

Анализ статистики срабатывания защиты фидеров контактной сети на примере Забайкальской железной дороги

А.В. Роголёв✉, О.С. Соловьёва, А.Г. Емельянов

Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, Российская Федерация

✉a_rogalev@inbox.ru

Резюме

В статье рассмотрен вопрос повышения надежности систем тягового электроснабжения с позиции работы релейной защиты. Обозначены проблемы ОАО «РЖД», с которыми компания столкнулась при создании стратегии развития в ходе анализа текущего состояния инфраструктуры. Исследованы некоторые вопросы и задачи развития инфраструктуры холдинга, в том числе влияние поездов повышенной массы при одновременном стремлении к сокращению межпоездного интервала на снижение надежности системы тягового электроснабжения с точки зрения работы релейной защиты. Выполнен анализ статистических данных функционирования релейной защиты фидеров контактной сети на примере Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». Представлены результаты расчета описательных статистик для частых видов отключений. Выявлены наиболее типичные виды срабатываний релейной защиты. Установлено распределение отключений фидеров контактной сети по причинам перегрузки по дистанциям электроснабжения. По результатам исследования сделаны выводы, что рассмотренные наиболее типичные виды срабатываний релейной защиты во многом обусловлены переходом на микропроцессорную базу для реализации терминалов направленной дистанционной защиты фидеров контактной сети. Алгоритмы, заложенные в основу релейной защиты, остались неизменными, а фундаментальным недостатком этих алгоритмов является невозможность полноценного разграничения нормального и аварийного режимов работы системы при движении поездов повышенной массы. Для вероятного решения указанных вопросов авторами предлагается внесение изменений в алгоритм работы резервной ступени направленной дистанционной защиты, данный алгоритм должен быть динамическим, изменяющимся по отношению к нагрузке.

Ключевые слова

тяговое электроснабжение, релейная защита, тяжеловесное движение, контактная сеть, Забайкальская железная дорога

Для цитирования

Роголёв А.В. Анализ статистики срабатывания защиты фидеров контактной сети на примере Забайкальской железной дороги / А.В. Роголёв, О.С. Соловьёва, А.Г. Емельянов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 1 (77). С. 42–50. DOI 10.26731/1813-9108.2023.(77).42-50.

Информация о статье

поступила в редакцию: 20.03.2023 г.; поступила после рецензирования: 24.03.2023 г.; принята к публикации: 27.03.2023 г.

The statistics analyses of feeder protection actuation of the contact network on the example of the Trans-Baikal railway

A.V. Rogalev✉, O.S. Solov'eva, A.G. Emel'yanov

Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation

✉a_rogalev@inbox.ru

Abstract

The article considers the issue of improving the reliability of traction power supply systems from point of view of relay protection operation. The problems of JSC «Russian Railways» are pointed out faced by the company when creating a development strategy during the analysis of the current state of the infrastructure. Some issues and tasks of the holding's infrastructure development are considered, including the impact of high-mass trains while striving to reduce the inter-train interval, on reducing the reliability of the traction power supply system from the point of view of relay protection operation. The analysis of statistical data on the operation of feeders relay protection of the contact network is carried out on the example of the Trans-Baikal Railway – a branch of JSC «Russian Railways». The results of calculating descriptive statistics for frequent types of outages are presented. The most typical types of relay protection actuations have been identified. The distribution of the feeder disconnections of the contact network for overload reasons has been established over power supply distances. Conclusions are made that the most characteristic types considered of relay protection actuations are largely due to the transition to a microprocessor base for the implementation of terminals for directional remote protection of contact network feeders. The algorithms underlying the relay

protection have remained unchanged the fundamental disadvantage of these being the inability to fully differentiate between normal and emergency modes of operation of the system when trains of increased mass are moving. For the possible solution of these issues, the authors propose changes to the algorithm of the backup stage of directional remote protection, as the protection algorithm should be dynamic, changing with respect to the load.

Keywords

traction power supply, relay protection, heavy traffic, contact network, Trans-Baikal railway

For citation

Rogalev A.V., Solov'eva O.S., Emel'yanov A.G. Analiz statistiki sbratyvaniya zashchity fiderov kontaktnoi seti na primere Zabaikal'skoi zheleznoi dorogi [The statistics analyses of feeder protection actuation of the contact network on the example of the Trans-Baikal railway]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 1 (77), pp. 42–50. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.1(77).42-50.

