

УДК 621.316.925

*Е. Д. ЗАМАСТОЦКИЙ, магистр технических наук, В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, В. А. ПАЦКЕВИЧ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В статье приводится анализ замены устаревшей аналоговой электромеханической релейной защиты и автоматики с помощью усовершенствованной микропроцессорной релейной защиты. Выполнен технико-экономический анализ и указаны положительные и отрицательные факторы при использовании микропроцессорной релейной защиты и автоматики.

**В** процессе функционирования электроэнергетической системы (ЭС) могут возникать повреждения, чаще всего короткие замыкания (КЗ), сопровождаемые увеличением токов через отдельные элементы ЭС. Без принятия специальных мер эти режимы могут привести к повреждению электрооборудования и нарушению электроснабжения.

Анализ существующей установленной релейной защиты на СТП-206 можно сделать следующие выводы.

1 РЗА питающей линии 825В СТП-206, «Немига», выполненная на аналоговых электромеханических реле, физически и морально устарела. РЗА эксплуатируется выше нормативного срока службы 12 лет. Количество срабатываний устройств РЗА превышает нормируемое значение.

2 Технические характеристики и функциональные возможности установленных электромеханических реле не соответствуют требуемому уровню быстродействия, чувствительности, обеспечения селективности прилегающей электрической сети.

3 Рост числа повреждений элементов релейной защиты, выявленных при техническом обслуживании и анализе случаев неправильного срабатывания устройств питающей линии.

4 Прекращение выпуска устройств электромеханических релейной защиты и запасных частей к ним, что приводит к трудностям при проведении технического обслуживания устройств релейной защиты.

В настоящее время в белорусской энергетике парк комплектных устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) в основном состоит из электромеханических устройств. При этом специалистам известно, что безотказность защиты электрооборудования, обеспечиваемая применением электромеханических и полупроводниковых панелей, составляет 97,0–98,2 %, а при использовании микропроцессорных РЗА – 98,6–99,2 %. Причем причиной неправильной работы устройств являются ошибки эксплуатационного персонала – 33,9 %. Дефекты и неисправности аппаратуры приводят к сбоям в 24,4 % (доля дефектов электромеханических устройств – 19,1 %, а микроэлектронных и полупроводниковых – 5,3 %). Очевидно, что важность выполняемых устройствами РЗА функций по обеспечению локализации повреждений и предотвращению развития аварий в энергосистемах обуславливает необходимость скорейшего технического перевооружения систем РЗА на основе применения микропроцессорных устройств [1].

Кроме того, все терминалы защит подключаются к системе SCADA, на которой отображается вся схема подстанции, значения нагрузок по каждому присоеди-

нению, напряжение на шинах подстанции, а также фиксация в реальном времени возникших аварийных ситуаций. Синхронизация систем SCADA подстанций с диспетчерским пунктом позволяет дежурному диспетчеру своевременно фиксировать возникшие аварийные ситуации, контролировать процесс переключений оперативного персонала. Перед выдачей разрешения на допуск бригады для проведения плановых работ, дежурный диспетчер, благодаря системе SCADA, может лично убедиться в правильности и достаточности принятых мер безопасности.

Однако у микропроцессоров существует проблема влияния внешних электромагнитных излучений, а также они требуют обновления программного продукта, который устаревает гораздо быстрее, чем техника.

Статистика показывает, что более 30 % всех отказов устройств релейной защиты связано с ошибками персонала. При имеющейся тенденции к сокращению обслуживающего персонала одним из путей решения вопроса является расширение использования автоматических средств проверки, что сокращает как время и затраты на проверку, так и возможные ошибки при проверке, выполняемой по заданной программе в автоматическом режиме. Одновременно повышается и достоверность результатов, фиксируемых итоговым документом – протоколом испытаний, создаваемым самой программой. Существенно облегчаются последующие периодические проверки.

Аппаратура фидерной защиты и автоматики (АФЗА) является модернизированной версией аппаратуры защиты (АЗМ2). Аппаратура фидерной защиты и автоматики (АФЗА) предназначена для эксплуатации в составе комплектного распределительного устройства совместно с быстродействующим выключателем (БВ) на тяговых подстанциях городского транспорта постоянного тока напряжением до 1,0 кВ (0,825 кВ для метрополитена и 0,630 кВ для трамвая, троллейбуса).

