуги сжатым воздухом еще раз показывает правильность положения, что старые, как будто забытые конструкции могут вновь появиться при дальнейшем развитии техники.

8—11 ПОДВЕСНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Фирма «Делль» в 1955 г. предложила подвесные выключатели с гашением дуги сжатым воздухом. Выключатели строятся на напряжение 100, 170 и 250 кВ с мощностью отключения соответственно 2000, 3500 и 5000 Мва.

Управление выключателями пневматическое.

Выключатели подвешиваются при помощи гирлянд изоляторов к металлической конструкции, выполненной в виде козлового крана (однобалочный портал).

На рис. 8-46 показана схема этого выключателя, а на рис. 8-47 дан внешний вид одного полюса выключателя.

Гасительные камеры 1, 2, 3 и 4 расположены попарно друг над другом в горизонтальном положении и камеры шунтированы сопротивлениями 5, 6, 7 и 8. Выключатель имеет резервуары сжатого воздуха 9 и 10, присоединенные трубками к главному воздухопроводу.

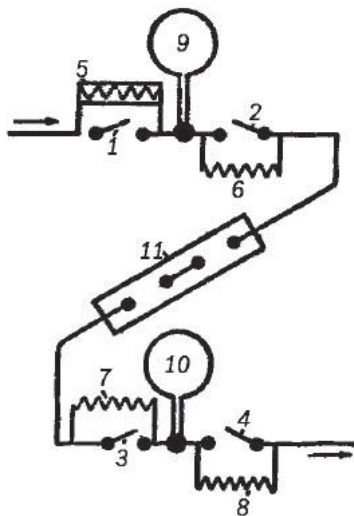


Рис. 8—46 Схема подвесного выключателя с гашением дуги сжатым воздухом (1955 г.)

Между сдвоенными гасительными камерами установлен пневматический разъединитель *11*, помещенный внутри полого изолятора.

При отключении вначале размыкаются контакты в гасительных камерах, а затем разъединитель *11* разрывает ток, протекающий через шунтирующие сопротивления, и контакты в гасительных камерах приходят в исходное положение, т. е. смыкаются. При включении замыкается разъединитель *11*.

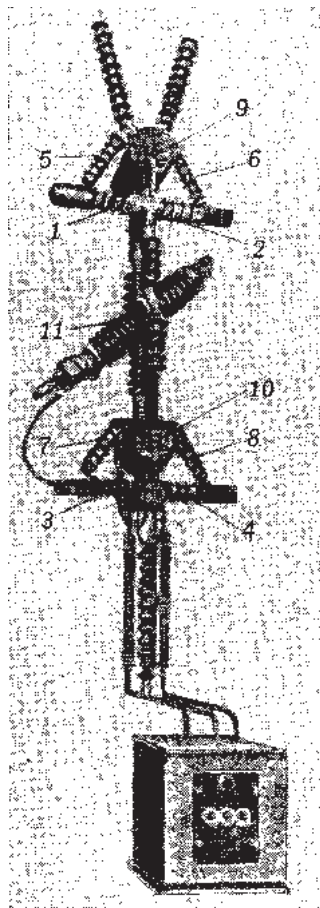


Рис. 8—47 Внешний вид одного полюса подвешного выключателя с гашением дуги сжатым воздухом 250 кв, 5000 Мва (1955 г.)

Подвесные выключатели изготавливаются также в виде масляных малообъемных выключателей.

На рис. 8-48 показан такой выключатель для напряжения 70 кВ с мощностью отключения 1600 Мва.

Три фазы выключателя, весом каждая 250 кг, подвешиваются к однобалочному порталу 1 на гирляндах подвесных изоляторов 2. Каждый полюс выключателя снабжен гасительной камерой 3, имеющей один разрыв цепи тока. В резервуарах 4 находится масло. При включении по трубкам 5 подается сжатый воздух в резервуары 4. Под действием давления масла осуществляется передвижение рабочих контактов выключателя.

Управление выключателем электропневматическое. Для того чтобы предотвратить непосредственное соприкосновение масла

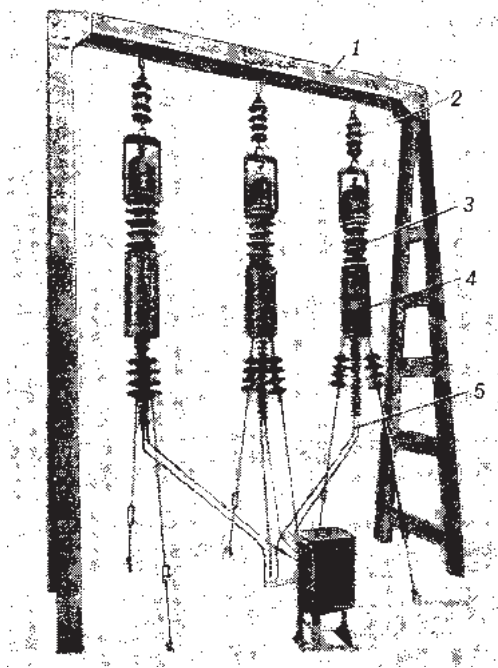


Рис. 8—48 Внешний вид малообъемного масляного выключателя 70 кВ 1600 Мва (1955 г.)

и сжатого воздуха, в резервуарах 4 помещены резиновые баллоны, изменяющие объем под действием поступающего в них по трубкам 5 сжатого воздуха.

У выключателей подвешенного типа отсутствует опорная часть, изолирующая их от земли, и для них не требуется сооружения фундаментов, что и является их преимуществом по сравнению с обычными конструкциями выключателей.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СССР

9–1 ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

До Великой Октябрьской социалистической революции выключатели высокого напряжения изготавливались на заводах «Сименс-Шуккерт» в Петербурге, на заводе Всеобщей компании электричества в Риге, а впоследствии в Харькове, куда был эвакуирован Рижский завод, и на заводе «Динамо» в Москве. Рижский завод ВКЭ строил выключатели по чертежам немецкой Всеобщей электрической компании (АЭГ), Петербургский завод «Сименс-Шуккерт» по чертежам немецкой фирмы того же названия, завод «Динамо» – по чертежам английской фирмы «Вестингауз».

Мощности большинства строящихся и эксплуатируемых станций в царской России не превышали 10 000 *квт*, а напряжение на шинах станций не превышало 6000 *в*. Исключением являлись московские и петербургские электрические станции. Только в районе Бакинских нефтепромыслов существовала линия электропередачи напряжением 20 000 *в* и на приисках Ленского золотопромышленного товарищества в Бодайбо напряжением 10 000 *в*. Первая линия передачи Богородск – Москва напряжением 70 000 *в* вступила в эксплуатацию в 1914 г., и на ней были установлены импортные масляные выключатели.

Наивысшее напряжение, из которого изготавливались масляные выключатели на отечественных заводах ВЭК и «Сименс-Шуккерт», не превышало 20 000 *в*.

9–2 РАЗВИТИЕ МАСЛЯНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Во время гражданской войны 1918–1920 гг. производство аппаратуры высокого напряжения на отечественных заводах было полностью прекращено.

В начале 1921 г. VIII Всероссийский съезд Советов принял резолюцию по плану ГОЭЛРО и был обнародован декрет СНК РСФСР о строительстве районных электрических станций, предусмотренных планом ГОЭЛРО.

Начавшееся восстановление народного хозяйства потребовало поставок аппаратуры высокого напряжения и в первую очередь масляных выключателей как для постройки новых электрических установок, так и для расширения существующих. Из-за отсутствия отечественного производства приходилось прибегать к импорту аппаратуры.

Партией и правительством был поставлен вопрос о восстановлении производства аппаратуры высокого напряжения на отечественных заводах.

В 1921 г. на заводе «Электросила» в Ленинграде был создан аппаратный отдел по разработке новых типов аппаратуры высокого напряжения. С образованием в 1922 г. государственных электрических трестов «Эльмаштрест» в Петрограде и «ЭТЦР» в Москве на отечественных заводах приступили к изготовлению масляных выключателей.

Аппаратный отдел завода «Электросила» в 1922–1923 гг. разработал конструкцию баковых масляных выключателей типов МВ-5, МВ-12 для напряжений до 6 кв, МВ-18 – для напряжений до 3 кв.

На заводе были изготовлены пробные экземпляры этих выключателей, а затем их производство было передано на завод «Электроаппарат» в Ленинграде.

Харьковский электромеханический завод новых разработок масляных выключателей не делал, а в 1925 г. организовал изготовление масляных выключателей по имеющимся в его портфеле старым чертежам фирмы АЭГ.

В связи с объединением в 1926 г. трестов «ЭТЦР» и «Эльмаш-трест» в один Государственный электротехнический трест «ГЭТ» правление нового треста приняло решение прекратить производство аппаратуры высокого напряжения на заводе ХЭМЗ и сосредоточить все производство ее на заводе «Электроаппарат» в Ленинграде, куда в 1924 г. это производство было переведено с завода «Электросила».

Завод «Электроаппарат» приступил к изготовлению масляных выключателей в 1925 г.

Несмотря на то, что имелся договор о технической помощи с германской электротехнической фирмой АЭГ, советские конструкторы масляных выключателей не пошли по пути внедрения европейского типа выключателей на отечественных заводах.

Европейские типы масляных выключателей имели более сложную конструкцию и были менее надежны в эксплуатации, чем американские. В американских выключателях отсутствовала горизонтальная изоляция, имелись перегородки между отдельными полюсами, изоляторы на крышке выключателя устанавливались наклонно, что позволяло уменьшить размеры баков, токоведущие траверсы подвешивались у каждого полюса на отдельной вертикальной штанге. Первые конструкции масляных выключателей были разработаны для напряжений до 35 кВ на заводах «Электросила» советскими конструкторами во главе с Л.Б.Броуде.

В 1924 г. на заводе «Электросила» были самостоятельно разработаны первые советские маломасляные выключатели типов МВ-101 и МВ-103 на 6 кВ. Эти выключатели были изготовлены и в январе 1925 г. испытаны на 2-й Ленинградской ГЭС и поступили в производство.

С целью быстрее освоения на отечественных заводах производства наиболее совершенных типов выключателей высокого напряжения в 1929 г. был заключен договор о технической помощи с американской электротехнической фирмой ДЖИИ. По этому договору были получены от фирмы рабочие чертежи и остальная документация по масляным выключателям для напряжений до 220 кВ с мощностью отключения до 2500 МВА.

Процесс освоения американских конструкций выключателей не представлял собой простого копирования этих конструкций, а сопровождался значительными переработками американских чертежей.

Некоторые конструкции выключателей фирмы ДЖИИ были отвергнуты как малоперспективные, как, например, генераторные масляные выключатели бакового тока. Американский тип горшкового маломасляного выключателя был заменен советской модификацией этой конструкции, а именно маломасляными горшковыми выключателями типов МГГ-229, МГГ-223. В этих выключателях принята совершенно иная компоновка конструкции рамы, механизма, пружин и привода, а также изменена дугогасительная камера.

Американский тип электромагнитных приводов выключателей был заменен электромагнитными приводами советской конструкции с более рациональным использованием меди и стали.

