

В. Н. ПУПЫНИН, С. Х. ДАРЧИЕВ

## Сравнение фидерных выключателей постоянного тока 2×ВАБ-49-3200/30-Л и GE Rapid 4207 2×4

*На железных дорогах России, электрифицированных на постоянном токе, в последние годы проводятся масштабные работы по реконструкции и модернизации тяговых подстанций и постов секционирования. Департамент электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД», возглавляющий эти работы, уделяет особое внимание внедрению самых современных устройств защиты тяговых сетей. В связи с этим изучается вопрос о целесообразности использования одного из лучших зарубежных быстродействующих автоматических выключателей GE Rapid 4207 2×4 компании GE Power Controls, Германия, взамен отечественных двоярных 2×ВАБ-49-3200/30-Л, выпускаемых ОАО «УЭТМ» (далее соответственно GE Rapid и 2×ВАБ-49).*

В связи с актуальностью совершенствования защиты тяговых сетей постоянного тока было проведено исследование целесообразности такой замены. Для этого сравнивали указанные выключатели по следующим параметрам:

- отключающей способности;
- ампер-секундам отключаемого тока, прошедшего через место короткого замыкания за время его отключения;
- коэффициенту ограничения отключаемого тока;
- надежности действия;
- коммутационному и механическому ресурсу;
- удобству обслуживания;
- габаритам и стоимости.

**Отключающая способность** выключателя, как известно, определяется величиной установившегося тока в отключаемой цепи с заданной величиной индуктивности, в которой рассматриваемый выключатель способен ограничить ток короткого замыкания (далее к. з.) и отключить его [1]. При этом чем меньше величина ограниченного выключателем отключаемого тока к. з. и чем меньше время его отключения, тем выключатель лучше по своим защитным качествам [2].

**Ампер-секунды отключаемого тока**, прошедшего через место короткого замыкания, определяют веро-

ятность пережога проводов контактной сети при возникновении дуги в месте к. з. Так, согласно [3, 4] для пережога контактного провода МФ-100 в этих условиях достаточно, чтобы число ампер-секунд, обусловленное током, протекающим через место к. з., было в пределах 250 – 400.

Следует учитывать также, что величина этого показателя, при которой происходит пережог провода, может быть набрана в результате нескольких последовательных включений выключателя на дуговое к. з., разделенных малыми промежутками времени, например временем первого автоматического повторного включения (АПВ), равного 5 – 8 с.

**Коэффициент ограничения отключаемого тока** короткого замыкания определяется отношением максимального значения тока, протекающего через быстродействующий выключатель, к его уставке. Этот коэффициент опосредованно характеризует быстродействие выключателя и скорость нарастания напряжения на его дуге. При равных условиях лучшим следует считать выключатель с меньшим коэффициентом ограничения тока.

**Надежность действия** выключателей, как и любого другого электрического аппарата, определяется надежностью его составных узлов и предусмотренной возможностью их резервирования. При сравнении двух аппаратов одинакового принципа действия, построенных из одинаковых по надежности узлов, более надежным будет аппарат, у которого предусмотрена возможность резервирования узлов.

**Коммутационный и механический ресурсы** выключателя опосредованно определяют стоимость его эксплуатационного обслуживания. Выбирая выключатели, следует отдавать предпочтение аппаратам с большим ресурсом при прочих равных условиях.

**Габариты и стоимость** как категории сравнения имеют смысл лишь в том случае, когда сравниваемые выключатели равноценны по всем перечисленным выше показателям. В случае когда оба сравниваемых выключателя по-разному, но справляются с отключением защищаемой цепи, их следует сравнивать по приведенной стоимости эксплуатации, в ко-

тору, кроме стоимости самих выключателей, следует включать и приведенную стоимость ущерба в контактной сети в ходе их эксплуатации.

**Методика сравнения выключателей по главным параметрам**

Из перечисленных сравниваемых параметров главными являются первые три: отключающая способность выключателя, ампер-секунды тока, прошедшего через место к. з., и коэффициент ограничения отключаемого тока к. з.

Наиболее объективным методом сравнения выключателей по главным параметрам следует считать сопоставление результатов, полученных при опытах отключения сравниваемыми выключателями одной и той же цепи при равных условиях.

Применительно к рассматриваемым выключателям 2×ВАБ-49 и GE Rapid такие опыты не проводились. В связи с этим необходимо прибегнуть к компьютерному моделированию процессов отключения сравниваемыми выключателями одной и той же цепи, схема которой для тяговой сети постоянного тока имеет вид, приведенный на рис. 1.

Все элементы цепи линейные, в том числе и напряжение на дуге выключателя  $U_d(t)$ , поскольку согласно [2], [5] и результатам многочисленных испытаний в ОАО «УЭТМ» значение  $U_d(t)$  можно принимать не зависящим от величины тока и параметров элементов рассматриваемой цепи. Таким образом, при моделировании параметр  $U_d(t)$  может быть задан в виде заранее известной функции времени, определяемой лишь конструктивной особенностью дугогасительной камеры выключателя, в том числе и камеры с деионной решеткой.

