

УДК 621.3

Л.А. Герман

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ТЯГОВОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Нижегородский филиал МИИТ

Рассмотрены устройства контроля и поиска коротких замыканий в тяговой сети переменного тока железных дорог.

Ключевые слова: короткие замыкания, контроль и поиск, тяговая сеть, железные дороги.

1. Новые устройства автоматизации электроснабжения тяговых сетей

Повреждения в тяговой сети железных дорог случаются значительно чаще, чем в сетях общего назначения, что связано с постоянным взаимодействием токоприемника электроподвижного состава (ЭПС) с контактной сетью. Перспектива высоких скоростей на отечественных железных дорогах до 250 км/час усиливает необходимость повышения надежности электроснабжения в аварийных ситуациях за счет быстрого обнаружения и локализации места повреждения, а также быстрого восстановления электроснабжения. Другими словами, быстрота устранения повреждения является решающим фактором в надежной системе электроснабжения тяговых сетей.

Рассмотрим новые устройства для автоматизации электроснабжения в аварийных ситуациях, разработанные Нижегородским филиалом МИИТ, и применяемые на Горьковской железной дороге в тяговых сетях переменного тока [1–5].

Длительный опыт эксплуатации систем электроснабжения тяговых сетей указывает на то, что в связи с их спецификой большинство коротких замыканий (КЗ) составляют проходящие (самоустраняющиеся) КЗ – 80...90% и более. В этом случае следует быстро определить, что КЗ – проходящее, и включить фидер контактной сети с использованием быстродействующего автоматического повторного включения (БАПВ).

Для этого разработано и внедрено устройство контроля короткого замыкания (УККЗ), воздействующее на БАПВ.

В случае устойчивых КЗ следует определить место КЗ и контролировать устранение повреждения. К сожалению, устройство определения места повреждения контактной сети переменного тока (ОМП), разрабатываемое многие десятки лет, так и не получило применение в связи с большой погрешностью его работы. Поэтому разработанное устройство определения зоны повреждения (УПКЗ), внедренное на Горьковской ЖД, должно найти широкое применение на железных дорогах.

Все рассматриваемые устройства основаны на новых принципах работы, запатентованы и включены в опытную эксплуатацию. Указанные разработки позволяют перейти на современную технологию эксплуатации контактной сети переменного тока.

2. Устройство контроля короткого замыкания в тяговой сети (УККЗ)

Отечественные электровозы и электропоезда с машинными фазорасщепителями (асинхронные машины) для собственных нужд (например, ВЛ-80с, ЭР-9), обладают таким свойством, что при отключении напряжения в контактной сети (из-за аварийной обстановки или по другим причинам) фазорасщепители переходят в генераторный режим и генерируют напряжение в контактную сеть в течение 0,5...1 с. Если короткое замыкание проходящее (то есть оно исчезло после «снятия» напряжения в контактной сети), то напряжение фик-

сируется с помощью трансформатора напряжения ТН-27,5 кВ (ТН_о на рис. 1), установленного у выключателя фидера со стороны контактной сети, что является фактом отсутствия короткого замыкания. В этом случае дается разрешение на автоматическое повторное включение (АПВ) выключателя фидера.

Если же КЗ устойчивое, то генерируемое напряжение в контактной сети равно нулю, и это является основанием блокировки АПВ.

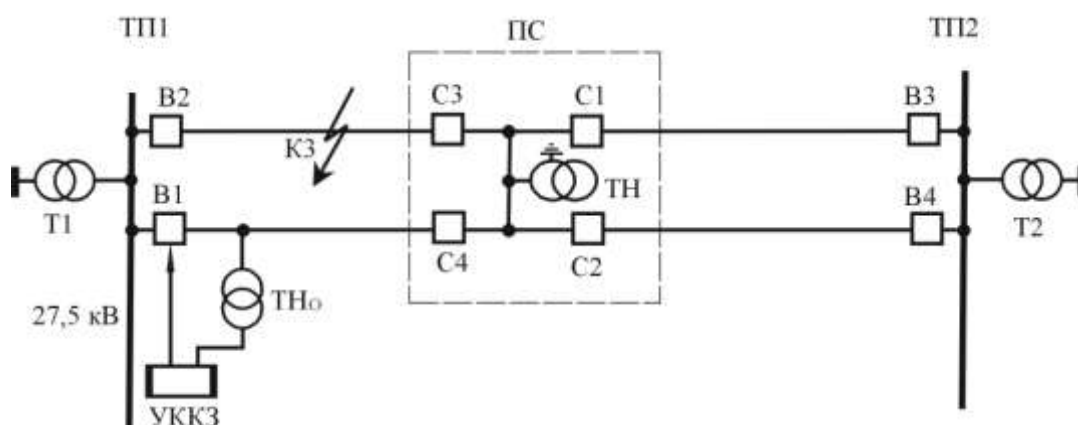


Рис. 1. Схема электроснабжения с постом секционирования (ПС) на выключателях с групповой потенциальной защитой