После того как отечественные заводы укрепились в техническом отношении, договор о технической помощи с фирмой ДЖИИ был расторгнут по нашему почину. Договор о технической помощи с английской фирмой «Метрополитен-Виккерс», который охватывал как электротехническое, так и теплотехническое оборудование (паровые турбины, котлы и котельное оборудование), также не был эффективным как в части электротехники, так и теплотехники. Разработки аппаратуры фирмы «Метро-Виккерс» были использованы на заводе «Электроаппарат» весьма незначительно только в части бронированных распределительных устройств и щелевых камер поперечного дутья. В части же теплотехнического оборудования советские масштабы вскоре переросли технические возможности фирмы «Метро-Виккерс».

В результате создалось такое положение, что разработанные на Ленинградском металлическом заводе чертежи новых рекордных по мощности и параметрам турбин отправлялись на апробацию в Англию фирме «Метро-Виккерс», которая никогда таких машин не изготовляла.

Бывали случаи, что фирма «Метро-Виккерс» посылала нам чертежи установок, которые еще ни разу не изготовлялись, желая использовать нашу промышленность для изготовления опытных образцов.

Главнейшим тормозящим моментом в части развития в СССР новых конструкций выключателей было отсутствие испытательных установок для проверки мощности отключения выключателей.

Как уже было указано, первые испытания советских конструкций масляных выключателей проводились в 1925 г. на 2-й Ленинградской ГЭС, затем в начале тридцатых годов на испытательной станции АЭГ в Германии. Перед Великой Отечественной войной испытания выключателей в течение ряда лет проводились в системе Донэнерго, на подстанциях Шуваловской и Южной Ленэнерго, на Измайловской и других подстанциях Мосэнерго, а также в системе Уралэнерго.

Появление в ВЭИ первой машинной испытательной лаборатории в Москве за несколько лет перед войной 1941–1945 гг., а затем более крупной установки в Ленинграде после войны и перспективы строительства еще более мощных испытательных установок на Бескудниковской подстанции под Москвой и на Урале значительно улучшили и должны еще больше улучшить возможности советских конструкторов в части самостоятельной разработки конструкций выключателей высокого напряжения.

Большую помощь в испытании мощных выключателей на отключающую способность оказывают также в настоящее время установки по схеме колебательного контура профессора А.А.Горева.

До 1937 г. завод «Электроаппарат» являлся единственным заводом в СССР, который изготовлял масляные выключатели.

В 1931 г. началось строительство на Урале второго аппаратного завода «Уралэлектроаппарат», на котором вначале было организовано производство разъединителей, а в 1937 г. — маломасляных выключателей для напряжений 6 и 10 кВ с одним разрывом цепи тока на полюс.

Эти выключатели требовали для заливки 5 кг масла, тогда как в аналогичных по мощности отключения бакового типа выключателях изделия завода «Электроаппарат» вес масла был 50 кг.

Впоследствии в этом типе выключателя были установлены многоцелевые гасительные камеры с пристроенными к ним резервуарами для поддержания давления дутья в моменты перехода тока через

нулевое значение, что значительно повысило мощность отключения со 100 до 350 *Мва*.

Предложение устанавливать дополнительные резервуары было сделано М.М.Акодисом, и ему было выдано авторское свидетельство № 89301 с приоритетом от 1937 г.

Это советское изобретение нашло применение не только в выключателях, изготавливаемых отечественной электропромышленностью, но и зарубежными фирмами в США. Вследствие войны и блокады Ленинграда в 1941 г. производство аппаратуры высокого напряжения на заводе «Электроаппарат» было прекращено.

Технический персонал завода и полуфабрикаты аппаратуры были вывезены на завод «Уралэлектроаппарат», где и было налажено производство мощных баковых выключателей типа МКП по чертежам завода «Электроаппарат».

После разгрома советскими войсками северной группировки войск немецких захватчиков было приступлено к восстановлению производства аппаратуры высокого напряжения на заводе «Электроаппарат».

Разработка новых типов масляных выключателей и модернизация изготовлявшихся ранее выключателей производились как на заводе «Уралэлектроаппарат», так и на заводе «Электроаппарат». Эти работы выполнялись заводами при участии Всесоюзного электротехнического института имени В.И.Ленина (ВЭИ) и Ленинградского политехнического института имени Калинина.

На заводе «Электроаппарат» было возобновлено изготовление однобаковых масляных выключателей с простым расхождением контактов в масле для напряжений до 10 *кв*.

В 1950 г. завод «Электроаппарат» приступил к выпуску быстродействующих маломасляных колонковых выключателей типа МГ-35 для 35 *кв* с мощностью отключения 400 *Мва*.

Выключатель изготовлялся со встроенными трансформаторами тока втулочного типа, что имело место впервые в мировой практике применительно к маломасляному выключателю. Конструкция контактного устройства и принцип действия описаны в гл. 5 [см. рис. 5-3].

В 1952 г. на заводе «Электроаппарат» был освоен маломасляный выключатель типа МГ-110 на 110 кВ, 2500 Мва. Этот тип выключателя характерен тем, что, в отличие от обычных конструкций гасительных камер с гасимой и гасящей дугами, в нем применена обратная последовательность образования гасимой и гасящей дуги, а именно: вначале возникает гасимая дуга, а затем гасящая дуга, длина которой зависит от величины отключаемого тока.

Такая последовательность образования дуги обеспечивает успешное гашение малых токов, а при отключении больших токов в гасительной камере выделяется меньшее количество тепловой энергии, чем в гасительных камерах, где вначале образуется гасящая дуга, а затем загорается гасимая дуга.

Завод «Уралэлектроаппарат» после окончания отечественной войны разработал и освоил производством в 1948 г. маломасляный горшковый выключатель типа МГГ-10 с двумя разрывами на полюс для напряжений $3 \div 10$ кВ, $2000 \div 3000$ А с мощностью отключения до 500 Мва при 10 кВ.

Баковые масляные выключатели для напряжений 35, 110 и 220 кВ были полностью переконструированы на заводе «Уралэлектроаппарат».

В новом трехбачковом выключателе типа МКП-35, 35 кВ, 750 Мва гасительные камеры продольного дутья были заменены на двухщелевые поперечного дутья. В результате этой реконструкции вес нового масляного выключателя уменьшился вдвое по сравнению с аналогичным по мощности отключения старым типом масляного выключателя МКП-76.

Новые масляные трехбачковые выключатели типа МКП-110 и МКП-220 снабжены гасительными камерами поперечного дутья, показанными на рис. 5-6.

В выключателе типа МКП-110 имеется восемь разрывов цепи тока на полюс, а в выключателе типа МКП-220 12 разрывов цепи тока на полюс. Мощность отключения составляет 3500 Мва.

Как видно из приведенного краткого обзора развития масляных выключателей на заводах отечественной электропромышленности,

завод «Электроаппарат» в отношении создания выключателей для напряжений 35 и 110 кВ идет по пути маломасляных выключателей, а завод «Уралэлектроаппарат» – по пути создания баковых масляных выключателей.

9–3 РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ГАШЕНИЕМ ДУГИ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

В настоящее время в Советском Союзе изготавливаются выключатели с гашением дуги сжатым воздухом для сетей с напряжением 35, 110, 154, 220 и 400 кВ с мощностью отключения в пределах до 15 000 МВА.

Прежде чем были созданы в СССР конструкции современных выключателей с гашением дуги сжатым воздухом, продолжительное время в ВЭИ велись опыты и исследования над выключателями этого типа, которые начались осенью 1930 г.

Первое сообщение об этих работах было помещено в «Рапорте электропромышленности СССР» о выполнении электропромышленностью первой пятилетки. Этот рапорт был составлен в январе 1932 г. в честь созыва XVII Всесоюзной конференции ВКП(б).

В сообщении было сказано:

«Фирма АЭГ (Германия) строит выключатели со сжатым газом (воздух, углекислый газ и др.).

Сконструирован в ВЭИ выключатель (однофазный) со сжатым воздухом. Конструкция предназначена пока для напряжения до 11 тыс. В, при опытах с теми разрывными мощностями, какими располагает лаборатория Института, она показала хорошую работоспособность.

По плану на 1932 г. лаборатория предполагает сконструировать такой же выключатель на 30 тыс. в. Назначение выключателя со сжатым воздухом заменить масляный».

Построенный в 1931 г. в ВЭИ выключатель с гашением дуги сжатым воздухом по своей конструкции повторял первый выключатель с гашением дуги сжатым воздухом, изготовленный АЭГ в 1929 г., как то показано на рис. 8-8.

В 1932 г. в ВЭИ велись работы по исследованию опытной фазы выключателя, построенного в 1931 г. Испытывалось поведение различного вида рабочих контактов выключателя. Испытания показали, что:

- 1) подвижные контакты, выполняемые фирмой АЭГ в виде конуса, входящего внутрь сопла Лавалья, могут быть улучшены за счет исполнения хвостовой части конуса из фибры;
- 2) в случае применения цилиндрического сопла звуковой эффект при отключении выключателя значительно уменьшается;
- 3) при исследовании процессов разрыва дуги необходимо пользоваться осциллографом и лупой времени, которыми лаборатория ВЭИ в то время не располагала;
- 4) с целью уменьшения общего времени срабатывания выключателя необходимо предусмотреть заполнение сжатым газом газопровода между резервуаром и контактами еще до начала расхождения контактов.

Выключатель ВЭИ конструкции 1932 г.

В 1932 г. в ВЭИ под руководством А.Я.Буйлова проводились работы по конструированию выключателя со сжатым газом для напряжения 33 000 в. Этот выключатель был спроектирован с поперечным дутьем воздуха по отношению к стволу электрической дуги [рис. 9-1].

На резервуаре 1 со сжатым воздухом установлена труба 2, выполненная из изолирующего материала. Подвод и отвод тока осуществлялись к неподвижным контактам 3 и 4. Подвижные контакты 5 и 6 электрически соединены друг с другом переключкой 7 и укреплены на траверсе 8, выполненной из изолирующего материала. Привод осуществлялся системой рычагов 9 и рукояткой 10. Выключатель

имел два разрыва тока на полюс, которые расположены друг над другом.

Побудительной причиной установки подвижных контактов друг над другом было стремление преодолеть высокое противодействие струе воздуха, которое создавалось в месте горения дуги. Как то указано в объяснительной записке, считалось, что если в верхнем месте расхождения контактов 4 и 6 давление, создаваемое дугой, окажется выше давления в резервуаре 1, то прекратится продувание воздуха. Благодаря этому в нижнем месте расхождения контактов 3 и 5 давление окажется еще выше, чем вверху, и эти газы с повышенным давлением продуют дугу в верхних контактах.

В конструкции выключателя предусматривалось расхождение нижних контактов 3 и 5 на бóльшую длину, чем верхних 4 и 6. Эта разница в расхождении контактов и обеспечивала получение описанного выше эффекта.