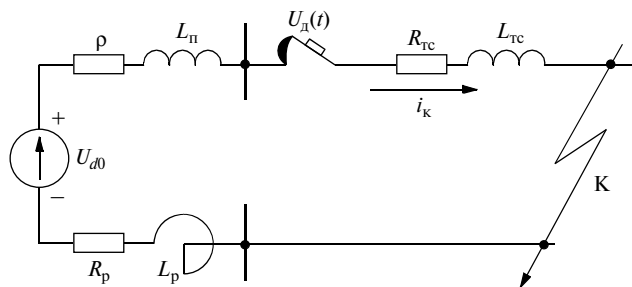
Так, при компьютерном моделировании процессов отключения цепи выключателем GE Rapid компания GE Power Controls рекомендует использовать зависимость  $U_d(t)$ , приведенную на рис. 2 [6].

Значения времени, рекомендованные компанией GE Power Controls, равны:  $\Delta t_0 = 2,5$  мс;  $\Delta t_1 = 5,5$  мс;  $\Delta t_2 = 7$  мс. Поскольку эти данные не соответствуют результатам, представленным компанией в виде опытной осциллограммы (рис. 3), потребовалась корректировка параметров на базе указанной осциллограммы. В результате принято (см. рис. 2):

- $\Delta t_0 = 3,36$  при  $v_0 = 0$ ;
- $\Delta t_1 = 6$  при  $v_1 = 200$ ;
- $\Delta t_2 = 7$  при  $v_2 = 757$ ;
- $\Delta t_3 = (\text{до } t_4)$  при  $v_3 = 0$ .

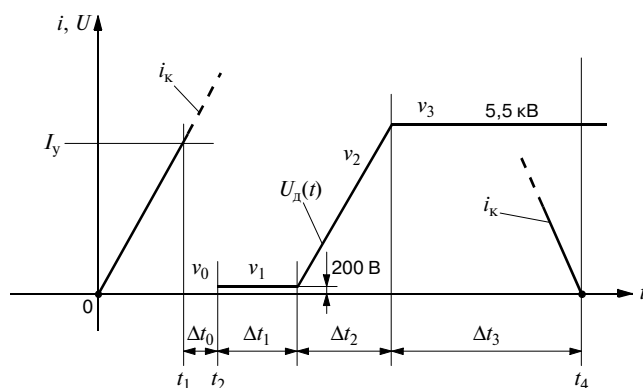
Здесь  $v_j$  — скорость нарастания напряжения дуги на  $j$ -м участке.

При определении зависимости  $U_d(t)$  для выключателя 2×ВАБ-49 использованы практически идентичные осциллограммы, снятые ОАО «УЭТМ» (одна из



**Рис. 1. Расчетная схема замещения цепи для компьютерного моделирования процессов отключения токов короткого замыкания в тяговой сети постоянного тока:**

$U_{d0}$  — напряжение холостого хода источника питания (тяговой подстанции);  $\rho, L_{п}$  — эквивалентные сопротивление и индуктивность тяговой подстанции, определяемые параметрами первичной питающей системы, мощностью и числом понижающих и преобразовательных трансформаторов;  $R_{тс}, L_{тс}$  — сопротивление и индуктивность тяговой сети до места к.з. (суммарные значения индуктивно связанных и последовательно соединенных контактной и рельсовой сетей);  $R_p, L_p$  — сопротивление и индуктивность реакторов сглаживающего устройства тяговой подстанции;  $U_d(t)$  — напряжение на дуге выключателя;  $i_k$  — ток к. з.; К — место короткого замыкания



**Рис. 2. Зависимости напряжения  $U_d$  на дуге выключателя GE Rapid и тока к. з.  $i_k$  от времени, рекомендуемые компанией GE Power Controls для компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания:**

$\Delta t_0$  — собственное время выключателя (от момента достижения уставки защитным устройством выключателя  $t_1$  до момента расхождения его контактов  $t_2$ , т. е. до момента появления на них дуги);  $\Delta t_1$  — время горения между контактами короткой дуги при напряжении 200 В;  $\Delta t_2$  — время подъема напряжения на дуге до 5500 В;  $\Delta t_3$  — время горения дуги при стабильном напряжении 5500 В (определяется моментом достижения током нуля  $t_4$ , т. е. моментом отключения тока);  $I_y$  — ток уставки;  $v_j$  — скорость нарастания напряжения дуги на  $j$ -м участке

них показана на рис. 4), на которых отображены процессы отключения выключателем 2×ВАБ-49 глухого короткого замыкания с установившимся током 27 кА на выходе тяговой подстанции Исток Свердловской железной дороги при двух включенных преобразовательных агрегатах, отключенных фильтрующем и разрядном устройстве, но при сохранении в цепи сглаживающих реакторов.

На основании кривых, приведенных на рис. 4, для выключателя 2×ВАБ-49 получена усредненная зависимость нарастания напряжения на двух последовательно соединенных камерах выключателя

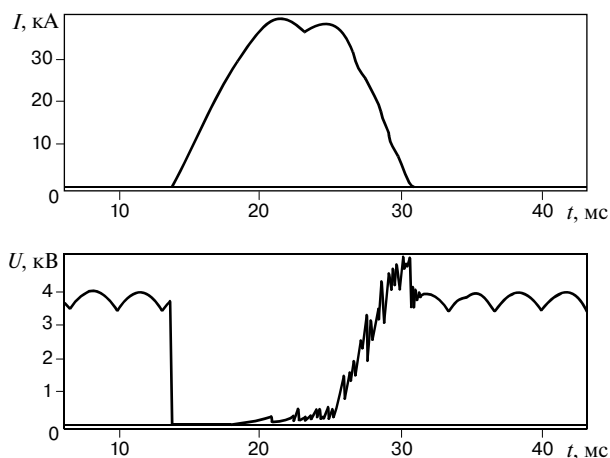


Рис. 3. Осциллограмма отключения установившегося тока короткого замыкания при  $L_{\Sigma} = 0,4$  мГн выключателем GE Rapid 4207 2×453 (по данным GE Power Controls)