Устройство УККЗ (6 экземпляров изготовлено на предприятии НПП «ПРИМА», Н.Новгород) работает уже более двух лет на участках систем 25 и 2х25 кВ с включением УККЗ на один фидер межподстанционной зоны (рис. 2).



Рис. 2. Устройство УККЗ

За 2009 год УККЗ сработало при проходящих КЗ 42 раза, а при устойчивых КЗ дало запрет на включение БАПВ 4 раза.

Устройство УККЗ имеет последовательный интерфейс RS-232 для подключения ноутбука, с помощью которого можно проконтролировать работу устройства и изменить соответствующие настройки. На лицевой панели УККЗ установлены светодиодный индикатор работоспособности устройства и кнопка для входа в режим перепрограммирования УККЗ.

В рабочем режиме индикатор светится зелёным цветом. Для контроля работоспособности (искусственного вызова «события») можно нажать и отпустить кнопку контроля на верхней крышке УККЗ. Индикатор работоспособности погаснет и снова засветится по истечении 4–5 с, а через интерфейс RS232 на ноутбук будет выдан результат замера параметров входных сигналов при данном «событии».

При проходящих КЗ и срабатывании БАПВ время перерыва питания в контактной сети не превышает 0,5..0,6 с, что проходит для электроподвижного состава незаметно.

В качестве иллюстрации эффективной работы УККЗ рассмотрим аварийное отключение напряжения в контактной сети двухпутного участка системы 2х25кВ при КЗ и с последующим БАПВ, произошедшее 5.12.2008 при питании от тяговой подстанции Бобьльская Горьковской ЖД (рис. 3). Схема участка подобна схеме на рис. 1, где фидера 1 и 2 соответствуют фидерам 5 и 4 подстанции Бобьльская. УККЗ с БАПВ установлены на фидере 5.