Article info

Received: March 20, 2023; Revised: March 24, 2023; Accepted: March 27, 2023.

Введение

Компания ОАО «РЖД» динамически развивается и имеет ряд стратегических целей. Анализ текущего состояния инфраструктуры, выполненный в блоке 5.3 [1], указывает на следующие ключевые проблемы, с которыми столкнулась компания на момент разработки стратегии:

1. Несоответствующий уровень пропускной способности на отдельных участках и направлениях спросу с позиции рынка перевозок, присутствие около 10,2 тыс. км «узких мест».

2. Значительный износ отдельных элементов железнодорожной инфраструктуры.

3. Недостаток возможностей для кратного роста надежности, скорости, точности и качества перевозок.

Также в блоке 5.3 обозначены ключевые задачи развития инфраструктуры холдинга:

1. Совершенствование железнодорожной инфраструктуры для перехода на движение поездов повышенной массы с весовыми нормами поездов 9 тыс. т и более.

2. Снижение издержек за счет повышения энергоэффективности и производительности труда, рационализации и оптимизации ремонтных и эксплуатационных работ.

3. Повышение уровня безопасности перевозок, а также снижение факторов риска, связанных с воздействием «человеческого фактора» на технологический процесс.

С момента начала реализации стратегии развития к 2022 г. ключевые задачи реализованы. Так, на Забайкальской железной дороге – филиале ОАО «РЖД» более семи лет обращаются сдвоенные поезда повышенной массы 12 600 т по режимным картам, что соответствует стратегическим задачам и целям, обозначенным в [1].

Актуальность проблемы и постановка задачи

Увеличение массы составов при одновременном стремлении к сокращению межпоездного интервала приводит к снижению надежности системы тягового электроснабжения (СТЭ) с точки зрения работы релейной защиты.

При организации движения поездов повышенной массы на регулярной основе наблюдается снижение напряжения в фидере контактной сети к граничным значениям минимально допустимого его уровня, что негативно сказывается на качестве электрической энергии и приводит к значительным искажениям формы сигнала тока и напряжения. Присутствует сильное «загрязнение» тяговой сети высшими гармоническими составляющими, что подтверждается высокими значениями коэффициентов гармонических искажений напряжения и тока [2–5].

Таким образом, указанные факты отрицательно сказываются на качестве и точности работы направленной дистанционной защиты фидеров контактной сети (НДЗ ФКС). При организации движения поездов повышенной массы наблюдается неоднозначность в оценке режима НДЗ ФКС и увеличение числа срабатываний защит по перегрузке и неизвестным причинам.

Целью проводимого исследования является определение возможного пути повышения надежности СТЭ с позиции работы релейной защиты посредством повышения точности работы НДЗ ФКС.

Основная часть

Снижение надежности СТЭ на полигоне Забайкальской железной дороги – филиале ОАО «РЖД» можно проиллюстрировать сум-

марной статистикой работы релейной защиты фидеров контактной сети за 2018–2019 гг., представленной на рис. 1.

Детализация отключений релейной защиты по видам срабатывания и статистика работы релейной защиты фидеров контактной сети по соответствующим годам представлена на рис. 2.

Анализ диаграмм на рис. 1 и 2 выявил, что значительное количество срабатываний защит наблюдается по следующим видам от-

ключений:

- неустановленные причины;
- неисправности электрооборудования электроподвижного состава (ЭПС);
- перегрузка.

Результаты расчета описательных статистик для частых видов отключений за 2018–2019 гг. в целом для Забайкальской железной дороги представлены в таблице.