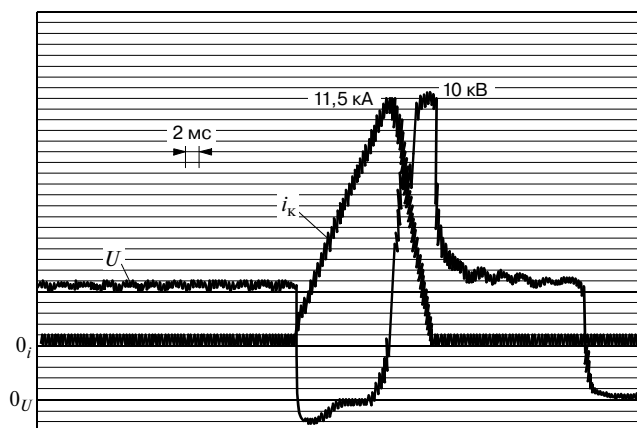


Рис. 4. Осциллограмма отключения сдвоенным выключателем 2×ВАБ-49 глухого короткого замыкания с установившимся током 27 кА на выходе тяговой подстанции Исток (по данным ОАО «УЭТМ»)

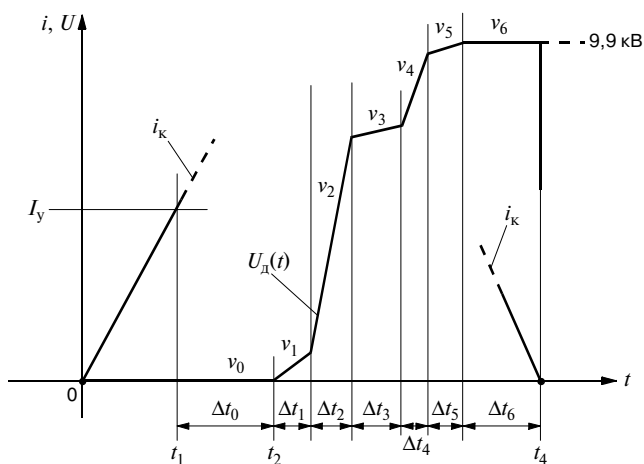


Рис. 5. Зависимость  $U_d(t)$  на дуге выключателя 2×ВАБ-49 для компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания (по данным осциллограмм рис. 4): обозначение позиций, как на рис. 2

2×ВАБ-49, отображаемая следующими параметрами (рис. 5):

- $\Delta t_0 = 6,34$  при  $v_0 = 0$ ;
- $\Delta t_1 = 2,6$  при  $v_1 = 357$ ;
- $\Delta t_2 = 2,8$  при  $v_2 = 2341$ ;
- $\Delta t_3 = 3,4$  при  $v_3 = 87,5$ ;
- $\Delta t_4 = 1,5$  при  $v_4 = 1353$ ;
- $\Delta t_5 = 2,5$  при  $v_5 = 148$ ;
- $\Delta t_6 = (\text{до } t_4)$  при  $v_6 = 0$ .

Для проведения компьютерного моделирования необходимо знать реальные параметры отключаемой цепи, а именно: суммарное сопротивление  $R_{\Sigma}$  и суммарную индуктивность  $L_{\Sigma}$  цепи с к. з. в расчетной схеме замещения отключаемой цепи (рис. 6), которая эквивалентна приведенной на рис. 1, где:

$$R_{\Sigma} = \rho + R_{тс} + R_p; L_{\Sigma} = L_{л} + L_{тс} + L_p.$$

Уравнение Кирхгофа для напряжений в цепи, представленной на рис. 6, имеет вид:

$$U_{d0} = U_d(t) + i_k R_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{di_k}{dt}. \quad (1)$$

Очевидно, что при  $i_k = 0$  функция  $U_d(t) = 0$ , и поэтому из выражения (1) и рис. 7, где показана стилизованная осциллограмма отключения тока к. з., найдем

$$L_{\Sigma} = \frac{U_{d0}}{\left(\frac{di_k}{dt}\right)} \cong \frac{U_{d0}}{\left(\frac{\Delta i_k}{\Delta t}\right)}. \quad (2)$$

При  $t = t_3$  выражение  $\frac{di_k}{dt} = 0$ , и тогда из уравнения (1) и рис. 1 получим

$$R_{\Sigma} = [U_{d0} - U_d(t_3)] / I_3. \quad (3)$$

По осциллограмме отключения тока глухого короткого замыкания 27 кА, предоставленной ОАО «УЭТМ», в соответствии с выражениями (2) и (3) определено:  $R_{\Sigma} = 0,11$  Ом;  $L_{\Sigma} = 4,53 \cdot 10^{-3}$  Гн. Эти параметры отключаемой цепи и были введены в компьютерную программу отключения глухого короткого замыкания на выходе тяговой подстанции Исток быстродействующими выключателями 2×ВАБ-49 и GE Rapid.