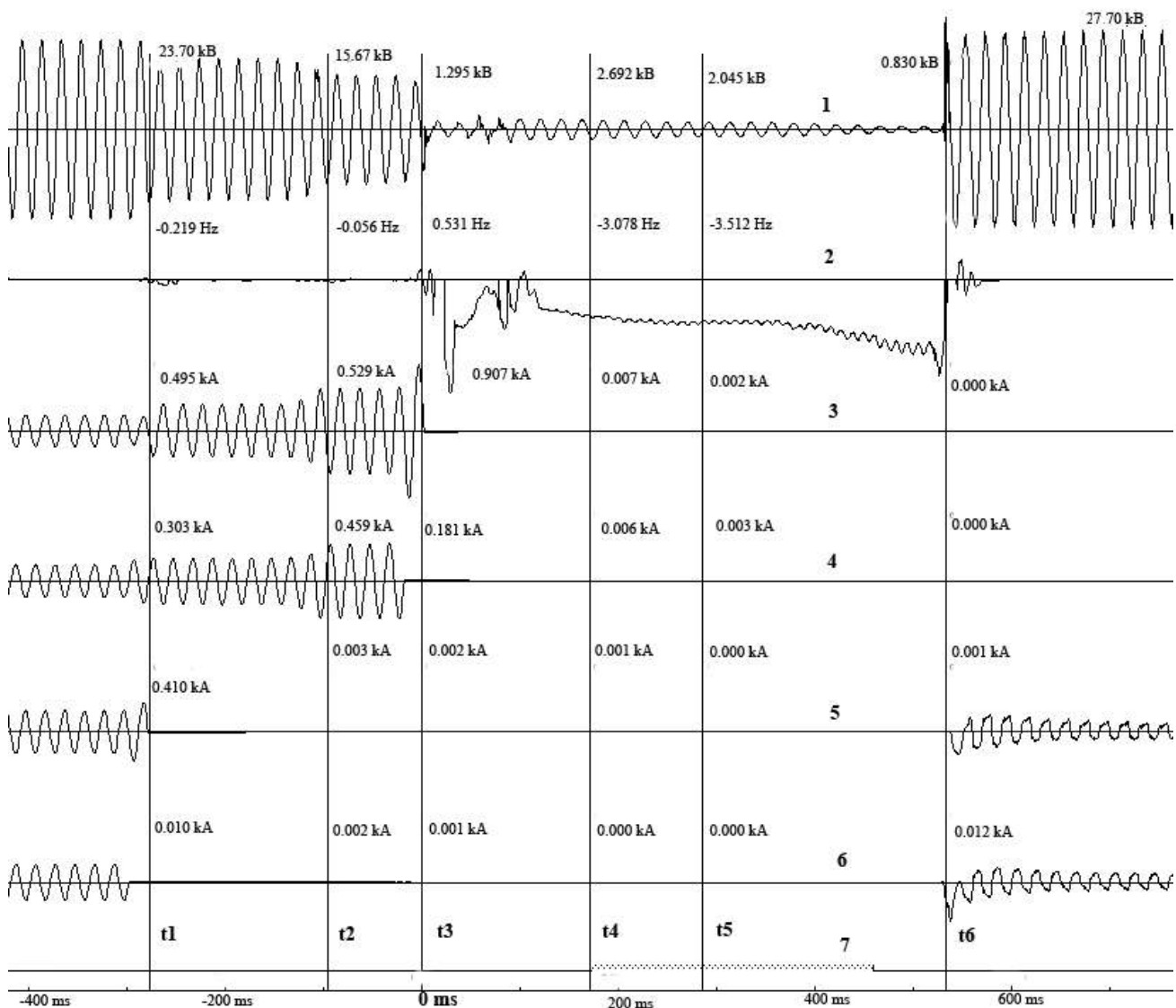


Рис. 3. Оциллограмма остаточного напряжения

До момента t_1 уже сработала защита фидера 4 (кривая 3 – контактная сеть, а кривая 4 – питающий провод) и фидера 5 (кривая 5 – контактный провод, а кривая 6 – питающий провод). В t_1 отключился фидер 5, а в момент t_3 отключился фидер 4. Начиная от t_3 (отметка времени «0ms») действует остаточное напряжение ОН. Кривая 1 показывает изменение остаточного напряжения ОН за время $t_3 - t_6$, а кривая 2 – его частотную характеристику (отклонение частоты от 50 Гц). Например, в t_5 отклонение частоты ОН составит 3,512 Гц, то-есть частота ОН равна $50 - 3,512 = 46,988$ Гц, а напряжение ОН равно 2,045 кВ.

УККЗ настроено на срабатывание при частоте остаточного напряжения 48,5 Гц и ниже.

После переходного процесса частота ОН изменяется примерно от $(50-3 = 47)$ Гц до $(50-5 = 45)$ Гц. В результате в момент t_4 замкнулись выходные контакты УККЗ (кривая 7) и после задержки на время готовности привода выключателя (в 0,3 с), отключившего ток КЗ, в момент t_6 включился фидер 5. Как видно, после t_6 ЭПС продолжает работать в тяговом режиме (см. тяговую нагрузку по кривым 5 и 6). Перерыв питания контактной сети составил 0,528 с.

Осциллограмма доказывает практическую возможность подачи напряжения в контактную сеть по БАПВ за время не более 0,6 с и при этом ЭПС продолжает работать в тяговом режиме. Пост секционирования за такой кратковременный провал напряжения не успевает отключиться.

Зафиксированные подобные осциллограммы (более 300) переходных процессов в различных режимах электроснабжения свидетельствуют о надежности показателя «остаточное напряжение» для формирования команды управления БАПВ

Практика применения БАПВ на Горьковской ЖД позволила дать следующие рекомендации по настройке аппаратуры УККЗ.

Минимальное время БАПВ ограничивается временем готовности привода выключателя фидера контактной сети (для вакуумного выключателя - 0,2...0,3 с) и временем деионизации дуги в месте КЗ. Для тяговых сетей время деионизации затягивается в связи с наличием остаточного напряжения, генерируемого фазорасщепителями ЭПС, и наведенным напряжением. Эксплуатация УККЗ показывает, что за время провала напряжения в 0,5...0,6 с происходит полная деионизация дуги в месте КЗ.