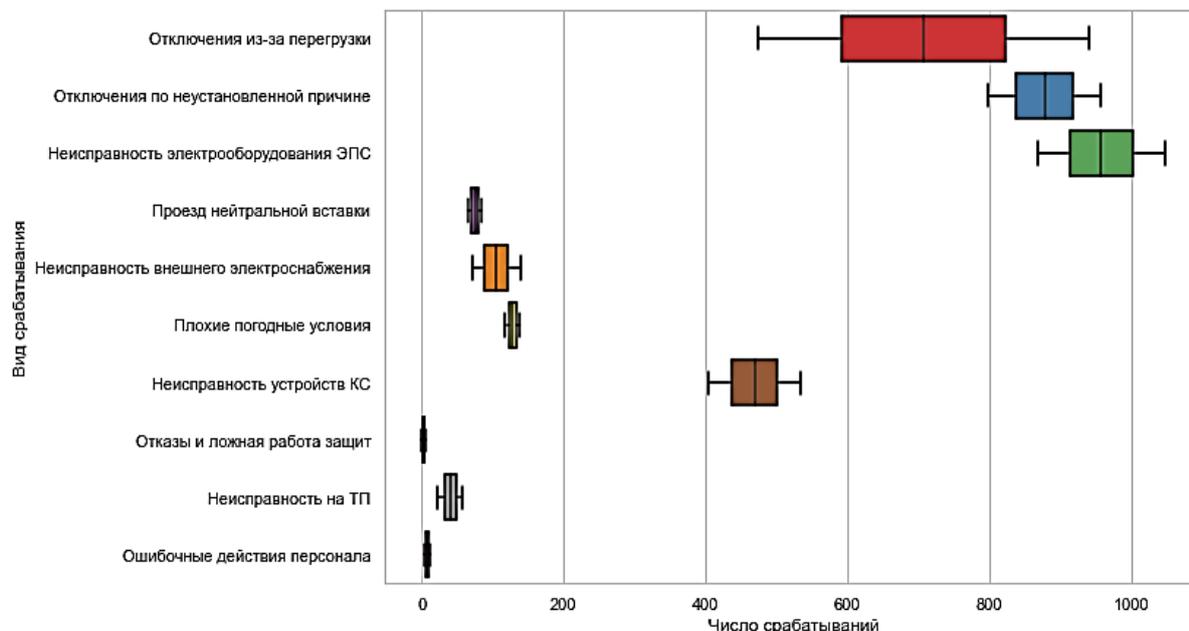
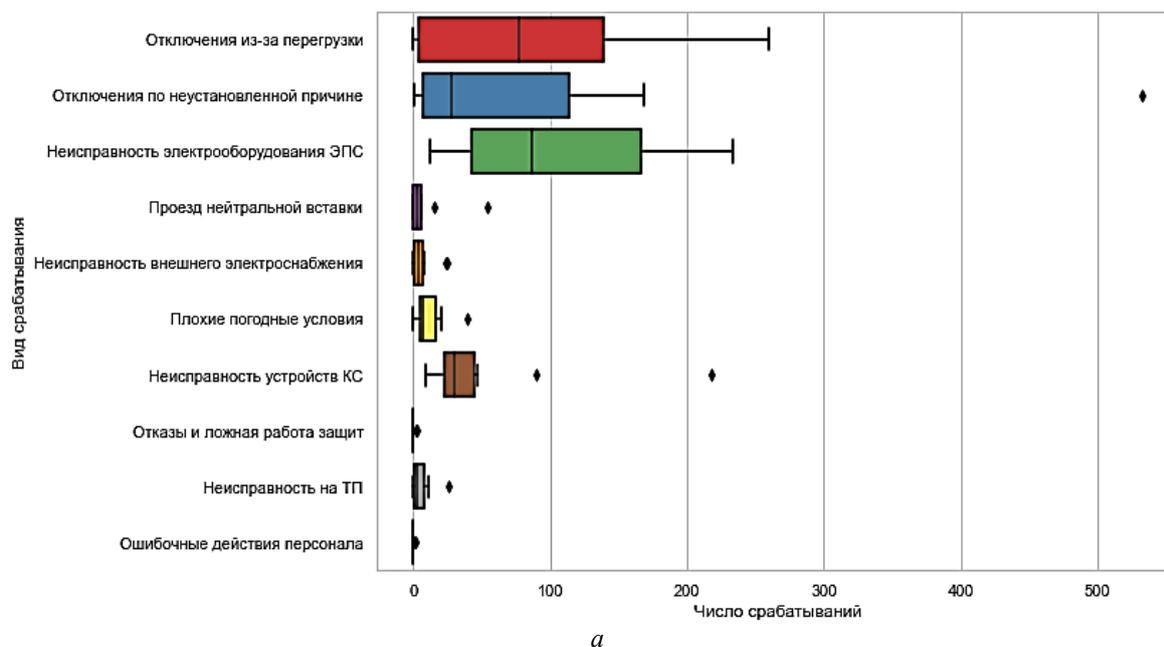