### Сравнение результатов компьютерного моделирования

#### Выключатели 2×ВАБ-49 и GE Rapid

В ходе исследований моделировались следующие процессы отключения токов короткого замыкания:

- при к. з. непосредственно у тяговой подстанции, аналогичной подстанции Исток ( $R_{\Sigma} = 0,11$  Ом;  $L_{\Sigma} = 4,53 \cdot 10^{-3}$  Гн), и уставках выключателей 3 кА и 5 кА;
- при к. з. в тяговой сети двухпутного участка на расстоянии 8 км от тяговой подстанции (у поста секционирования) и уставке выключателя 3 кА. Для этого случая при контактной подвеске М-120 + 2МФ-100 + А150 и рельсах Р-65 было найдено

$$R_{\Sigma} = 0,427 \text{ Ом}; L_{\Sigma} = 12,53 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Результаты моделирования представлены в виде осциллограмм токов отключаемой цепи и напряжения на контактах выключателей (рис. 8, 9 и 10). Для наглядного сравнения результатов все осциллограммы выполнены в одном масштабе и совмещены. Данные сведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, выключатель GE Rapid по всем параметрам уступает выключателю 2×ВАБ-49. Особенно неприятным является существенно большая (в 1,71 раза) величина ампер-секунд в месте к. з. при его отключении выключателем GE Rapid. Практически это означает, что на двухпутном участке короткое замыкание с образованием дуги, возникшее в зоне 2 – 3 км от тяговой подстанции, с вероятностью 85 % приведет к пережогу контактного провода, так как практически половина рассчитанного значения ампер-секунд в месте к. з. обусловлена током, притекающим со стороны поста секционирования.

Следует обратить особое внимание на то, что заявленное компанией-изготовителем время отключения цепи к. з. выключателем GE Rapid при индуктивности 6 – 11 мГн (не более 0,025 с [6]) существенно меньше полученного в результате компьютерного моделирования (0,045 с, см. рис. 9 и 10). В то же время значение этого параметра, гарантируемое при тех же условиях компанией ОАО «УЭТМ» для выключателя 2×ВАБ-49 (не более 0,03 с [1]), соответствует результату компьютерного моделирования (0,026 с, см. осциллограммы на рис. 9 и 10).

Особо стоит вопрос о сравнении выключателей по отключающей способности. Она зависит от многих причин, в числе которых конструкция дугогасительных камер и энергетическая напряженность их работы, определяемая количеством энергии  $P_{кам}$ , выделяемой в камерах при отключении:

$$P_{кам} = \int_{t_2}^{t_4} U_d(t) i_k dt, \text{ кДж.} \quad (5)$$

Вычисление этого интеграла дало следующие результаты: при отключении короткого замыкания на выходе тяговой подстанции при уставке выключателей 5000 А на одну камеру выключателя 2×ВАБ-49 приходится порядка 247 кДж, в то время как на камеру выключателя GE Rapid – 838 кДж. Аналогичным образом при уставке выключателей 3000 А на одну камеру выключателя 2×ВАБ-49 приходится 191 кДж, а на камеру выключателя GE Rapid – 684 кДж. Другими словами, камера выключателя GE Rapid работает при существенно большей энергетической напряженности (в 3,4 – 3,6 раза!). Конечно, эта напряженность работы камеры может быть компенсирована ее специфической конструкцией, способностью рассеивать большее количество тепла без повреждений, но на основании данных, предоставленных

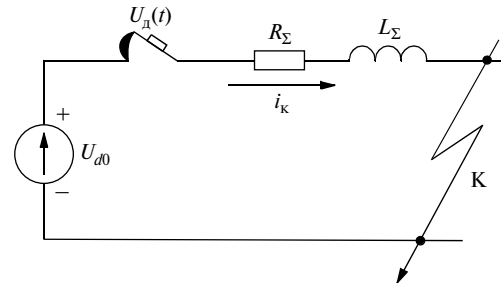


Рис. 6. Расчетная схема замещения, эквивалентная приведенной на рис. 1 и предназначенная для компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания

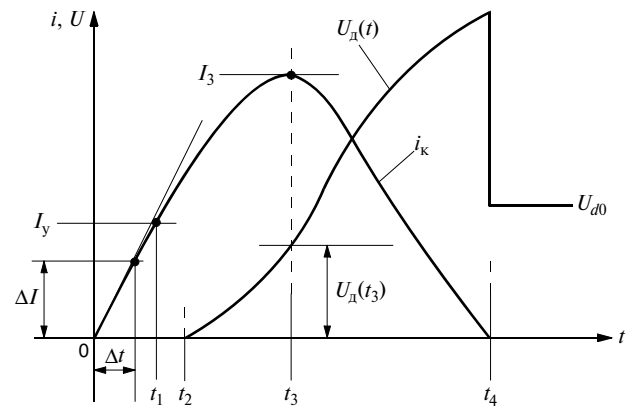


Рис. 7. К пояснению методики определения параметров короткозамкнутой тяговой сети постоянного тока по осциллограмме отключения ее быстродействующим выключателем

компаний GE Power Controls, судить об этом нельзя. Истинное положение вещей можно установить только по результатам специальных сравнительных испытаний на отключающую способность камер. Такие испытания было бы целесообразно