Поэтому настройка УККЗ выполняется следующим образом. После отключения фидера дается пауза в 3 периода (0,06 с) для отстройки от переходных процессов, затем идет ожидание частоты 48,5 Гц и ниже, далее 4 периода подряд (0,08 с) проверяется наличие частоты 48,5 и ниже и только после этого дается разрешение с дополнительной задержкой в 0,3 с на включение фидера контактной сети. Так происходит подача напряжения по БАПВ при проходящих КЗ за 0,5...0,6 с.

Подобное устройство обладает одним недостатком – при отсутствии на участке подвижного состава ЭПС или наличии ЭПС без фазорасщепителей (например, электровазы ЧС-7, ЭП1 или поезд «Сапсан») УККЗ может сработать ложно.

В модернизированном варианте комбинированного устройства УККЗ-2 введен второй блок измерения напряжения с ТН-27,5 кВ. Если остаточное напряжение равно нулю, то он продолжает измерение через 1 с, когда в контактной сети будет наведенное напряжение *электрического влияния* от ДПР-27,5 кВ и (или) контактной сети смежного пути. При наличии наведенного напряжения дается команда на АПВ, а при отсутствии – запрет АПВ.

Отметим, что, если УККЗ дает команду на быстросрабатывающее БАПВ, то при контроле наведенного напряжения дается команда на штатное АПВ.

Аппаратура УККЗ-2 может работать на двухпутных участках систем 25 и 2х25 кВ, а также на однопутном участке при наличии ДПР-27,5 кВ.

Подводя итог, укажем, что так как в настоящее время УККЗ, как правило, установлены на одном фидере для контроля всей межподстанционной зоны, то вероятность отсутствия ЭПС с фазорасщепителем на двухпутном участке в 50 (система 25 кВ) или 80 км (система 2х25 кВ) очень мала. Поэтому работа УККЗ ещё многие годы будет эффективной.

Тем не менее следует постепенно переходить на комбинированные УПКЗ-2, где будет осуществляться контроль остаточного и наведенного напряжения для определения наличия КЗ в отключенной контактной сети.

Отметим ещё важный момент по работе ЭПС в рекуперативном режиме, оборудованных микропроцессорной системой управления. Опыты показывают, что при кратковременном снятии напряжения в контактной сети (до 0,2 с) у них исчезает напряжение синхронизации системы управления выпрямительно-инверторными преобразователями электровозов, в результате происходит разборка схемы электровозов и отключение ГВ. Это значит, что в этом случае БАПВ фидеров контактной сети с временем 0,5 с не будет выполнять свою задачу. Однако специалисты Красноярской ЖД утверждают, что возможно доработать аппаратную и программную часть блоков управления электровозов для реализации успешных БАПВ с задержкой в 0,5 с и для ЭПС, работающих в рекуперативном режиме.

3. Устройство поиска короткого замыкания в тяговой сети на основе измерения наведенного напряжения (УПКЗ)

При устойчивых коротких замыканиях (КЗ) в контактной сети переменного тока поиск повреждения в настоящее время ведут поочередным отключением продольных разъединителей и последующим опробованием контактной сети включением фидерного выключателя. Например, при КЗ на контактной сети I пути между разъединителями Р2 и Р3 (рис.4) от защит отключается выключатель В1, затем отключают Р1 с последующим включением и отключением В1, далее включают Р1 и отключают Р2, и, наконец, включают Р2 и отключают Р3. Так определяют зону КЗ между разъединителями Р2 и Р3. При этих переключениях каждый раз включается и отключается выключатель В1.

При этом в процессе поиска увеличивается объем повреждений контактной сети, так как выключатель В1 периодически включается на КЗ, увеличивается износ выключателя В1, повышается вероятность пережога контактной сети и увеличивается износ силового трансформатора тяговой подстанции в связи с увеличением числа электродинамических воздействий.