Рис. 1. Суммарная статистика срабатываний релейной защиты фидеров контактной сети за 2018–2019 гг.
Fig. 1. Summary statistics of actuations of catenary feeders relay protection for 2018–2019



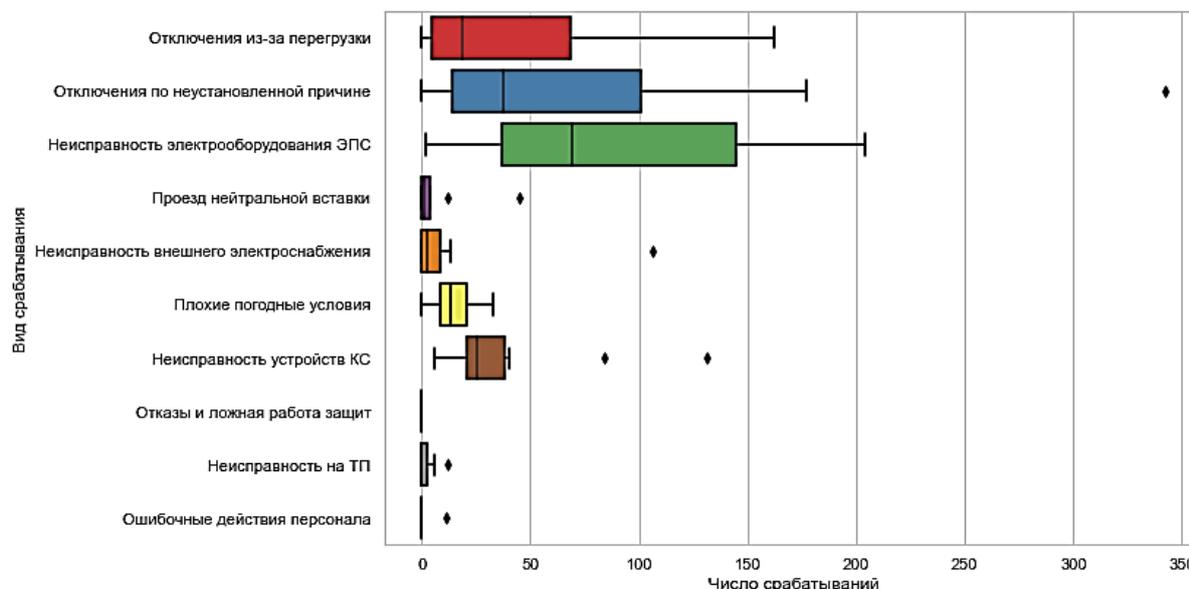


Рис. 2. Статистика срабатываний релейной защиты фидеров контактной сети на Забайкальской железной дороге: a – 2018 г.; b – 2019 г.

Fig. 2. Actuation statistics of relay protection of the contact network feeders at Trans-Baikal railway: a – 2018; b – 2019

Меры центральной тенденции для наиболее частых видов отключений за 2018–2019 гг.
Central trend measures for the most frequent shutdown types for 2018–2019

Меры центральной Тенденции Central trend measures	Перегрузка Overload		Отключения по неустановленной причине Shutdowns for unknown reason		Неисправность электрооборудования электроподвижного состава Malfunction of electrical equipment of electric rolling stock	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Среднее значение Average value	94,00	47,50	95,8	79,8	104,7	86,8
Стандартное отклонение Standard deviation	101,24	60,11	163,97	107,67	78,48	72,26
Минимальное значение Minimum value	0	0	1	0	12	2
25 %	4	4,5	6,5	14,25	42,75	37
50 %	77,5	19	27,5	37,5	87	69
75 %	139,25	68,5	113,5	101	166,75	144,5
Максимальное значение Maximum value	260	162	532	342	234	204