АФЗА используется в качестве основной защиты фидера, дополнительно к используемой защите БВ, осуществляемой реле дифференциальным шинным (РДШ).

Аппаратура защиты АФЗА обеспечивает следующие функции:

- защиты (8 алгоритмов, быстродействие 1 мс);
- автоматического повторного включения быстродействующего выключателя с настраиваемыми уставками (одно-, двух- или трехкратное);
- местного и дистанционного управления ячейкой (управление быстродействующим выключателем и пе-

реле, контроллером запасной шины с панели контроллера, по дискретной или цифровой телемеханике);

- диагностики быстродействующего выключателя (контроль положения, недовключения, времени переключения, расчет ресурса выключателя);

- измерения, осциллографирования процессов, происходящих в тяговой сети и архивирования аварийных процессов;

- расчёта электроэнергии.

В АФЗА реализован цифровой канал связи RS-485 с протоколом ModBus RTU, позволяющий обеспечить дистанционное управление быстродействующим выключателем и четырьмя линейными разъединителями, опрос положения их блок-контактов, получение осциллограмм измеряемых АФЗА тока и напряжения, считывание аварийных массивов, синхронизацию часов, ввод и изменение уставок защит.

Система мониторинга и защиты тяговой сети серии SMTN-3 предназначена для применения в качестве устройства защиты тяговой сети от токов короткого замыкания и недопустимых перегрузок, мониторинга параметров тяговой сети, применения в качестве устройства накопления данных для последующего анализа произошедших аварийных процессов.

SMTN-3 используются в распределительных устройствах (РУ) тяговых подстанций городского транспорта, метрополитена, электрифицированных железных дорог, промышленных предприятий, а также для предприятий горнодобывающей промышленности. Устройство не включает в себя функцию АУВ, поэтому подразумевается использование совместно с уже существующей схемой управления и АПВ выключателя или с отдельным терминалом АУВ. Устройство является комбинированным микропроцессорным устройством релейной защиты. Применение в устройстве модульной микропроцессорной архитектуры наряду с современными технологиями поверхностного монтажа обеспечивают высокую надежность, большую вычислительную мощность и быстродействие, а также высокую точность измерения электрических величин и временных интервалов, что дает возможность повысить чувствительность защитных функций. Реализованные в устройстве алгоритмы функций защиты и автоматики, а также схемы подключения устройства разработаны в сотрудничестве с представителями энергосистем, что облегчает внедрение новой техники проектировщикам и эксплуатационному персоналу. Элементная база входных и выходных цепей обеспечивает совместимость SMTN-3 с любыми типами устройств автоматики разных производителей: электромеханическими, электронными, аналого-цифровыми, микропроцессорными.

SMTN-3 обеспечивает следующие эксплуатационные возможности:

- выполнение функций защит тяговой сети от токов короткого замыкания и недопустимых перегрузок;

- сигнализацию срабатывания защит и неисправности SMTN-3;

- задание внутренней конфигурации (ввод защит, выбор защитных характеристик, количество ступеней защиты и т. д.) программным способом;

- местный и дистанционный ввод, хранение и отображение уставок защит;

- хранение двух наборов уставок (программ) и переключение наборов уставок по внешнему сигналу;

- измерение и отображение текущих электрических параметров тяговой сети;

- считывание из SMTN-3 текущих электрических параметров тяговой сети системой верхнего уровня;

- осциллографирование электрических параметров тяговой сети при возникновении аварийных процессов;

- хранение и отображение осциллограмм, а также передачу их в систему верхнего уровня данных для последующего анализа;

- хранение и выдачу информации о количестве и времени срабатываний защит SMTN-3;

- учет количества отключений выключателя;

- контроль и индикацию положения выключателя;

- диагностику ресурса выключателя;

- непрерывный оперативный контроль работоспособности (самодиагностику) в течение всего времени работы;

- защиту от ложных срабатываний дискретных входных цепей SMTN-3 при нарушениях изоляции в цепях оперативного тока КРУ и кратковременных наведенных помехах;

- двустороннюю передачу данных между SMTN-3 и АСУ, ПЭВМ по стандартным каналам связи;

- синхронизацию внутренних часов SMTN-3 от внешнего устройства;

- свободное назначение входов/выходов;

- гальваническую развязку всех входов и выходов, включая питание и аналоговые входы, для обеспечения высокой помехозащищенности и безопасности;

- высокое сопротивление и прочность изоляции входов и выходов относительно корпуса и между собой для повышения устойчивости SMTN-3 к перенапряжениям, возникающим во вторичных цепях.