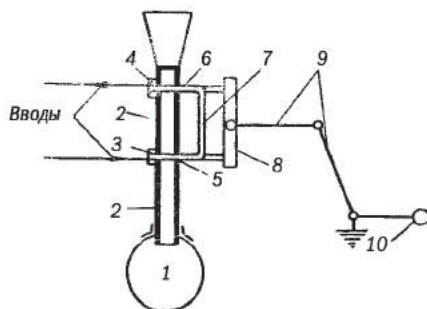


Рис. 9-1 Выключатель ВЭИ с поперечным воздушным дутьем и двумя разрывами цепи тока на полюс (1932 г.)

Кроме того, указывается, что создание одного разрыва цепи тока при напряжении в 33 000 в неудобно из тех соображений, что в этом случае пришлось бы взять большой ход контактов и в связи с этим большое сечение газопроводной трубы, а стало быть, большой расход воздуха.

Здесь следует отметить, что расположение двух мест разрыва цепи тока друг над другом с обдуванием верхней дуги ионизиру-

ванными газами от нижней дуги ухудшает условия гашения верхней дуги. Разработанная в 1932 г. в ВЭИ конструкция выключателя оказалась нерациональной и не нашла применения.

К работе по разработке новых типов выключателей с гашением дуги сжатым воздухом ВЭИ вернулся в 1940 г., когда был построен макет одного полюса выключателя для 35 кв, 500–600 Мва мощности отключения, выполненного в виде разъединителя поворотного типа с грибообразной гасительной камерой. Аналогичная конструкция выключателя изготовлялась фирмой АЭГ, начиная с 1937 г.

На заводе «Электроаппарат» в 1941 г. был разработан выключатель для гашения дуги сжатым воздухом для напряжения 110 кв. По конструкции он представлял собой сдвоенный выключатель ВЭИ образца 1940 г., т. е. имел два разрыва цепи тока на полюс.

Выключатели для напряжений 35–400 кв, созданные ВЭИ после Великой Отечественной войны

В 1940 г. выработка электроэнергии по СССР составляла 48,3 млрд. *квт · ч*, а установленная мощность на электрических станциях была 10,9 млн *квт*. В первый год Отечественной войны советская энергетика понесла большие потери, так как фашистские захватчики разрушили многие электрические станции на общую мощность около 5 млн. *квт*.

К началу четвертой пятилетки (1946–1950 гг.) выработка электроэнергии в 1945 г. составила 43,3 млрд. *квт · ч*, а мощность всех электростанций подошла к уровню 1940 г.

Принятый партией и правительством план развития народного хозяйства в четвертой пятилетке предусматривал увеличение установленной мощности на электрических станциях до 22,4 млн. *квт* и выработки электроэнергии в 1955 г. до 82 млрд. *квт · ч*.

Было начато строительство мощных гидроэлектростанций и линий электропередач.

В связи с усиленным ростом электроэнергетики возник вопрос о создании соответствующей коммутационной аппаратуры, а именно выключателей высокого напряжения.

Задача разработки новых конструкций таких выключателей была возложена на ВЭИ, где для проектирования новых типов выключателей были созданы специальные конструкторские бюро.

Разработка мощных выключателей с гашением дуги сжатым воздухом проводилась в ВЭИ под руководством Е.М.Цейрова, которым были созданы конструкции выключателей для напряжений от 35 до 400 кВ с мощностью отключения от 1000 до 10 000 Мва. Макеты этих выключателей были построены на опытном заводе ВЭИ, прошли лабораторные испытания, а затем рабочие чертежи этих выключателей были переданы для серийного изготовления на заводы отечественной электропромышленности.

В 1945 г. был сконструирован выключатель с гашением дуги сжатым воздухом типа ВВ-110 на 110 кВ с мощностью отключения 2500 Мва и пристроенным отделителем [рис. 9-2]. Гасительная камера имела два разрыва цепи тока на полюс.

Сжатый воздух подводится в бакелитовый цилиндр 1, заключенный в фарфоровый изолятор 2. Давление воздуха передается на подпружиненный поршень 3, связанный с трубчатыми подвижными контактами 4.

В промежутке между бакелитовыми цилиндрами 1 установлена металлическая коробка 5 с трубчатыми промежуточными контактами 6.

При отключении выключателя сжатый воздух подается через внутреннюю полость бакелитового цилиндра 1 в гасительную камеру и давит на поршни 3. Подвижные контакты 4 отходят от промежуточных контактов 6, и образуются две дуги.

Сжатый воздух устремляется в щели между расходящимися контактами и выдувает электрические дуги в полости подвижных 4 и промежуточных 6 контактов.

Газы удаляются через воронки 7 в стенках коробки 5 и через отверстия 8 сверху и внизу колонок гасительной камеры.

Выключатель отключал ток 12 000 А при напряжении 110 кВ, что соответствует мощности отключения 2400 Мва. Время горения дуги не превышало 0,015 сек, а полное время отключения составляло 0,065 сек.

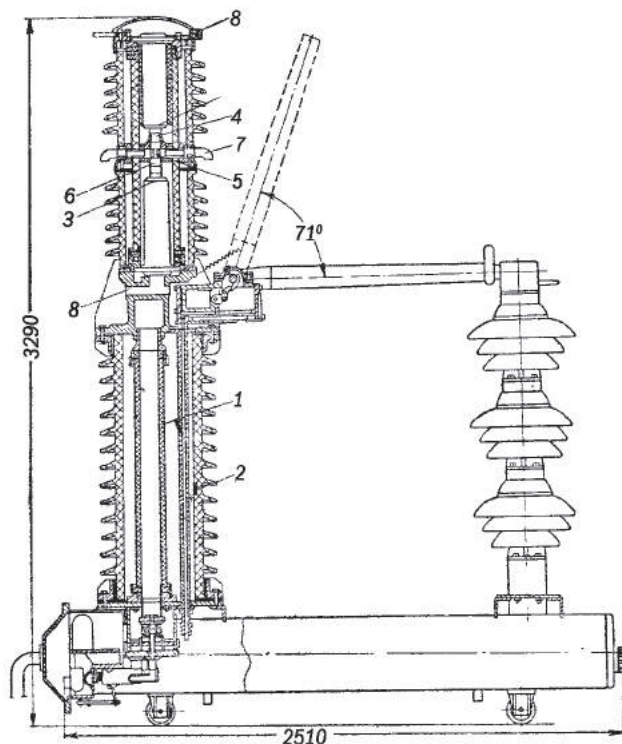


Рис. 9—2 Выключатель ВЗИ с гашением дуги сжатым воздухом типа ВВ-110 на 110 кв, 2500 Мва (1945 г.)

Этот тип выключателя был освоен производством в 1949 г. на Полтавском машиностроительном заводе, а в 1950 г. на Ленинградском заводе «Электроаппарат».

В настоящее время этот тип выключателя не изготавливается и заменен выключателем типа ВВН-110 с мощностью отключения 4000 Мва.

Выключатель типа ВВН-110 представляет собой комплект из трех однополюсных выключателей. Связь между отдельными полюсами осуществляется посредством пневматического и электрического управлений, что дает возможность пофазного и трехфазного оперирования. Основанием каждого полюса служит тележка с двумя резервуарами воздуха, на которой установлен опорный изолятор.

Внутри опорного изолятора проходят два фарфоровых воздухопровода, из которых один служит для подачи сжатого воздуха выключателя, а второй – для привода в действие отделителя при включении выключателя.

На сборном изоляторе установлен промежуточный фланец, на котором смонтированы гасительная камера и пневматический привод отделителя. Нож отделителя врубается в неподвижные контакты, расположенные на колонке изоляторов типа ИШД-35.

В гасительной камере выключателя ВВН-110 помещены два неподвижных и два подвижных полых контакта [рис. 9-3].

Каждый неподвижный и подвижной контакты представляют собой отдельный элемент гасительной камеры, что позволяет путем увеличения числа установленных элементов комплектовать выключатели на различные напряжения.

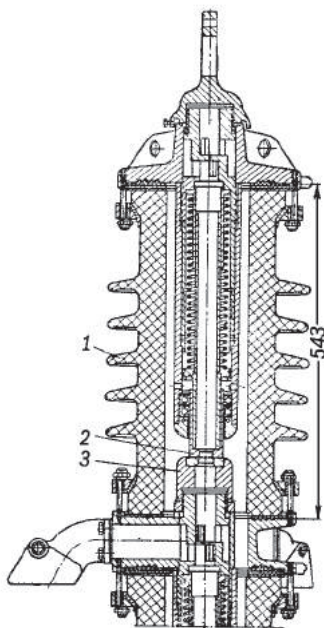


Рис. 9-3 Разрез элемента типовой гасительной камеры для выключателей ВЭИ с гашением дуги сжатым воздухом (1946 г.)

Сжатый воздух поступает во внутреннюю полость фарфорового изолятора 1 и давит на торец подпружиненного подвижного контакта 2. Последний поднимается вверх, и образуется электрическая дуга между полым неподвижным 3 и трубчатым подвижным 2 контактами.

Струей воздуха электрическая дуга вдувается внутрь обоих контактов и гаснет при первом переходе через нулевое значение тока.

После погасания дуги и прекращения подачи воздуха подпружиненные подвижные контакты возвращаются в исходное положение. Привод отделителя приходит в действие автоматически, нож отделителя поднимается и тем создает необходимое расстояние между разомкнутыми участками линии.

Преимуществом гасительной камеры ВЭИ перед гасительными камерами зарубежных колонкового типа выключателей является применение полого-подвижного контакта. Наличие обоих полых контактов повысило интенсивность деионизации дугового пространства и дало возможность построить колонкового типа выключатели на гораздо большую мощность отключения, чем имеют зарубежные выключатели этого типа.

Здесь следует указать, что применение в выключателях с гашением дуги сжатым воздухом обоих контактов полыми было описано в статье Ф. Кессельринга и Ф. Коппельмана «Проблема отключения в высоковольтной технике», напечатанной в «Archive für Elektrotechnik» за 1936 г., 2-й выпуск. На рис. 36 этой статьи показана контактная система выключателя с обоими полыми контактами и подводом сжатого воздуха между ними.

Путем увеличения числа элементов гасительной камеры до четырех в 1947 г. был построен и испытан в ВЭИ выключатель ВВН-220 для напряжения 220 кВ с мощностью отключения 5000 Мва. Собственное время отключения выключателя ВВН-220 от момента подачи команды на отключение до момента гашения дуги 0,065 сек. Максимальная длительность горения дуги 0,02 сек. Давление сжатого воздуха 20 ат. Вес трех полюсов выключателя 15 т. Производственные

испытания показали, что отключающая мощность выключателя на 220 кВ составляет 7000 Мва.

В 1949 г. был разработан выключатель для напряжения 35 кВ с мощностью отключения 1000 Мва без внешнего отъединителя.

Чертежи этого выключателя были переданы на завод «Электроаппарат».

Следует отметить, что на заводе «Электроаппарат» были внесены существенные изменения в конструкцию выключателя, а именно: вместо отдельного пневматического управления и подачи воздуха самостоятельно в каждый полюс выключателя было применено общее дутье для всех трех полюсов, что сильно упростило пневматику выключателя. В дальнейшем завод «Электроаппарат» заменил в этом выключателе масляный буфер воздушным.

На рис. 9-4 показан в выключенном положении разрез одного полюса выключателя ВВН-35. Выключатель колонкового типа без отделителя.