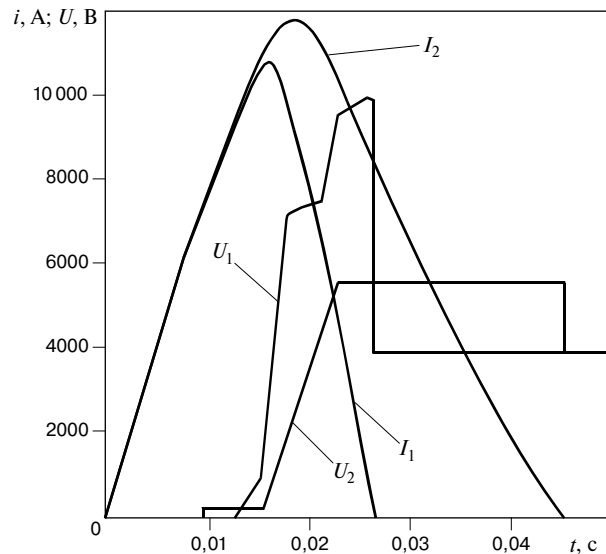


Рис. 8. Результаты компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания на выводах тяговой подстанции выключателями 2×ВАБ-49 и GE Rapid (уставки выключателей 5000 А):  $I_1, U_1$  — ток и напряжение выключателя 2×ВАБ-49;  $I_2, U_2$  — то же, выключателя GE Rapid;  $t$  — время

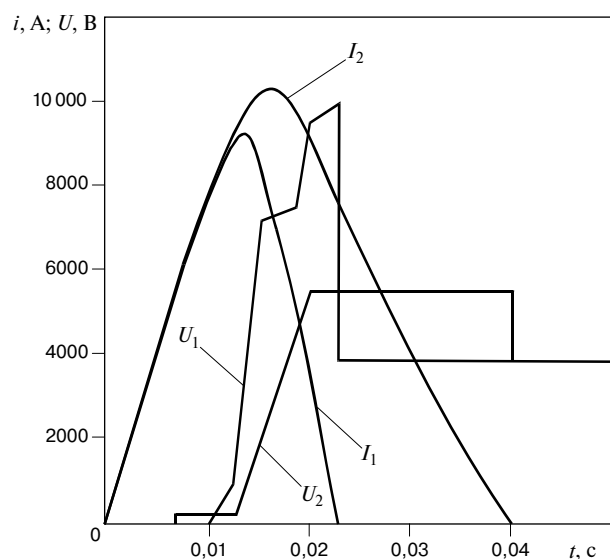


Рис. 9. Результаты компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания на выводах тяговой подстанции выключателями 2×ВАБ-49 и GE Rapid (уставки выключателей 3000 А): обозначения позиций, как на рис. 8

провести в ближайшее время на испытательном стенде ОАО «УЭТМ», Экспериментальном кольце ВНИИЖТа или же на тяговой подстанции Исток.

#### Выключатели 2×ВАБ-49 и 2×GE Rapid

Процессы отключения токов короткого замыкания выключателем GE Rapid могут быть такими же успешными, как и выключателем 2×ВАБ-49, если использовать два последовательно соединенных GE Rapid, т. е. прибегнуть к формуле 2×GE Rapid.

Сравнительные осциллограммы отключения коротких замыканий выключателями 2×GE Rapid и 2×ВАБ-49, полученные при компьютерном моделировании процессов отключения при тех же условиях, что и в предыдущем расчете, приведены на рис. 11, 12 и 13. Для наглядного сравнения результатов эти

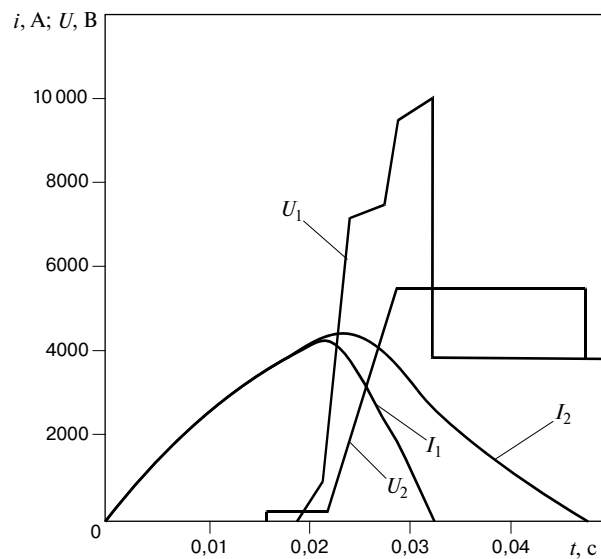


Рис. 10. Результаты компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания в тяговой сети двухпутного участка у поста секционирования (на расстоянии 8 км от тяговой подстанции) выключателями 2×ВАБ-49 и GE Rapid (уставки выключателей 5000 А): обозначения позиций, как на рис. 8

осциллограммы также выполнены в одном масштабе и совмещены. Данные сведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наблюдается практическая эквивалентность выключателей 2×ВАБ-49 и 2×GE Rapid (или ВАБ-49 и GE Rapid). При этом и энергетическая напряженность работы камер выключателей оказывается практически одинаковой (в камере ВАБ-49 выделяется 247 кДж, а в камере GE Rapid – 260 кДж). Однако следует иметь в виду, что характеристика 2×GE Rapid принята идеализированной, поскольку получена простым удвоением скорости нарастания напряжения дуги одного выключателя GE Rapid. В связи с этим реальные характеристики 2×GE Rapid будут несколько хуже, чем показано в табл. 2.