Анализ наиболее частых видов отключений показывает, что за 2019 г. по обозначенным показателям наблюдается снижение общего количества отключений по сравнению с 2018 г., однако их количество остается значимым, так как факт каждого отключения несет в себе риск для надежности и бесперебойности перевозоч-

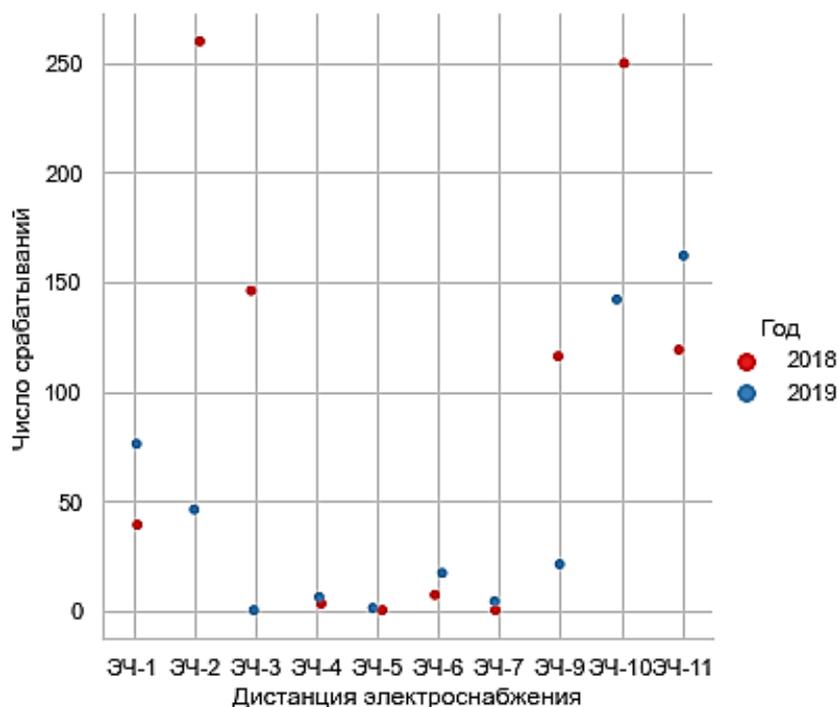
ного процесса.

Для ряда тяговых подстанций ситуация имеет более критичный характер, что доказывает значительная величина стандартного отклонения и сильный разброс значений отключений относительно среднего значения, а также наличие выбросов, указанных в виде отдельных

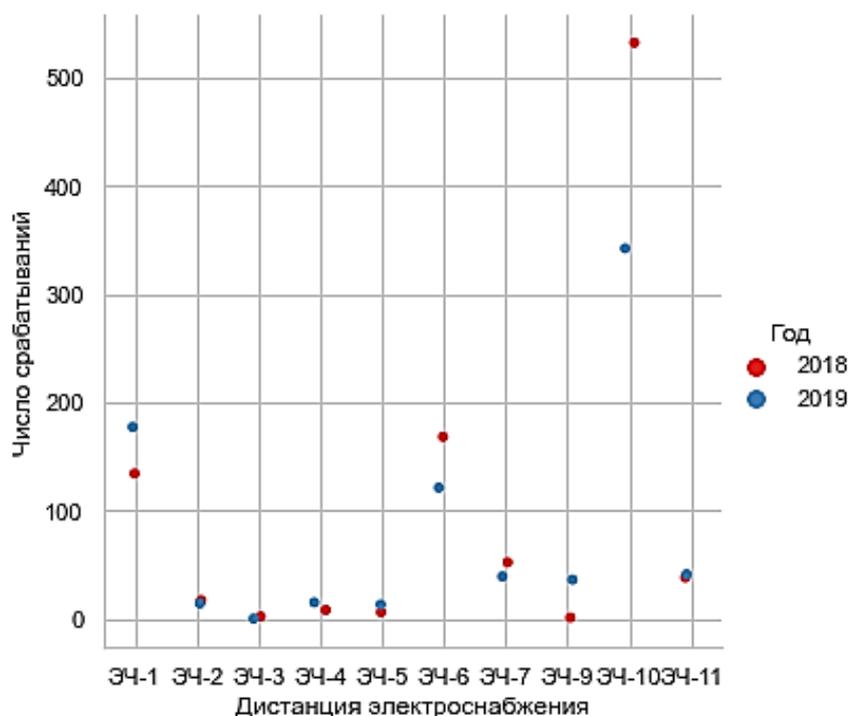
точек на рис. 2.