Воздушный резервуар 1 является общим для всех трех полюсов и составляет одно целое с тележкой. Во включенном положении трубчатый подвижной контакт 2 примыкает к верхнему подпружиненному контакту 3. При отключении сжатый воздух поступает из резервуара 1 во внутреннюю полость изолятора 4 и через канал 5 в гасительную камеру 6. Под давлением сжатого воздуха подпружиненный контакт 3 поднимается. Образовавшаяся дуга между контактами 2 и 3 вдувается на внутренние поверхности этих контактов.

Выход ионизированных газов из гасительной камеры 6 происходит через внутренние полости контактов 2 и 3.

Из контакта 3 газы уходят в атмосферу через щели в головке выключателя, а из контакта 2 – через отверстие 7, совпадающее при включенном положении выключателя с окном 8.

Через небольшой промежуток времени после погасания дуги пневматический механизм привода выключателя отводит изолирующей штангой 9 подвижной контакт 3 в нижнее положение, как то показано на рисунке, и тем создает необходимый разрыв между контактами 2 и 3 в выключенном положении выключателя.

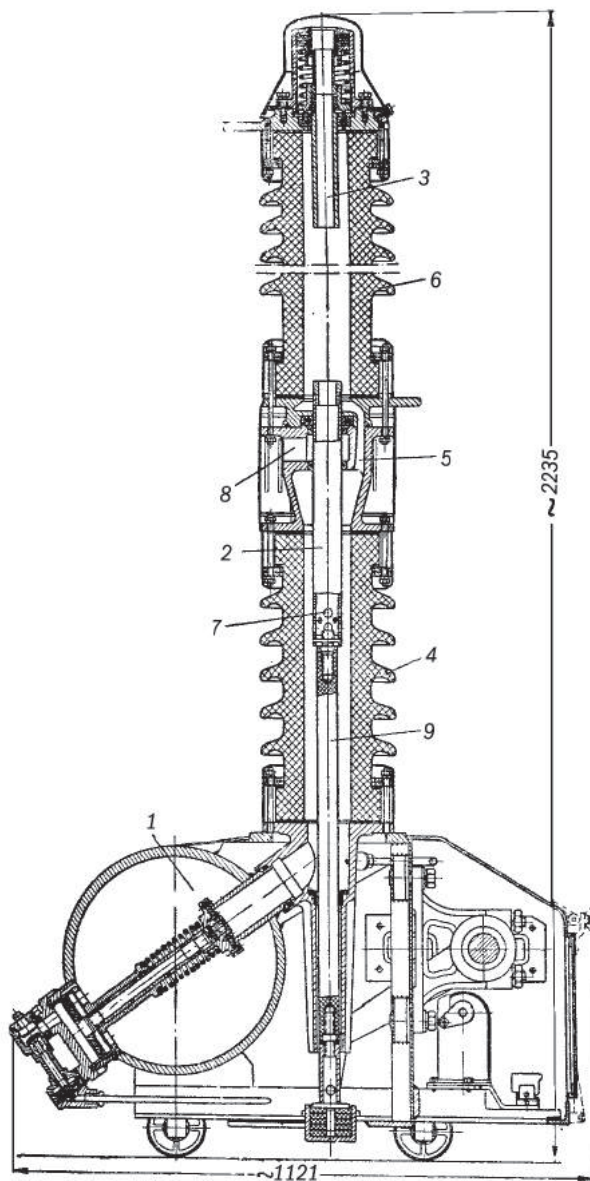


Рис. 9—4 Разрез одного полюса выключателя типа ВВН-35 с гашением дуги сжатым воздухом (1949 г.)

При прекращении подачи сжатого воздуха после погасания дуги подпружиненный контакт Z возвращается в исходное положение. На этот выключатель было выдано Е.М.Цейрову авторское свидетельство № 74289 по заявке от 22/VI 1947 г. Предмет изобретения касается только конструкций дугогасительных контактов, что можно видеть из формулы предмета изобретения, а именно: «Воздушный выключатель высокого напряжения без внешнего разъединителя с применением двух подвижных дугогасительных контактов, один из которых служит в качестве указанного разъединителя, отличающийся тем, что, с целью улучшения условия гашения дуги, дугогасительные контакты выполнены полыми с тем, чтобы отводить через них отработанный сжатый воздух в атмосферу».

К разработке выключателя с гашением дуги сжатым воздухом для напряжения 400 кВ и мощностью отключения 8000 Мва было приступлено в 1949 г. Опытная фаза выключателя была изготовлена на ОЭМЗ-е ВЭИ в 1950 г. Было произведено испытание на 400 включений и отключений. Выключатель был колонкового типа с общей гасительной камерой с восемью последовательно включенными разрывами.

В 1954 г. была построена опытная фаза выключателя на 400 кВ с шестью разрывами с отключающей мощностью 10 000 Мва. При испытании было обнаружено, что имеет место неодновременное размыкание контактов.

Воздушный тракт от резервуара со сжатым воздухом до верха гасительной камеры имел значительную длину. При пуске сжатого воздуха при отключении выключателя происходил аэродинамический удар струи воздуха в верхнюю крышку гасительной камеры. Это создавало в гасительной камере колебательный процесс, сопровождавшийся повышенным давлением на одних участках гасительной камеры и провалами давления на других участках. В результате наблюдалось неодновременное размыкание контактов в отдельных элементах гасительной камеры. Это явление было обнаружено и исследовано И. Линдстремом при испытании в 1948 г. выключателей фирмы АСЭА [Л. 9-1]. Аналогичное исследование было проведено

Е.М.Цейровым в ВЭИ в 1953 г. Он установил, что при ударе струи воздуха в крышку гасительной камеры давление и температура воздуха значительно повышаются и возникает колебательный процесс, что приводит к одновременности размыкания контактов. Повышение температуры гасящей струи воздуха ухудшало электрическую прочность гасящей струи [Л. 9-2].

С целью улучшения работы верхних разрывов было принято решение: 1) увеличить диаметр фарфоровой покрывки гасительной камеры; это мероприятие повышает расход воздуха и тем увеличивает электрическую прочность дуговых промежутков; 2) число мест разрыва цепи тока увеличить до семи, что уменьшает восстанавливающее напряжение на расходящихся контактах. Полное время отключения составило 0,075 сек, а время включения 0,65 сек.

В 1954 г. заводы отечественной электропромышленности приступили к изготовлению выключателей для напряжения 400 кВ с отключающей мощностью 10 000 Мва с семью разрывами, и с 1955 г. они работают на линии электропередачи Волжская ГЭС – Москва. В настоящее время проходит испытание выключатель на 400 кВ с отключающей мощностью 15 000 Мва с восемью местами разрыва цепи тока.

Воздухонаполненный выключатель 400 кВ

В 1953 г. в ВЭИ был разработан проект воздухонаполненного выключателя для сети напряжением 400 кВ, у которого отсутствует внешний отъединитель. Наличие у выключателя внешнего отъединителя создает следующие неудобства:

- 1) передвижение ножа требует установки отдельного пневматического привода;
- 2) значительные массы ножа отъединителя при включении создают ударные нагрузки, что может повести к поломке изоляторов;
- 3) необходимо устанавливать демпфер для смягчения ударов;
- 4) требуется иметь дополнительный клапан для управления приводом отъединителя;
- 5) работа отъединителя может быть нарушена гололедом;
- 6) необходима установка сложных блокировочных контактов.

Чтобы избежать этих недостатков, в ВЭИ был разработан проект воздушнонаполненного выключателя. С целью уменьшить по высоте размеры выключателя, он был спроектирован в виде двух вертикально установленных гасительных камер, каждая из которых имела по три места разрыва цепи тока. Работа гасительной камеры этого выключателя происходит следующим образом.

При отключении сжатый воздух поступает в гасительную камеру и воздействует на поршни механизмов подвижных контактов. Последние расходятся на 15 мм и затем останавливаются. Через определенный промежуток времени подвижные контакты начинают вновь двигаться в сторону отхода от неподвижных контактов и доходят до своего крайнего положения, закрывая резиновыми клапанами выхлопные отверстия для выхода воздуха из гасительной камеры. Создавшееся в гасительной камере давление воздуха удерживает подвижные контакты в разомкнутом положении. При включении выключателя выпускается сжатый воздух из гасительной камеры, и подвижные контакты под действием пружин возвращаются в исходное положение.

Для выравнивания напряжений между местами разрыва цепи тока в воздушнонаполненном выключателе предусмотрена установка реактивного делителя восстанавливающегося напряжения. Емкостный ток реактивного делителя можно не выключать при отключении выключателя, поэтому для воздушнонаполненного выключателя не требуется установки отъединителя.

ВЫВОДЫ

Изготавливаемые в Советском Союзе выключатели колонкового типа с гашением дуги сжатым воздухом существенно отличаются от аналогичного типа выключателей, изготовлявшихся зарубежными фирмами. Основными отличиями являются конструкции контактной системы гасительной камеры и способ управления включением и отключением отъединителя.

У отечественных выключателей как подвижной, так и неподвижный контакты выполняются полыми внутри, и в процессе гашения дуги ионизированные газы отводятся одновременно через отверстия в обоих контактах.

Зарубежные выключатели колонкового типа имеют сплошной подвижной контакт, и выход газов осуществляется только через сопла неподвижных контактов.

Наличие двух путей для отвода ионизированных газов улучшает камеру гашения дуги, что позволяет создать гасительную камеру выключателя для напряжения 400 кВ с семью местами разрыва цепи тока, тогда как фирма «Браун-Бовери» предполагала это выполнять с 22 разрывами в колонковом типе выключателя. Создание в ВЭИ Е.М.Цейровым конструкций отечественных выключателей колонкового типа для напряжений 220 и 400 кВ с мощностью отключения до 15 000 Мва позволило осуществить строительство линии передачи Волжская ГЭС – Москва напряжением 400 кВ, не прибегая к импорту выключателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Пути развития выключателей

История развития выключателей переменного тока высокого напряжения насчитывает около 70 лет. Из всех конструкций, предложенных за этот период времени, только три типа нашли широкое применение в наше время:

- 1) выключатели с гашением дуги в воздухе в виде роговых выключателей, снабженных гасительными камерами и магнитным дутьем; в таком исполнении они достигли мощности отключения до 250 *Mva* при 17,5 *кв*, а в исполнении с деионной решеткой – мощности отключения 500–600 *Mva* при 15 *кв*;
- 2) выключатели с гашением дуги в масле, строящиеся для напряжений до 345 *кв* с мощностью отключения до 25 000 *Mva*;
- 3) выключатели с гашением дуги сжатым воздухом для напряжений до 330 *кв* с мощностью отключения до 25 000 *Mva*.

История развития выключателей показывает, что отдельные типы на некоторое время выходят из употребления, а затем вновь возрождаются. Так было с трубчатыми выключателями, вытесненными в начале нашего столетия масляными и роговыми выключателями и вновь появившимися в виде выключателей мощности и трубчатых разрядников в тридцатых годах. Некоторые типы выключателей периодически появлялись и исчезали, например деионные выключатели Доливо-Добровольского и Слепяна. Эти факты приводят к выводам, что не следует пренебрегать старыми типами выключателей, так как при развитии техники и изобретении новых способов гашения дуги могут возникнуть такие положения, что старые, как будто отжившие конструкции вновь найдут место в энергетических установках.