Таким образом, соединяя последовательно по два выключателя GE Rapid, можно добиться такого же эффекта в отношении предотвращения пережогов

Таблица 1

Результаты компьютерного моделирования отключений токов короткого замыкания быстродействующими выключателями 2×ВАБ-49 и GE Rapid

Место к. з.	Ток уставки выключателя ( $I_y$ ), А	Тип выключателя	Максимальное значение ограниченного тока к. з. ( $I_z$ ), А	Коэффициент ограничения тока к. з. ( $k_{огр}$ )	Ампер-секунды в месте к. з. $\left( \int_{t_1}^{t_4} i_k dt \right)$ , А·с
На выводах тяговой подстанции	5000	2×ВАБ-49	10 840	2,16	163
		GE Rapid	11 800	2,36	281
	3000	2×ВАБ-49	9261	3,09	121
		GE Rapid	10 336	3,45	221
В тяговой сети у поста секционирования	3000	2×ВАБ-49	4281	1,43	81
		GE Rapid	4430	1,48	114

контактного провода и обеспечить такую же энергетическую напряженность работы камер, как при использовании выключателей 2×ВАБ-49 для отключения токов короткого замыкания в тяговой сети постоянного тока 3,3 кВ.

**Сравнение выключателей по коммутационному и механическому ресурсу**

Пока что такое сравнение можно выполнить, основываясь только на паспортных данных выключателей [1, 6].

Коммутационный ресурс камер выключателей определяется в основном износом их дугогасительных контактов (по нашей терминологии) или контактов предварительного дугогашения (по терминологии компании GE Power Controls), а также износом пластин камер.

Учитывая примерно одинаковое время горения короткой дуги между медными контактами в начале процесса дугогашения у выключателей обоих типов, следует полагать, что по износу контактов сейчас их коммутационный ресурс примерно одинаков. Однако в ближайшем будущем на выключателях ВАБ-49 начнут устанавливать контакты, материал которых представляет новую разработку ОАО «УЭТМ». Контакты из такого материала в настоящее время проходят испытания в г. Протвино на оборудовании ускорителя. Коммутационный ресурс выключателей с контактами из нового материала должен быть на порядок выше сегодняшнего.

Что касается износа камер выключателей, то, вероятно, он все же будет существенно больше (в несколь-

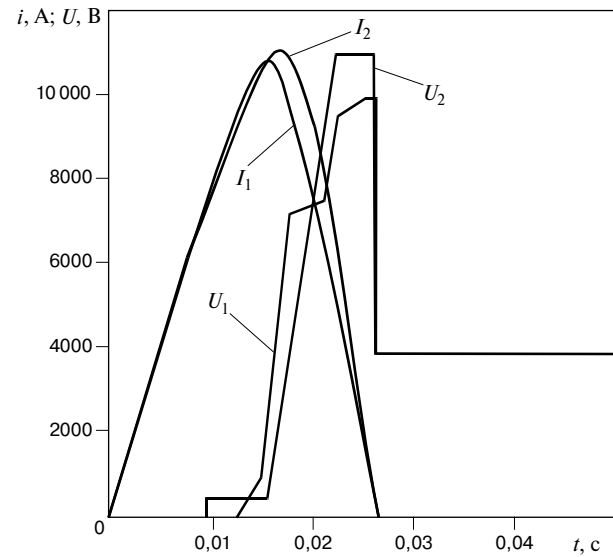


Рис. 11. Результаты компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания на выводах тяговой подстанции выключателями 2×ВАБ-49 и 2×GE Rapid (уставки выключателей 5000 А): I<sub>1</sub>, U<sub>1</sub> — ток и напряжение выключателя 2×ВАБ-49; I<sub>2</sub>, U<sub>2</sub> — то же, выключателя 2×GE Rapid; t — время

ко раз!) у выключателя GE Rapid, поскольку пластины его камеры выполнены из более тонких стальных листов и значительно в большей степени энергетически нагружены.

Сравнение выключателей по механическому ресурсу вряд ли имеет смысл. Заявленный механический ресурс выключателя GE Rapid составляет минимум 20 000 операций [7]. Этого, если исходить в среднем из 120 отключений на фидер в год, с избытком хватит на 15 лет эксплуатации выключателя — срок, в течение которого любое техническое изделие морально устаре-

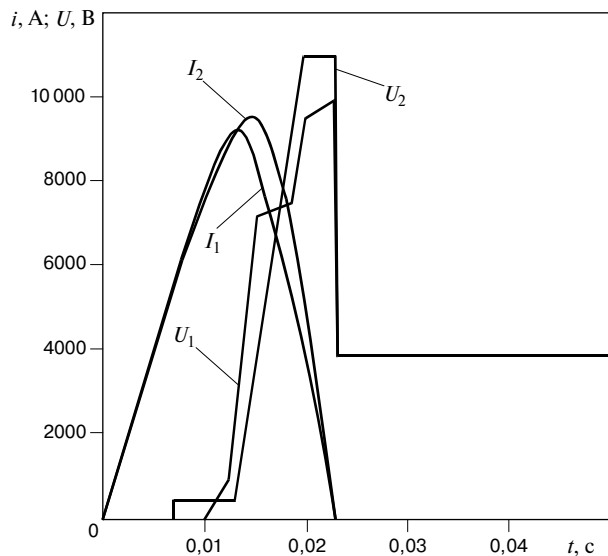


Рис. 12. Результаты компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания на выводах тяговой подстанции выключателями 2×ВАБ-49 и 2×GE Rapid (уставки выключателей 3000 А): обозначения позиций, как на рис. 11