Показатель конкурентоспособности по отношению к базовому объекту

$$k_{\text{ты}} = \frac{k_{\text{тыSMTN-3}}}{k_{\text{тыАФЗН}}} = \frac{0,73}{0,67} = 1,083.$$

Имеется опыт эксплуатации SMTN-3 у «Минский метрополитен» с 2016 года, а также высокий уровень технической поддержки компании «Плутон групп», которая берёт микропроцессорные блоки на диагностику.

Были проанализированы микропроцессорные устройства РЗА различных производителей. Описаны преимущества и недостатки каждого из блоков. Был выбран окончательный вариант микропроцессорного блока, для установки на питающей линии 825В СТП-206 «Немига».

В рамках исследования предусматривалась установка системы мониторинга и защит тяговой сети РУ – 825 кВ на отходящих линиях.

В состав системы для передачи данных с SMTN-3 должны входить функциональные подсистемы: подсистема цифровых измерительных комплексов (ЦИК); подсистема устройства сбора и передачи данных (УСПД); подсистема передачи данных. Анализ технического уровня представлен в таблице 1.

Технические средства включают (рисунок 1):

- 1) модуль измерительный и модуль преобразовательный;

- 2) устройства сбора и передачи данных (УСПД), подключаемые с одной стороны по цифровым интерфейсам к преобразовательному блоку;

- 3) средства телекоммуникации между УСПД и преобразовательным блоком.

Таблица 1 – Оценка технического уровня новшества

Характеристика	Вес показателей $d_i$	SMTN-3		АФЗА		Гипотетический объект	
		$p_i$	$q_i$	$p_i$	$q_i$	$p_{100}$	$q_{100}$
Время срабатывания, мс, не менее	0,2	50	0,40	70	0,29	20	1
Устойчивость к перегрузке по напряжению питания, В	0,15	253	0,84	264	0,88	300	1
Устойчивость к прерыванию напряжения питания, с	0,11	1	1,00	0,8	0,80	1	1
Относительная основная погрешность измерения тока, %	0,1	4	0,50	5	0,40	2	1
Термическая стойкость аналоговых входов тока, А	0,1	10	0,40	25	1,00	25	1
Срок службы, лет	0,09	20	1,00	12	0,60	20	1
Количество выполняемых функций, шт.	0,07	40	0,89	36	0,80	45	1
Количество измеряемых величин, шт.	0,06	12	1,00	11	0,92	12	1
Количество дискретных входов, шт.	0,06	50	1,00	44	0,88	50	1
Количество дискретных выходов, шт.	0,06	40	0,8	30	0,6	50	1
Полезный эффект новшества (интегральный показатель качества)	–	0,73		0,67		1	