За последние 20 лет в разработке баковых масляных выключателей имеются достижения, которые особенно заметны при сопоставлении старых и современных конструкций баковых выключателей фирмы «Вестингауз» (США) за период с 1935 по 1954 г. В 1935 г.

фирма «Вестингауз» изготовила баковый масляный выключатель для напряжения 287 кв с мощностью отключения 2500 Мва для установки на станции Болдер-Дэм. Вес масла во всех трех баках выключателя был 90 т, вес масла на 1 млн. ква мощности отключения составлял 36 т.

В табл. 3-1, составленной по данным, приведенным в статье А.Хилла (журнал «Westinghouse Engineer», май 1954 г.) и др., указаны веса масла в выключателе фирмы «Вестингауз» на 1 млн. ква мощности отключения [Л. 6-16].

Таблица 3-1

Год выпуска масляного выключателя	Мощность отключения, тыс. ква	Вес масла, т	Вес масла на 1 млн. ква мощности отключения
1935	2500	90	36
1940	2500	52,5	21
1942	3500	24,5	7
1952	10 000	14,7	1,47
1954	25 000	36	1,4

Таким образом, за 20 лет вес масла в баковом выключателе при рабочем напряжении порядка 300 кв на 1 млн. ква мощности отключения уменьшился в 25 раз.

2. Сопоставление развития выключателей

а) Масляные выключатели

На диаграмме [рис. 3-1] показан рост мощности отключения масляных выключателей в СССР и за границей за период с 1922 по 1955 г.

Как видно из этой диаграммы, отечественные масляные выключатели имеют максимальную мощность отключения 3500 Мва.

Американские баковые масляные выключатели достигли мощности отключения 25 000 Мва. Такое отставание в развитии отечественных масляных выключателей объясняется тем, что в Советском Союзе основное направление развития выключателестроения пошло по линии выключателей с гашением дуги сжатым воздухом.

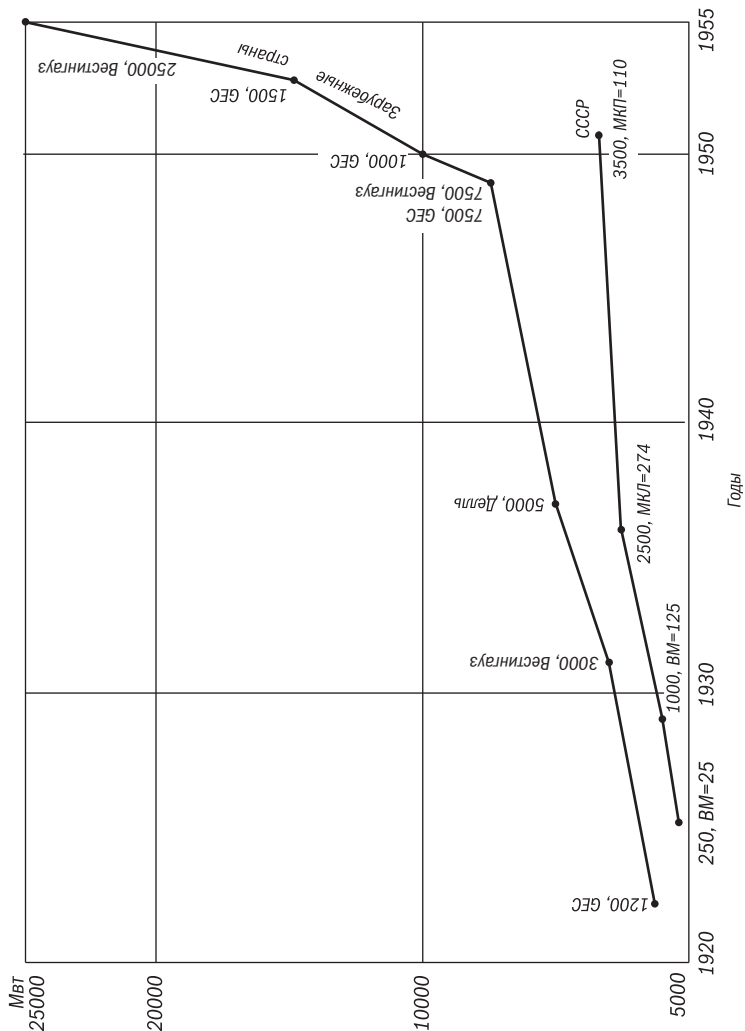


Рис. 3—1 Рост максимальной мощности отключения масляных выключателей

б) Выключатели с гашением дуги сжатым воздухом

На диаграмме [рис. 3-2] показано развитие выключателей с гашением дуги сжатым воздухом за рубежом и в Советском Союзе.

С 1949 по 1956 г., т. е. за 7 лет, отечественные выключатели с гашением дуги сжатым воздухом прошли путь от выключателя 110 кВ с мощностью отключения 2400 Мва до выключателя 400 кВ с мощностью отключения 15 000 Мва (по данным ВЭИ).

Ведущая европейская фирма «Браун-Бовери» довела мощность отключения своих выключателей до 25 000 Мва. В своем журнале «В. В.С. Mitteilungen» № 1–2 за 1957 г. фирма сообщила, что в США были проведены типовые испытания отдельных отключающих элементов выключателя с гашением дуги сжатым воздухом в сети с напряжением 330 кВ. Испытания показали, что выключатель с десятью местами разрыва цепи тока имеет отключающую мощность 25 000 Мва.

В современных выключателях с гашением дуги сжатым воздухом сильно возросло число мест разрыва цепи тока. Так, в выключателях фирмы АСЭА конструкции 1952 г. для напряжения 350 кВ и отключаемой мощности 8000 Мва число мест разрыва тока равно десяти.

Новый выключатель фирмы АСЭА с гашением дуги сжатым воздухом на 380 кВ выполняется с шестью унифицированными гасительными камерами, имеющими по два места разрыва, которые в целом образуют 12 последовательно включенных разрывов на полюс. Каждые две гасительные камеры питаются сжатым воздухом от отдельного воздухопровода.

Фирма «Браун-Бовери» до 1948–1949 гг. также изготавливала выключатели колонкового типа для напряжений до 220 кВ, а затем, отказавшись от этой конструкции, перешла к установке нескольких секций по две гасительных камер, смонтированных на отдельных опорных изоляторах. По этому же пути пошли фирмы АЭГ, «Метрополитен-Виккерс», АСЭА и др.

Проблема создания воздушнонаполненного выключателя представляет несомненный интерес для Советского Союза, где в зимних условиях контакты отъединителя могут подвергаться обледенению.

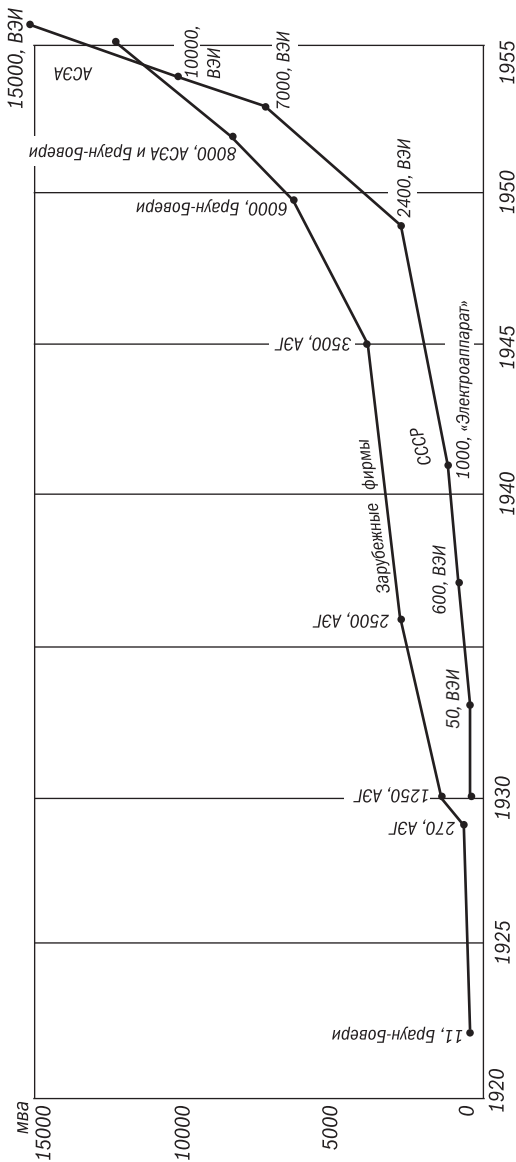


Рис. 3—2 Рост максимальной мощности отключения выключателей с гашением дуги сжатым воздухом

Переход на новую серию выключателей с гашением дуги сжатым воздухом потребует освоения отечественными заводами керамических изоляторов с высокими электрическими и механическими качествами, так как применяемый в настоящее время электротехнический фарфор не удовлетворяет новым требованиям.

До последнего времени отечественная электропромышленность не имеет единой серии выключателей напряжением 110, 220, 400 и 500 кВ, соответствующей современным требованиям.

Выпускаемые заводами электропромышленности выключатели на 110, 220 и 400 кВ с гашением дуги сжатым воздухом, снабженные рубящим ножом в качестве отделителя, показали в эксплуатации ряд производственных и конструктивных недостатков. У них не было шунтирующих сопротивлений, что вызывало перенапряжения при отключении ненагруженных трансформаторов и линий передач.

Вследствие недостаточной электрической прочности при перенапряжениях наблюдались перекрытия по поверхности. Имели место проникновения влаги внутрь выключателей из-за плохого качества резиновых прокладок. Были случаи зависания подвижного контакта. Осмотр контактов выключателя требует демонтажа гасительной камеры, что связано с большой затратой времени.

Английская фирма «Инглиш электрик» в 1958 г. разработала конструкцию колонкового типа выключателя с гашением дуги сжатым воздухом для напряжения 330 кВ и мощностью отключения 10 000 МВА. Гасительная камера имеет шесть разрывов цепи тока на полюс и снабжена тремя лазами для возможности попарного осмотра контактов без демонтажа гасительной камеры.

Гасительная камера выключателя с гашением дуги сжатым воздухом имеет большое количество выхлопов для отвода ионизированных газов в процессе отключения выключателя.

У этих выключателей механизмами для передвижения контактов являются подпружиненные поршни, которые в своей работе особо чувствительны к проникновению в них пыли. Поэтому при установке выключателей этого типа в местности, где наблюдаются сильные

ветры с пылью, работа пневматической части выключателей может стать ненадежной.

В 1956 г. в ВЭИ была закончена разработка серии выключателей колонкового типа с гашением дуги сжатым воздухом, снабженных шунтирующими сопротивлениями. Чертежи на эту серию выключателей напряжением 110 и 220 кВ были переданы заводу «Электроаппарат», а на выключатель для напряжения 400 кВ – заводу «Уралэлектроаппарат».