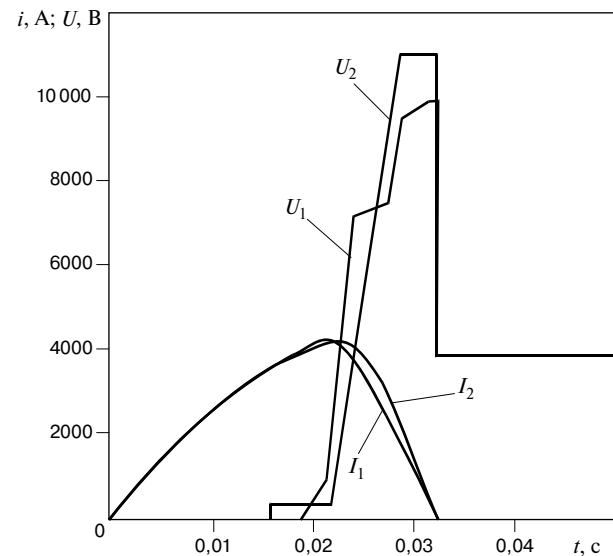


Рис. 13. Результаты компьютерного моделирования отключений тока короткого замыкания в тяговой сети двухпутного участка у поста секционирования (на расстоянии 8 км от тяговой подстанции) выключателями 2×ВАБ-49 и 2×GE Rapid (уставки выключателей 3000 А): обозначения позиций, как на рис. 11

Таблица 2

**Результаты компьютерного моделирования отключений токов короткого замыкания быстродействующими выключателями 2×ВАБ-49 и 2×GE Rapid**

Место к. з.	Ток уставки выключателя ( $I_y$ ), А	Тип выключателя	Максимальное значение ограниченного тока к. з. ( $I_3$ ), А	Коэффициент ограничения тока к. з. $k_{огр}$	Ампер-секунды в месте к. з. $\left( \int_{t_1}^{t_4} i_k dt \right)$ , А·с
На выводах тяговой подстанции	5000	2×ВАБ-49	10 839	2,17	163
		2×GE Rapid	11 082	2,21	172
	3000	2×ВАБ-49	9261	3,08	121
		2×GE Rapid	9548	3,18	124
В тяговой сети у поста секционирования	3000	2×ВАБ-49	4280	1,43	81
		2×GE Rapid	4287	1,43	84

вает. Механический ресурс выключателя ВАБ-49 не указан, однако то, что он достигает нескольких десятков тысяч циклов в год, явствует из Технического описания и инструкции по эксплуатации [1].

#### **Сравнение выключателей по удобству обслуживания и габаритам**

Несомненно, выкатные выключатели обслуживать удобнее, если доступ к их механизму и дугогасительной камере достаточно прост. Однако не следует полагать, что исполнение ячеек с выкатными выключателями позволит отказаться от используемой в настоящее время обходной шины и запасного выключателя. Отказаться от запасной шины будет невозможно по той простой причине, что в перспективе намечено создавать необслуживаемые или, в крайнем случае, малообслуживаемые тяговые подстанции. В этом случае возможность оперативно, с использованием устройств телеуправления заменить отказавший выключатель запасным должна быть сохранена, а наиболее просто она реализуется путем применения одиночной секционированной системы сборных шин с обходной шиной.

В отношении простоты доступа к механизму и камере выключатель ВАБ-49 вне конкуренции, так как представляет собой открытую конструкцию, не требующую каких-либо особых инструментов для осмотра. Кроме того, следует заметить, что проблему создания одиночного выкатного выключателя ВАБ-49 с втычными контактами компания ОАО «УЭТМ» в настоящее время решила, так что в этом плане GE Rapid уже не имеет никаких преимуществ.

По габаритам следует сравнивать идентичные в техническом плане решения, а именно габариты выключателей 2×ВАБ-49 и 2×GE Rapid. Они, вероятно, будут примерно одинаковыми.

#### **Сравнение по стоимости (в ценах на январь 2005 г.)**

Согласно данным ОАО «УЭТМ», стоимость выключателя 2×ВАБ-49 в настоящее время составляет 340 тыс. руб. В то же время, согласно прайс-листу компании GE Power Controls [8], стоимость выключателя GE Rapid составляет 17 813 евро (примерно 500 тыс. руб), т. е. в 1,5 раза больше, чем выключателя 2×ВАБ-49. Однако при сравнении выключателей 2×ВАБ-49 и GE Rapid следует также учесть расходы, связанные с дополнительными пережогами контактного провода.

Сравнение же стоимости выключателей 2×ВАБ-49 и 2×GE Rapid, эквивалентных по отключающей способности и воздействию на контактную сеть, оказывается в пользу 2×ВАБ-49 (340 тыс. руб. против 1 млн. руб.).