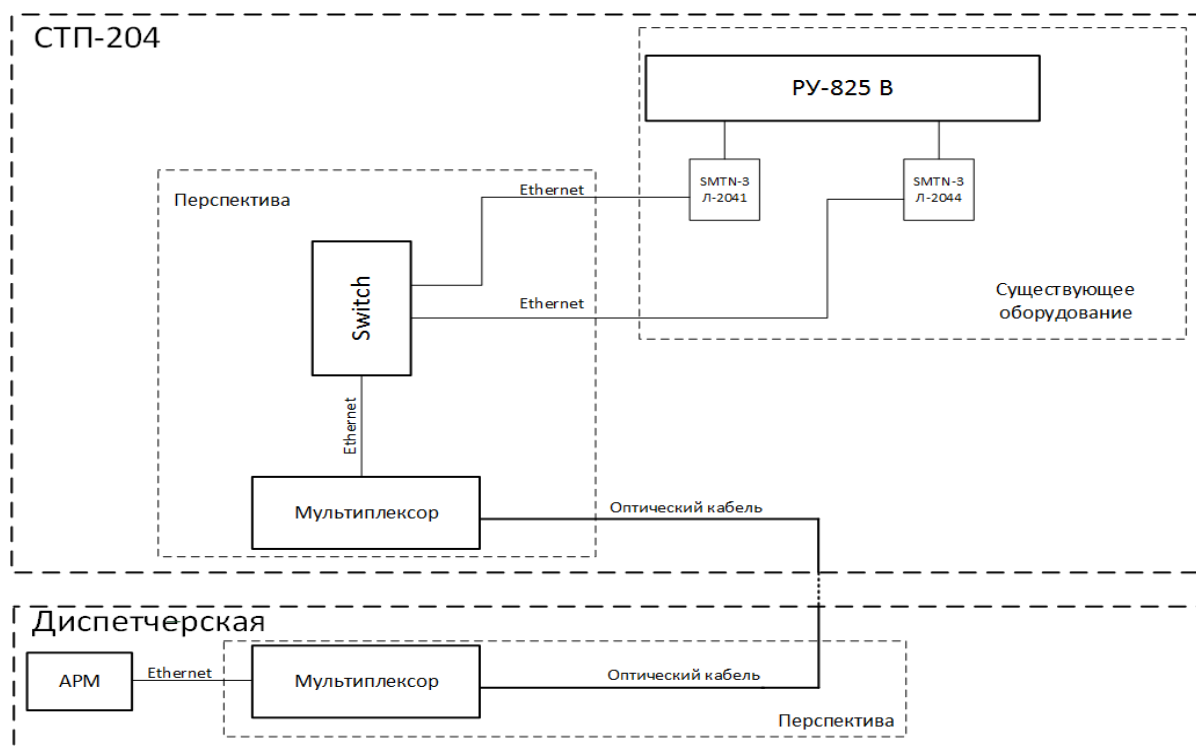


Рисунок 1 – Структурная схема диспетчеризации SMTN-3

Для повышения надёжности необходимо резервирование отдельных компонентов системы и использование избыточной информации.

Оборудование имеет встроенные функции контроля, а также механизмы фиксации событий по сбоям, проверку работоспособности и обнаружение отказов.

Система защиты от несанкционированного доступа должна обеспечивать:

- доступ к информации в соответствии с полномочиями;
- пломбирование на аппаратном уровне промежуточных и измерительных цепях;
- получение информации о нарушениях в системах защит в отдельных программно-технических комплексах и функциональных подсистемах;

– многоуровневость защиты: уровень системы, уровень устройства, уровень задачи, уровень данных.

Экономическая эффективность релейной защиты определяется предотвращённым ущербом внедрения средств РЗА [2]. Экономическая выгода вследствие применения микропроцессорных устройств РЗА составила 4505 руб./год. Статический срок окупаемости составляет 3,86 года.

Весьма существенный экономический эффект может быть получен благодаря такой особенности цифровых реле, как измерение и запоминание значений токов КЗ. Цифровые реле позволяют дистанционно определить место повреждения кабельной линии с достаточно большой точностью, что даёт возможность не только

сберечь средства для обхода повреждённой линии, но и, главным образом, уменьшить время перерыва электропитания и ущерб потребителей.

Оценивая экономический эффект от использования микропроцессорной РЗ в денежном выражении, нельзя забывать и о других положительных факторах, которые появляются благодаря цифровой РЗА, в том числе повышение безопасности персонала, обслуживающего электроустановки, приобщение специалистов-электриков к современному аппаратному и программному обеспечению АСУ электроустановок, в том числе РЗА,

повышение культуры эксплуатации и улучшение условий труда работников энергетических предприятий.

Капиталовложения во внедрение системы диспетчирования составили 15455 руб.

#### Список литературы

1 Шнеерсон, Э. М. Цифровая релейная защита / Э. М. Шнеерсон. – М. : Энергия, 2007. – 198 с.

2 Быков, Е. И. Электроснабжение метрополитенов. Устройство, эксплуатация и проектирование / Е. И. Быков. – М. : Транспорт, 1977. – 431 с.

Получено 30.12.2019

**E. D. Zamastotsky, V. N. Galushko, V. A. Patskevich.** Improvement of relay protection and automation of traction subways of metropoliet based on the system of monitoring electrical parameters.

The article provides an analysis of the replacement of obsolete analogue electromechanical relay protection and automation using advanced microprocessor relay protection. A feasibility study is performed and positive and negative factors are indicated when using microprocessor relay protection and automation.