Выключатель для 400 кВ этой серии был разработан для тока 2000 А и отключаемой мощности 15 000 МВА при полном времени отключения 0,09 сек. Выключатель имел гасительную камеру с 8 разрывами цепи тока, которые зашунтированы двумя сопротивлениями на 210 и 3000 Ом. Шунтирующие сопротивления 210 Ом предназначались для снижения перенапряжений при отключении батареи продольной компенсации. Шунтирующее сопротивление 3000 Ом было предназначено для снижения перенапряжений при отключении длинных ненагруженных линий передач.

Каждый шунт состоит из 8 элементов, соединенных последовательно. Каждый элемент шунта состоит из активного сопротивления, последовательно с которым установлены контакты для разрыва цепи тока, протекающего через сопротивление шунта.

При включенном положении выключателя контакты гасительной камеры и обоих шунтов, а также нож отъединителя замкнуты. В процессе отключения сжатый воздух в течение 0,01–0,015 сек гасит дугу в цепи главного тока. Контакты шунта 210 Ом размыкаются через 0,03–0,04 сек после окончания гашения дуги в гасительной камере, контакты шунта в 3000 Ом размыкаются через 0,03–0,4 сек после размыкания контактов шунта с сопротивлением 210 Ом. В конце процесса отключения нож отъединителя поворачивается и размыкает ток, протекающий через активный делитель напряжения; затем прекращается подача сжатого воздуха в гасительную камеру и в колонны шунтирующих сопротивлений. Контакты гасительной камеры и шунтирующих сопротивлений под действием пружин возвращаются в исходное положение и замыкаются. Выключатель включается ножом отъединителя.

Каждый полюс выключателя установлен на четырех опорных колоннах изоляторов. Три опорные колонны изоляторов расположены в плане по вершинам треугольника и служат для установки на них гасительной камеры, двух колонн шунтирующих сопротивлений и колонны активного делителя восстанавливающегося напряжения. Четвертая колонна опорных изоляторов служит для крепления на ней неподвижного контакта отъединителя. В соответствии с условиями заказа выключатели могут быть выполнены без шунтирующих сопротивлений.

Эта конструкция выключателей колонкового типа с гашением дуги сжатым воздухом была разработана в ВЭИ бригадой конструкторов под руководством Е.М.Цейрова и зарегистрирована в 1957 г. под № 5723 в Комитете по делам изобретений и открытий при Совете министров СССР как оригинальная конструктивная разработка.

Эта серия выключателей с двумя шунтирующими сопротивлениями представляет собой дальнейшую модификацию конструкции колонкового типа выключателей.

Следующим этапом развития конструкции выключателей была разработка в ВЭИ серии выключателей для напряжений 110, 220, 400 и 500 кВ. Эта серия снабжена отделителем, помещенным в отдельной колонне.

Гасительная камера выключателя на 500 кВ будет иметь десять разрывов цепи тока и в отключенном состоянии не будет заполнена сжатым воздухом. Гасительная камера отделителя имеет четыре разрыва цепи тока и в отключенном положении будет заполнена сжатым воздухом.

Выключатель новой серии 220 кВ с мощностью отключения 10 000 МВА передан для изготовления заводу «Уралэлектроаппарат».

Во Всесоюзном электротехническом институте разработана серия воздухонаполненных выключателей, аналогичных по принципу действия выключателям фирмы «Браун-Бовери», но отличающихся по конструктивному выполнению.

Спроектирована новая серия маломасляных выключателей. Образец такого выключателя на 220 кВ с мощностью отключения 5000 МВА изготовлен и находится в стадии испытания.

Завод «Уралэлектроаппарат» разрабатывает новую серию баковых масляных выключателей «Урал» с чечевицеобразными баками и гасительной камерой с многократным разрывом цепи тока, снабженной подпружиненным поршнем.

Сравнивая конструкции современных баковых масляных выключателей импульсного типа, т. е. с подпружиненным поршнем, и выключателей с гашением дуги сжатым воздухом, следует отметить, что масляный выключатель имеет преимущество в отношении простоты изготовления и надежности действия.

При изготовлении масляного выключателя класс точности обработки деталей ниже, чем то требуется при работе над деталями выключателя с гашением дуги сжатым воздухом.

Масляный выключатель является более дешевым аппаратом и менее зависит в эксплуатации от механических качеств фарфора, изменения температуры и влажности воздуха и не может быть так легко выведен из строя при случайных или преднамеренных механических воздействиях (удары). Соотношение цен на выключатели с гашением дуги сжатым воздухом и масляные показано на диаграмме [3-3].

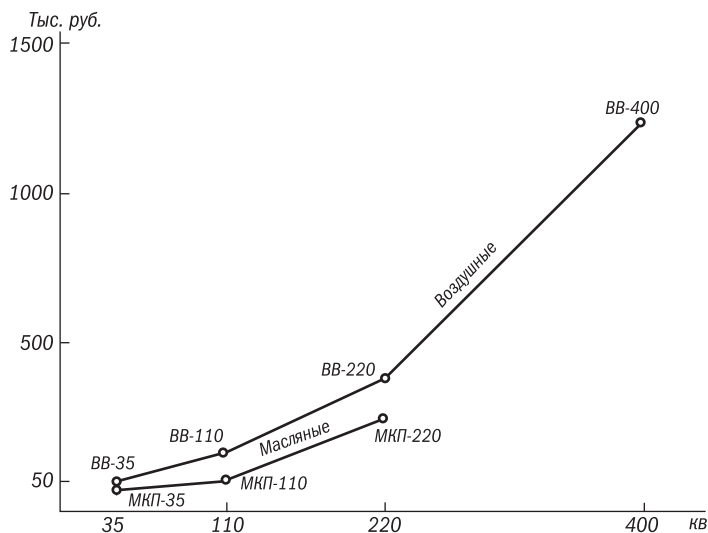


Рис. 3—3 Сопоставление цен на масляные и воздушные выключатели

Цены выключателей с гашением дуги сжатым воздухом приняты с включением цены трех трансформаторов тока. Выключатели масляные имеют на вводах встроенные трансформаторы тока, которые входят в основную цену масляного выключателя.

Современное состояние техники в области строительства мощных выключателей не дает пока однозначного решения вопроса, какой тип выключателя является наилучшим. Поэтому выключатели высокого напряжения продолжают изготавливаться как с гашением дуги сжатым воздухом, так и в виде масляных выключателей.

Учитывая различные климатические условия отдельных районов Советского Союза, каждый из этих типов выключателей может являться оптимальным вариантом для определенной энергетической установки, если он лучше будет соответствовать требованиям эксплуатации, климатическим условиям и иметь меньшую стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

Глава вторая

- 2-1. Английский патент № 1385, 1880 г.
- 2-2. Гусев С. А., Очерки по истории развития электрических машин, Госэнергоиздат, 1955.
- 2-3. Барлоу П., Электромагнитные опыты, 1824.
Перевод помещен в книге «История развития электродвигателя», изд. АН СССР, 1936.
- 2-4. Риччи В., Опытные исследования по электромагнетизму и магнитоэлектричеству, 1833.
Перевод помещен в книге «История развития электродвигателя», изд. АН СССР, 1936.
- 2-5. Измененный вторичный генератор, «Электричество», № 12–13, 1885, стр. 15.
- 2-6. Фогельзанг М., История развития высоковольтной выключающей техники, Берлин, 1929.
- 2-7. Пробст Х., Развитие высоковольтных распределительных устройств, «ETZ», 1911, № 39.
- 2-8. Круг В., Электрическая силовая передача у Иогансенсбурга на Вдовьем берегу Южно-Африканской Республики, «ETZ», 1898, № 31.
- 2-9. Поль Х. и Сошинский В., Провода, выключающие и предохранительные аппараты для электрических установок сильного тока, Лейпциг, 1904.
- 2-10. Форбс, Сообщение в Британской ассоциации об электрическом освещении в Америке, «Электричеством», 1889, № 13–14.
- 2-11. Вильке А., Электричество, его добывание и применение в промышленности и технике, «Промышленность и техника», т. III, СПб.
- 2-12. Передача силы из Меканиквилля в Сенектеди, «Электричество», 1897, № 23–24.

- 2-13. Браун Ч., Письмо на имя Оскара фон Миллера, «ETZ», 1901, № 30.
- 2-14. Германский патент № 91133, выданный 21 апреля 1897 г. на имя фирмы «Сименс-Гальске».
- 2-15. Германский патент № 101447, выданный 2 марта 1899 г. на имя Браун-Бовери по заявке 15 мая 1897 г.
- 2-16. Германский патент № 122345 на имя фирмы Фонт и Гефнер, выданный 19 июля 1901 г. по заявке от 3 апреля 1900 г.
- 2-17. Высоковольтный прерыватель Шпрехера, «ETZ», 1900 г., № 1 и швейцарский патент № 18708 на имя Шпрехера, выданный 15 февраля 1898 г.
- 2-18. Германский патент № 114061 на имя фирмы «Шуккерт и К°», выданный 10 октября 1900 г. по заявке от 12 декабря 1899 г.
- 2-19. Германский патент № 226517 на имя фирмы АЭГ, выданный по заявке от 16 сентября 1910 г.
- 2-20. Сутсгет, Роговые выключатели на 100 кв и отключаемой мощностью 5000 ква, «ETZ», 1920, № 6.
- 2-21. Роговой выключатель на 140 кв, «ETZ», 1921, № 13.
- 2-22. Хютер В., Новые заграничные высоковольтные выключатели, «ETZ», 1923, № 34.
- 2-23. Бенишке Г., Высоковольтный выключатель, Доклад на заседании Электротехнического общества в Берлине, «ETZ», 1903, № 31.
- 2-24. Беннетт Х. Е., Исследования роговых выключателей высокового напряжения, «ETZ», 1916, № 1.
- 2-25. Германский патент № 266745 на имя фирмы АЭГ, выданный 1 ноября 1913 г. по заявке от 4 мая 1912 г.
- 2-26. Выключатели переменного тока высокого напряжения, германский патент № 94788 на имя Ак. О-ва «Шуккерт и К°», выданный 19 ноября 1897 г. по заявке от 12 ноября 1896 г.
- 2-27. Германский патент № 134026 на имя фирмы «Сименс-Гальске», выданный 17 июля 1901 г.
- 2-28. Высоковольтные воздушные выключатели «Денон», «ETZ», 1929, № 19.
- 2-29. Авторское свидетельство № 69448 на имя К.Н.Петрова, выданное 31 декабря 1947 г. по заявке от 29 сентября 1945 г.

- 2-30. Германский патент № 293332, выданный 7 августа 1916 г. на имя фирмы АЭГ по заявке от 23 июля 1914 г.
- 2-31. Авторское свидетельство № 234473 на имя Л.Г.Рашковского, выданное 31 октября 1931 г. по заявлению от 17 февраля 1931 г.