#### **Выводы**

Приведенные данные позволяют сделать вывод о том, что выключатель GE Rapid 4207 2×4 проигрывает выключателю 2×ВАБ-49-3200/30-Л по следующим параметрам:

- заявленной отключающей способности (28 против 35 – 50 кА), причем этот параметр для GE Rapid документально не подтвержден в отличие от 2×ВАБ-49, эксплуатируемого уже не первый год;
- времени отключения короткого замыкания (45 против 26 мс при коротком замыкании на выводах тяговой подстанции), а следовательно, по ампер-секундам в месте дугового короткого замыкания (281 против 163 А·с) при равных условиях. Например, процесс отключения тока к. з., происходящий так, как показано на осциллограмме рис. 3, предоставленной фирмой GE Power Controls, по ампер-секундам отключаемого тока абсолютно недопустим, поскольку в

процессе отключения в месте к. з. с дугой значение этого параметра достигло бы 450 А·с;

- схемной надежности (два последовательно соединенных выключателя ВАБ-49, каждый из которых по своей отключающей способности и другим параметрам не уступает GE Rapid, резервируют друг друга);
- энергетической напряженности работы дугогасительных камер (838 против 247 кДж при отключении короткого замыкания на выводах тяговой подстанции);
- удобству обслуживания (ВАБ-49 представляет собой открытую конструкцию, наиболее удобную для обслуживания);
- стоимости (500 тыс. против 340 тыс. руб).

Практически по всем параметрам аналогом 2×ВАБ-49 может служить двоянный выключатель GE Rapid, т. е. 2×GE Rapid 4207 2×4. Однако он существенно проигрывает выключателю 2×ВАБ-49 по стоимости (1 млн. против 340 тыс. руб).

Установка на фидерах контактной сети тяговых подстанций одиночных выключателей GE Rapid без серьезных предварительных испытаний на отключающую способность с использованием специализированных стендов ОАО «УЭТМ» или ВНИИЖТа сопряжено со значительным риском. Кроме того, при оценке эффективности использования одиночных выключателей GE Rapid на фидерах тяговых подстанций следует обязательно учитывать дополнительные расходы, связанные с возрастанием числа пережогов контактного провода. До проведения таких испытаний одиночные выключатели GE Rapid могут быть рекомендованы только для использования на постах секционирования и в пунктах параллельного соединения.

Без проведения испытаний в качестве фидерных выключателей могут быть применены только двоянные GE Rapid. В этом случае они гарантированно обеспечат степень защищенности и надежности системы тягового электроснабжения, достигнутую на сети электрифицированных линий России. Однако по экономическим соображениям это вряд ли целесообразно.

Все сказанное в полной мере относится к выключателям GE Rapid 2207 2×4 и GE Rapid 6207 2×4.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выключатели автоматические быстродействующие ВАБ-49 на напряжение 3300 В. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Екатеринбург, 2001.
2. Тяговые подстанции: Учебник для вузов ж. д. транспорта. /Ю. М. Бей, Р. Р. Мамошин, В. Н. Пупынин, М. Г. Шалимов. М.: Транспорт, 1986. 320 с.
3. Kammerer A. Durchschmelzen von Fahrleitungen bei stehenden Fahrzeug//Elektrische Bahnen. 1940. S.153.
4. Соколов С. Д. Пережог контактного провода открытой электрической дугой //Вестник Всесоюзного научн.-иссл. ин-та ж. д. транспорта. 1962. № 3.
5. Обзор технических характеристик выключателей GE Rapid /Информация компании GS Power Controls.
6. Быстродействующие автоматические выключатели серии GE Rapid. ТУ 3414-059 /Пер. с нем. НИИЭФА-ЭНЕРГО, 2004.
7. Руководство пользователя. Быстродействующий автоматический выключатель постоянного тока GE Rapid 2607 ... 8007 /Пер. с нем. /Информация компании GE Power Controls, 2004.
8. List-Prices 2002 «Ge Rapid» in Euro.
9. Пупынин В. Н., Дарчиев С. Х. Сравнение характеристик выключателей 2×ВАБ-49-3200/30-Л (ОАО «УЭТМ», Россия) и GE Rapid 4207 2×4 (GT Power Controls, Германия) /Отчет по НИР. М.: МИИТ, 2004. 26 с.

## Внедрение электронно-пневматических тормозов на железных дорогах США

*Железные дороги США, несмотря на несомненные технико-эксплуатационные преимущества электронно-пневматических тормозов, до последнего времени занимали выжидательную позицию относительно их широкого внедрения, поскольку не были уверены в экономической целесообразности этого нововведения, требующего значительных капитальных вложений.*

Предпосылки широкого внедрения пневматических тормозов с электронным управлением (электронно-пневматических тормозов) на железнодорожном подвижном составе взамен обычных пневматиче-

ских очевидны. Применение электронно-пневматических тормозов на таких железных дорогах, как Quebec Cartier Mining (QCM, Канада) или Spoornet (ЮАР), позволило сократить на 5 – 15 % расход топлива на тягу поездов, увеличить на 20 % пропускную способность грузонапряженных линий, улучшить управляемость поездов, повысить скорость и безопасность движения, уменьшить действующие в составе поезда продольные нагрузки, что позволяет обеспечить сохранность грузов, и, наконец, продлить срок службы узлов и деталей механической части подвижного состава (в частности, тормозных колодок — на 25 – 35 %).

По мнению специалистов компании Burlington Northern Santa Fe (BNSF), тормоза с электронным