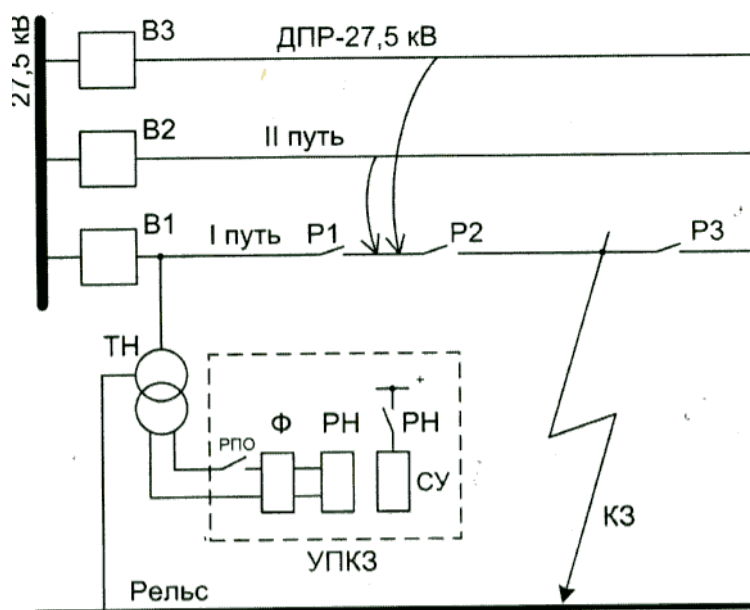


Рис. 4. Устройство поиска короткого замыкания

Для предотвращения разрастания объема повреждений в аварийных ситуациях, снижения износа силового оборудования и, главное, для существенного уменьшения вре-

мени поиска повреждения (время поиска снижается в 5 ...10 раз) на дороге введена в опытную эксплуатацию аппаратура УПКЗ по эффективному способу поиска повреждений (коротких замыканий) контактной сети переменного тока систем электроснабжения 25 и 2х25 кВ.

Рассматриваемый способ и реализованное устройство УПКЗ основаны на наличии наведенного напряжения на отключенном участке контактной сети от соседнего пути и (или) от линии продольного электроснабжения ДПП-27,5кВ. При КЗ наведенное напряжение от *электрического влияния* равно нулю, а при отсутствии КЗ это напряжение, измеренное с помощью трансформатора напряжения ТН (ЗНОМ-27,5кВ), равно 2, 3.....7,1 (замеры произведены на участках контактной сети системы 25 и 2х25 кВ). Таким образом, по величине наведенного напряжения можно определить, сохранилось или исчезло (самоликвидировалось) КЗ в сети. При этом важно отметить, что на первом этапе нет необходимости требовать опускания токоприемников, так как холостой ход трансформатора ЭПС практически не влияет на результаты измерений. Однако при нулевом значении наведенного напряжения следует дожидаться опускания токоприемников ЭПС (в соответствии с нормативными документами токоприемники должны быть опущены в течение 2 мин), так как в этом случае может быть подозрение на повреждение крышевого оборудования ЭПС.

Информация с УПКЗ передается на пульт энергодиспетчера, и по показаниям УПКЗ энергодиспетчер переключает соответствующие разъединители, *не прибегая к включению аварийно отключенного выключателя фидера контактной сети*. Этим достигается существенная экономия времени поиска и ликвидации повреждения. Результат – быстрое восстановление движения поездов после повреждения контактной сети.

Структурная схема УПКЗ показана на рис. 4, оно подключено к трансформатору напряжения и содержит низкочастотный фильтр Ф для фильтрации высших гармоник в наведенном напряжении и реле напряжения РН, замыкающий контакт которого запускает сигнальное устройство СУ (в простейшем варианте – это сигнальная лампа).

УПКЗ запускается только при отключенном выключателе В1. Для этого фильтр Ф включается к ТН через замыкающий контакт РПО реле-повторителя отключенного положения выключателя В1.

УПКЗ достаточно установить один комплект на запасной выключатель и при КЗ автоматически по команде энергодиспетчера переключать на тот фидер, где произошло повреждение.

Современные посты секционирования оборудованы трансформаторами напряжения, включенными на выключателях фидеров со стороны контактной сети. Поэтому и здесь возможно включение УПКЗ на каждый фидер контактной сети поста секционирования. При включении УПКЗ на фидерах контактной сети подстанции и поста секционирования быстрота определения повреждения возрастает.

Наведенное напряжение от ДПП определяется в основном электрическим влиянием, так как нагрузки в линии малы и поэтому кривая наведенного напряжения близка к синусоиде.

Наведенное напряжение от контактной сети второго пути определяется электрическим влиянием, а также магнитным влиянием, если по второму пути протекает тяговая нагрузка.

Если наведенное напряжение на контактной сети 1-го пути определяется только электрическим влиянием (при отсутствии тяговой нагрузки на 2-м пути), то при отсутствии КЗ напряжение, измеренное трансформатором напряжения, будет более 2 кВ, работает реле РН и даст команду на сигнальное устройство СУ об отсутствии КЗ.