Глава третья

- 3-1. Капп, Лауффен – Франкфуртская передача энергии, «Электричество», 1891, № 20.
- 3-2. Вильке А., Электричество, его добывание и применение в промышленности и технике, «Промышленность и техника», т. III, СПб.
- 3-3. Заметки об электростанции в Гросвенорской Галерее, «ETZ», 1891, № 9.
- 3-4. Хроника, «Дептфордская электростанция», «ETZ», 1890, № 15.
- 3-5. Дептфордская центральная электрическая станция и ее главные приводы, «Почтово-телеграфный журнал», 1889, № 12.
- 3-6. Большая Дептфордская центральная станция и ее главные приводы, «Электричество», 1890, № 22.
- 3-7. Английский патент № 10917 на «Плавкий предохранитель с маслом», выданный Ферранти 5/VI 1894 г.
- 3-8. Английский патент № 13091 на «Выключатель с безопасным разрывом тока или выключением», выданный Ферранти 6/VII 1895 г.
- 3-9. Фогельзанг М., История развития высоковольтной выключающей техники, Берлин, 1929.
- 3-10. Швейцарский патент № 17901, выданный фирме «Браун-Бовери» 10 ноября 1898 г.
- 3-11. Германский патент № 121420, выданный фирме «Браун-Бовери» 12 июня 1901 г.
- 3-12. Вилкинс Р. и Креллин Е., Масляные выключатели высокого напряжения, Нью-Йорк, 1930.

Глава четвертая

- 4-1. Американский патент № 789597 от 14 февраля 1901 г. на однобаковый выключатель Эммета и Хьюлетта.
- 4-2. Фогельзанг М., История развития высоковольтной выключающей техники, Берлин, 1929.
- 4-3. Выключатели, предохранители и прочие устройства, «ETZ», 1909, № 3.
- 4-4. ГЕРГЕС, доклад «Защитные аппараты в распределительных устройствах», «ETZ», 1896, № 32.
- 4-5. Доклад Фогельзанга на заседании электротехнического общества в Кельне, «ETZ», 1904, № 12.
- 4-6. Германский патент № 127744, выданный 26 января 1902 г. Конструкторскому бюро электрических аппаратов системы Бергтрама во Франкфурте-на-Майне по заявке от 1 февраля 1901 г.
- 4-7. ГЕРХАРДТ А., Новые высоковольтные выключатели, «ETZ», 1903, № 15.
- 4-8. БЕНИШКЕ Г., Высоковольтный выключатель, доклад на заседании Электротехнического общества в Берлине, «ETZ», 1903, № 31.
- 4-9. КЕССЕЛЬРИНГ Ф., Включение и выключение больших мощностей, доклад на Первой Всесоюзной конференции по аппаратуре сильного тока, «Электричество», 1929, № 21–22.
- 4-10. Информационный бюллетень Электроимпорта «Электрическое оборудование для напряжения 220 кв», Приложение к № 1 журнала «Электричество», 1931.
- 4-11. Советский патент № 35717, выданный 31 марта 1934 г. фирме «Сименс-Шуккерт» по заявке от 24 ноября 1927 г.

Глава пятая

- 5-1. Германский патент № 211074, выданный 11 июня 1909 г. Джону Хилларду и Чарлзу Парсонсу (США) по заявке от 12 мая 1908 г.

- 5-2. Кессельринг Ф., Включение и выключение больших мощностей, доклад на Первой Всесоюзной конференции по аппаратуре сильного тока, «Электричество», 1929, № 21–22.
- 5-3. Брессон, Аппаратура высокого напряжения, статья Д. Сильва, Современные выключатели переменного тока.
- 5-4. Германский патент за № 354582, выданный 13 июня 1932 г. швейцарской фирме «Эрликон» по заявке от 29 декабря 1922 г.
- 5-5. Буйлов А.Я. Выключатели переменного тока высокого напряжения, ОНТИ, НКТП, 1936.
- 5-6. Германский патент за № 638251, выданный 12 ноября 1935 г. фирме «Браун-Бовери» по заявке от 9 декабря 1933 г.
- 5-7. Дир Л. В., «Электричество», 1930, № 19.
- 5-8. Вилкокс Х. и Лидс В., Масляные выключатели 287 кв для линии передачи Болдер-Дэм, «El. Engin.», 1936, № 6.
- 5-9. Авторское свидетельство № 30334, выданное В.И.Ильченко 31 мая 1933 г. по заявке от 26 июля 1928 г.
- 5-10. Авторское свидетельство № 30336, выданное 31 мая 1933 г. В.Г.Егорову по заявке от 29 апреля 1931 г.
- 5-11. Информационный листок № 4244/1 «Выключатель расширения, SSW», «Электричество», 1931, № 13.
- 5-12. «Электричество», 1940, № 12. Объявление фирмы «Сименс-Шуккерт».
- 5-13. Германский патент № 609387, выданный 16 февраля 1935 г. фирме «Сименс-Шуккерт» по заявке от 20 июня 1931 г.
- 5-14. Линия передачи 309 кв, «ETZ», 1953, № 4.
- 5-15. Фогельзанг М., История развития высоковольтной выключающей техники, Берлин, 1929.
- 5-16. Вилкинс и Креллин, Масляные выключатели высокого напряжения, Нью-Йорк, 1930.
- 5-17. Бирманс И., Высокомощные выключатели без масла, «ETZ», 1930, № 9.
- 5-18. Менге А., Современные мощные выключатели, Сборник «Германская техника», ноябрь 1931.

Глава шестая

- 6-1. Ручной масляный выключатель фирмы «Клоос», – электроинженерной компании «El. World», 1898, ч. II, стр. 663.
- 6-2. Германский патент № 131211, выданный 10 июня 1902 г. на имя Вильгельма Бенинга по заявке от 16 октября 1901 г.
- 6-3. Бенишке Г., Высоковольтный выключатель, доклад 26 мая 1903 г. на заседании Электротехнического общества в Берлине, «ETZ», 1903, № 31.
- 6-4. Германский патент № 150912, выданный 6 мая 1904 г. фирме АЭГ по заявке от 19 августа 1903 г.
- 6-5. Фогельзанг М., История развития высоковольтной выключающей техники, Берлин, 1929.
- 6-6. Авторское свидетельство № 26751, выданное 30 июня 1933 г. Ильченко В.И. по заявке от 26 июня 1928 г.
- 6-7. Аронович И. С., Аппаратура распределительных устройств высокого напряжения, ГОНТИ, 1938.
- 6-8. Германский патент № 594529, выданный фирме АЭГ 19 марта 1933 г. по заявке от 20 мая 1932 г.
- 6-9. Выключатель мощностью отключения 10 000 *Mva*, 1951, «El. Engin», № 1.
- 6-10. Болентоне и Ратц, Импульсный выключатель на 330 *кв* 15 000 *Mva* с закрытой гасительной камерой, «El. Engin», май 1954 г.
- 6-11. Французский патент № 766635, выданный 16 апреля 1934 г. Конструкторскому электротехническому бюро «Делль» по заявке от 9 декабря 1933 г.
- 6-12. Французский патент № 768691, выданный 28 мая 1934 г. Конструкторскому электротехническому бюро «Делль» по заявке от 26 января 1934 г.
- 6-13. Французский патент № 787319, выданный 1 июля 1935 г. Конструкторскому электротехническому бюро «Делль» по заявке от 14 февраля 1935 г.
- 6-14. Янке и Сендстрем, После испытания 400-*кв* выключателей, «El. Engin», ноябрь 1953 г.

- 6-15. Германский патент № 629420, выданный 12 мая 1936 г. Конструкторскому электротехническому бюро «Делль» по заявке от 9 апреля 1936 г.
- 6-16. Лидс и Эслей, Новая вежа в строительстве выключателей с отключаемой мощностью 25 млн. ква, напряжением 330 кв, «El. Engin», май 1954 г.
- 6-17. Германский патент № 521638, выданный 25 марта 1931 г. Саксенверкскому осветительному и силовому акционерному обществу по заявке от 14 марта 1929 г.

Глава седьмая

- 7-1. Русская привилегия № 11534, выданная 12 февраля (30 января) 1907 г. Электрической компании «Вестингауз» по заявке от 9 сентября (19 августа) 1902 г.
- 7-2. Фогельзанг М., История развития высоковольтной выключающей техники, Берлин, 1929.
- 7-3. Швейцарский патент № 18456, выданный в 1898 г. машиностроительному заводу «Эрликон».
- 7-4. ТЕНЬЕР К.П. Распределительное устройство на электростанции и умформерной подстанции Pierre de Plan электротехнического предприятия Лозанны, «ETZ», 1901, № 46.
- 7-5. Германский патент № 213614, выданный 20 сентября 1909 г. швейцарской фирме «Эрликон» по заявке от 26 февраля 1909 г.
- 7-6. Привилегия в России № 10124, выданная 31 мая 1905 г. Акционерному обществу русских электротехнических заводов «Сименс-Гальске» по заявке от 27 января 1900 г.
- 7-7. Авторское свидетельство за № 30333, выданное 31 мая 1933 г. В.А.Воронову и Л.Е.Машкиллейсону на «Электрический выключатель» по заявке от 28 марта 1931 г.
- 7-8. Зависимое авторское свидетельство за № 35279, выданное 31 мая 1933 г. М.М.Акодису по заявке от 4 января 1933 г.

- 7-9. Зависимое авторское свидетельство за № 68205, выданное 30 апреля 1947 г. Г.П.Зедгинидзе по заявке от 13 января 1944 г.
- 7-10. Американский патент № 2089051, выданный 28 января 1937 г. фирме ДЖИИ.

Глава восьмая

- 8-1. BBC, Mitteilungen, «Выключатель с гашением дуги сжатым воздухом» 1950, № 1–2–3.
- 8-2. Линниченко П. И., Гашение дуги струей воздуха, «Электричество», 1949, № 1.
- 8-3. Фройтцгейм, Относительно новых выключателей, «ETZ», 1900, 22/XI.
- 8-4. Видман К. А., К развитию выключателей со сжатым воздухом, «ETZ», 1929, № 41.
- 8-5. Германские патенты № 171456 и № 171457, выданные 30 мая 1906 г. Р. Джексону из Вилкинсбурга (США) по заявкам от 11 мая 1905 г.
- 8-6. Германский патент № 288168, выданный 21 октября 1915 г. фирме «Сименс-Шуккерт» по заявке от 6 июня 1914 г.
- 8-7. Германский патент № 525631, выданный 27 мая 1931 г. фирме «Сименс-Шуккерт» по заявке от 7 мая 1931 г.
- 8-8. Германский патент № 370388, выданный 2 марта 1923 г. машиностроительному заводу «Эрликон» по заявке от 3 июня 1922 г.
- 8-9. Бирманс И., Высокомощный выключатель без масла, доклад в Электротехническом обществе в Берлине, сделанный 28 мая 1929 г., «ETZ», 1929, № 39.
- 8-10. Германский патент № 504736, выданный 7 августа 1930 г. фирме АЭГ по заявке от 24 июля 1930 г.
- 8-11. Бирманс И., Высокомощный выключатель без масла, «ETZ», 1930, № 9.