Сигнальное устройство также работает и при наличии тяговой нагрузки и отсутствии КЗ. Например, при измерениях нагрузка на втором пути была 154А, напряжение на ТН-27,5 кВ - 7,136 кВ, коэффициент искажения синусоидальной формы кривой указанного

напряжения составлял 0,69%. Уставка на реле РН-1000В обеспечивает его надежную работу (при приведении к напряжению контактной сети). Здесь важно отметить, что при отключении контактной сети 2-го пути наведенное напряжение от ДПР составляло 2,13 кВ.

Если же произойдет КЗ на 1-м пути, то напряжение в контактной сети будет около нуля (при отсутствии тяговой нагрузки на 2-м пути) и сигнальное устройство СУ не работает, что укажет на наличие КЗ в контактной сети.

В этой же ситуации при наличии тяговой нагрузки и КЗ в контактной сети наведенное напряжение в контактной сети будет присутствовать за счет магнитного влияния, и тогда может ложно сработать СУ.

Исключить ложную работу устройства УПКЗ можно, используя факт сильного искажения кривой наведенного напряжения от магнитного влияния контактной сети из-за значительного содержания в кривой нечетных гармоник напряжения 3, 5, 7 и т.д. И это понятно, так как с увеличением порядка гармоник увеличивается во столько же раз действующее значение ЭДС от индуктируемого переменного магнитного поля.

Вот почему в простейшем случае необходимо включение низкочастотного фильтра Ф, который предотвратит срабатывания реле РН при КЗ в контактной сети.

В УПКЗ добавлено разработанное микропроцессорное устройство контроля спектрального состава и действующего значения измеряемого напряжения с целью адаптации принятой уставки срабатывания реле РН к режиму работы конкретной межподстанционной зоны. В процессе работы УПКЗ происходит постоянный контроль работоспособности схемы, каждое срабатывание УПКЗ при КЗ в контактной сети фиксируется в памяти микроконтроллера. Информация считывается с помощью ноутбука, подключаемого к УПКЗ через СОМ.

Что касается работы УПКЗ в системе 2х25кВ, то, как показывают специально проведенные измерения, эффективность работы УПКЗ в этой системе повышается.

Целесообразно включать УПКЗ на фидерах контактной сети и тяговых подстанций и постов секционирования, в этом случае определение зоны происходит с двух сторон, что повышает точность определения и снижает время поиска.

Устройство УПКЗ смонтировано и проведена экспериментальная проверка его работоспособности на тяговой подстанции Сейма скоростного участка Н.Новгород–Владимир с обращением поездов «Сапсан», то есть там, где требуется быстрое определение зоны повреждения контактной сети. Трансформатор напряжения ТН-27,5 кВ установлен на запасной шине с тем, чтобы была возможность подключения его на любой фидер контактной сети.

Проводимая опытная эксплуатация позволит уточнить характеристики устройства, а также методы и параметры настройки. В частности, уже ясно, что необходимо совмещение функций УККЗ и УПКЗ в одном устройстве.

Рассматриваемые разработки, внедренные на Горьковской ЖД, должны быть введены в нормативные документы и типовые проекты по автоматизации электроснабжения тяговых сетей. В настоящее время необходима разработка проектной документации и серийное изготовление устройств контроля коротких замыканий (УККЗ) и устройств поиска короткого замыкания (УПКЗ).

Библиографический список

1. Пат. №2365929 РФ. Устройство контроля короткого замыкания в контактной сети / Герман Л.А., Герман В.Л. Приоритет от 24 марта 2008 г.
2. Пат. № 2316719 РФ. Устройство контроля короткого замыкания в контактной сети переменного тока / Герман Л.А., Герман В.Л., Марков А.Ю. Приоритет от 12 декабря 2005 г.
3. **Герман, Л.А.** Диагностика аварийных ситуаций контактной сети переменного тока железных дорог / Л.А. Герман, В.Л. Герман // ЭЭТ. 2008. №3. С. 41–47.

4. **Герман, Л.А.** Уменьшить провал напряжения в контактной сети. Локомотив. 2008. № 8. С. 45–47.
5. Простой способ поиска повреждения на контактной сети переменного тока / Л.А. Герман [и др.] // Локомотив. 2008. № 4. С. 45–46.

*Дата поступления
в редакцию 01.06.2010*

L.A. German

**AUTOMATION OF ELECTRIC SUPPLY IN EMERGENCY OF RAILWAYS
CONTACT NETWORKS**

The devices of control and searching of short circuits in contact networks of alternative current in railway are considered.

Key words: automation, short circuits, control and searching, contact network, railways.