- 8-12. Бирманс И., Выключатели со сжатым газом, «ETZ», 1953, № 10.
- 8-13. BBC, Narchrichten, 1930, тетрадь 2, III–IV, «К истории выключателей переменного тока Браун-Бовери».
- 8-14. Германский патент № 565490, выданный 1 декабря 1932 г. фирме «Браун-Бовери» по заявке от 7 января 1930 г.
- 8-15. Германский патент № 535661, выданный 16 октября 1931 г. фирме «Браун-Бовери» по заявке от 24 сентября 1931 г.
- 8-16. BBC, Mitteilungen, ноябрь 1935 г.
- 8-17. BBC, Mitteilungen, 1939, № 4–5.
- 8-18. Германский патент № 726441, выданный 14 октября 1942 г. фирме «Браун-Бовери» по заявке от 23 июня 1940 г.
- 8-19. BBC, Narchrichten, октябрь – декабрь 1941 г.
- 8-20. BBC, Mitteilungen, 1943, № 1–2.
- 8-21. Янке и Сендстрем, После испытания 400-кв выключателей, «El. Engin», ноябрь 1953 г.
- 8-22. BBC, Mitteilungen, 1951, № 12.
- 8-23. Мощные выключатели, «Электричество», № 4, 1949.
- 8-24. ASEA Journal, 1954, № 7–8.
- 8-25. Германский патент № 662036, выданный 18 ноября 1935 г. Конструкторскому электротехническому бюро «Делль» по заявке от 31 октября 1935 г.
- 8-26. Германский патент № 753454, выданный 17 октября 1933 г. Конструкторскому электротехническому бюро «Делль» по заявке от 7 августа 1933 г.
- 8-27. «El. Engin», 1940, № 9.
- 8-28. Споры Ф. и Стренг Х., Испытание в эксплуатационных условиях и конструкция воздушного выключателя на 138 кв, «El. Engin», 1942, № 1.
- 8-29. Германский патент № 305797, выданный 23 мая 1918 г. Макс Грэффу по заявке от 24 сентября 1916 г.
- 8-30. Авторское свидетельство № 12707, выданное 31 января 1930 г., П.П.Николенко по заявке от 15 июня 1927 г.

Глава девятая

- 9-1. Буткевич Ю. В., Отключение цепей высокого напряжения, «Электричество», 1949, № 2.
- 9-2. Цейров Е. М., Воздушные выключатели высокого напряжения, Госэнергоиздат, 1957.
- 9-3. Афанасьев В. В., Конструкции высоковольтных выключающих аппаратов, Госэнергоиздат, 1951.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Айртон 22–24
Акодис 126, 131, 132, 196, 197, 221
Ампер 28

Б

Барлоу 28
Бауэр 24
Бачурин 126
Бельфильд 43, 44
Бенинг 169
Бенишке 23, 57, 110, 111, 171, 172
Беннет 57
Беркей 25
Бирманс 159, 160, 208, 243, 246, 253, 254
Блати 27, 30, 40
Браун 47, 83–85, 90, 91, 105, 106
Броуде 305
Буйлов 17, 25, 149, 311
Бурмейстер 223, 224
Буткевич 150

В

Ван Сикл 25
Видман 233
Вилькенс 174
Воронов 220–222
Вудхауз 71, 72
Вурц 59, 87, 88, 90

Г

Гергес 104, 105
Герхардт 109
Гибс 42, 74
Голлард 28, 29, 42, 74
Горев 307
Грефф 297–299
Грюнвальд 242
Гуревич 126

Д

Депре 74
Джексон 236, 237, 257
Джонсон 233, 234
Доливо-Добровольский 16, 27, 28, 52, 53, 58, 61, 62, 64–66, 69,
73, 91, 324

Е

Егоров 144, 146–148, 197

З

Зедгинидзе 222, 223

И

Ильченко 173, 175

К

Каплан 126

Кельман 158

Кессельринг 25, 115, 148, 149, 151, 317

Клоос 168

Комптон 13, 25

Кон 62, 165

Коппельман 317

Креллин 4

Кюнс 115

Л

Лаваль 311

Линдстрем 320

Лундель 233, 234

М

Майр 25
Машкиллейсон 220–222
Миллер 47

Н

Николенко 298, 299
Никольсон 162
Ноттингам 22, 23

О

Оверман 112

П

Парсонс 120
Пачинотти 197
Першаль 39, 40
Петров В. 28
Петров К. 65
Пикетт 229
Ползунов 197
Поль 28
Пробст 34, 231

Р

Рашковский 72, 73, 287

Рид 234, 235

Риттмейр 249

Риччи 28

Руппель 160, 232, 239, 241–244, 247, 250, 264

С

Скиллен 294, 297

Слепян 16, 17, 20, 25, 62, 324

Стенлей 102–104

Сутсгет 55

Т

Тенбер 214–215

Томсон 47, 86, 87, 90

Тюри 74

У

Ульбрих 62

Ф

Ферранти 47, 76, 77–79, 82, 83, 87, 92, 105

Фогельзанг 4, 106, 112, 216

Форбс 42, 43

Х

Хилл 325

Хиллиард 120

Хохрайнер 254

Хютер 57

Хьюлетт 88, 90, 91, 96, 105, 109

Ц

Цейров 314, 320, 321, 323, 331

Цюльке 156

Ш

Шпрехер 50

Штейнмец 22, 23

Штольц 24



Эдисон 27, 45, 46

Эммет 94, 109

Эпштейн 201–205

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава первая. Электрическая дуга и ее гашение	11
1—1 Что такое электрическая дуга	11
1—2 Электрическая дуга при атмосферном и повышенном давлении	12
1—3 Электрический разряд в вакууме	14
1—4 Гашение электрической дуги	15
1—5 Особенности гашения дуги переменного тока	17
1—6 Развитие теории электрической дуги и процесса ее гашения	22
Глава вторая. Выключатели с гашением дуги в воздухе	26
2—1 Общие сведения	26
2—2 Выключатели с ртутными контактами	28
2—3 Рычажные выключатели европейских электротехнических фирм	34
2—4 Рычажные выключатели американских фирм	42
2—5 Роговые выключатели	46
2—6 Роликовые, пластинчатые и деионные выключатели	58
2—7 Выключатели с гасительной камерой в виде узкой щели М.О.Доливо-добровольского	66
2—8 Выключатели с открытой дугой в воздухе, снабженные сопротивлениями	69
Глава третья. Изобретение выключателя с простым расхождением контактов в масле	74
3—1 Общие сведения	74
3—2 Работы С. де Ферранти (Англия)	76

3—3 Работы Ч.Брауна (Швейцария)	83
3—4 Работы в США	86
3—5 Работы в Германии	89

Глава четвертая. Развитие выключателя с простым

расхождением контактов в масле	92
4—1 Общие сведения	92
4—2 Выключатели фирмы ДЖИИ (США)	94
4—3 Выключатели фирмы «Вестингауз» (США)	100
4—4 Выключатели Стенлея	102
4—5 Масляные выключатели германских фирм	104
4—6 Борьба между роговым и масляным выключателями	112
4—7 Выключатели со встроенными сопротивлениями	113

Глава пятая. Выключатели с организованным гашением дуги

в жидкости под действием энергии самой дуги	118
5—1 Общие сведения	118
5—2 Изобретение простой гасительной камеры	119
5—3 Гасительные камеры с продольным дутьем	122
5—4 Гасительная камера с поперечным масляным дутьем фирмы ДЖИИ	127
5—5 Гасительная камера поперечного дутья с многократным разрывом цепи тока завода «Уралэлектроаппарат»	129
5—6 Гасительная камера со встроенным сопротивлением фирмы «Эрликон» (Швейцария)	132
5—7 Гасительные камеры фирмы «Браун-Бовери» (Швейцария)	133
5—8 Гасительная камера с поперечным дутьем фирмы «Метрополитен-Виккерс» (Англия)	137
5—9 Гасительные камеры с узкой щелью фирмы «Вестингауз»	138
5—10 Гасительная камера В.И.Ильченко (СССР)	143

5—11	Гасительные камеры В.Г.Егорова (СССР)	144
5—12	Расширительная гасительная камера Кессельринга (Германия)	148
5—13	Водяные выключатели	156
5—14	Новые данные об изобретении гасительных камер продольного и поперечного дутья	163
Глава шестая. Выключатели с гашением дуги струей масла		
под действием энергии, подводимой со стороны		
6—1	Общие сведения	166
6—2	Выключатель Клооса (США)	168
6—3	Выключатель Бенинга (Германия)	169
6—4	Выключатели фирмы АЭГ	171
6—5	Выключатель В.И.Ильченко (СССР)	175
6—6	Импульсные выключатели фирмы ДЖИИ	176
6—7	Импульсный выключатель фирмы «Делль» (Франция)	182
6—8	Импульсный баковый выключатель фирмы «Вестингауз»	190
6—9	Сущность и новизна баковых импульсных выключателей фирм «Вестингауз» и ДЖИИ	193
6—10	Некоторые данные о результатах испытаний 380 кв выключателей в Швеции	198
6—11	Делители восстанавливающегося напряжения в выключателях с многократным разрывом цепи тока	200
6—12	Общие замечания о развитии масляных выключателей с гасительными камерами	206
Глава седьмая. Выключатели трубчатые и автогазовые		
7—1	Общие сведения	209
7—2	Трубчатые выключатели	210
7—3	Выключатели автогазовые	219

Глава восьмая. Выключатели с гашением дуги сжатым воздухом	227
8—1 Общие сведения	227
8—2 Опыты применения дутья для гашения электрической дуги	231
8—3 Первые конструкции выключателей с гашением дуги сжатым воздухом	233
8—4 Работы Руппеля (Германия)	241
8—5 Выключатели фирмы АЭГ (Германия)	245
8—6 Выключатели фирмы «Браун-Бовери»	258
8—7 Выключатели фирмы АСЭА (Швеция)	281
8—8 Выключатели фирмы «Делль» (Франция)	284
8—9 Выключатели фирмы ДЖИИ	288
8—10 Баковые выключатели с гашением дуги сжатым инертным газом	293
8—11 Подвесные выключатели	300
Глава девятая. Развитие производства выключателей в СССР	304
9—1 Историческая справка	304
9—2 Развитие масляных выключателей	305
9—3 Развитие производства выключателей с гашением дуги сжатым воздухом	311
Выводы	324
Заключение	325
Литература	335
Именной указатель	345

Переиздание оригинальной книги осуществлено
при поддержке компании «Таврида Электрик»

Гусев, С.А.

Г96 Очерки по истории развития выключателей переменного тока /
С.А. Гусев. – Москва, 2022. – 356 с. : ил. ; табл.

В книге изложена история развития выключателей переменного тока высокого напряжения. Эволюция конструкции выключателей рассматривается только в части совершенствования гасительных устройств.

Вклад советских изобретателей в создание современных конструкций выключателей показан в отношении тех конструкций, которые, по мнению автора книги, имеют особо важное значение.

Книга охватывает период времени с конца прошлого столетия до 1955 г. и рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся вопросами развития техники.

УДК 621.3.01
ББК 31.264

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет за собой уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Издание для досуга

С.А. Гусев
ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Подписано в печать 29.08.2022 г.
Формат 70х90/16. Усл. печ. л. 26,03
Гарнитура «PT Sans»
Тираж 1000 экз.

Отпечатано в ООО «Радугапринт»
117105, г. Москва, Варшавское ш., д. 28А.
Тел.: 8(495)252-75-10,
www.raduga-print.ru

12+