В качестве доказательства данного утверждения на рис. 3 приведены диаграммы рассеяния по количеству срабатываний на каждой дистанции электроснабжения (ЭЧ) для отклю-

ний по причине перегрузки, отключений по неустановленной причине и отключений по причине неисправности электрооборудования ЭПС.



а



б

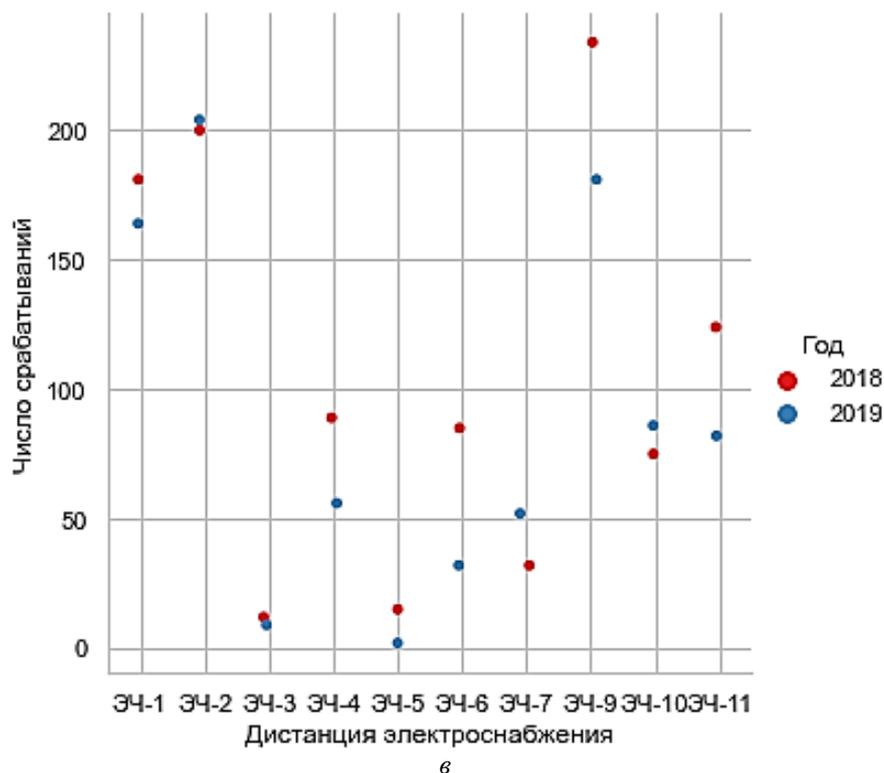


Рис. 3. Распределение отключений по дистанциям электроснабжения в 2018 и 2019 гг.:
a – перегрузка; *б* – неустановленная причина; *в* – неисправности электрооборудования
 электроподвижного состава

Fig. 3. Distribution of shutdowns over power supply distances in 2018 and 2019:
a – overload; *b* – unidentified reason; *c* – malfunctions of rolling stock electrical equipment

Анализ распределения отключений из-за перегрузки по дистанциям электроснабжения показывает, что близкое к критическому значению числа срабатываний релейной защиты для ЭЧ-3, ЭЧ-11, где количество срабатываний в год превышает 100. Для ЭЧ-10 количество срабатываний релейной защиты равно 250.

Следует отметить, что для ряда дистанций электроснабжения наблюдается улучшение ситуации по отношению к предыдущему году. Например, для ЭЧ-2 и ЭЧ-9. Это может быть связано с плановой модернизацией комплектов защит и выводом из работы третьей ступени дистанционной защиты для целенаправленного уменьшения числа ложных отключений.

Анализ отключений по неустановленной причине по дистанциям электроснабжения показывает, что большое число данного вида отключений наблюдается на ЭЧ-1, ЭЧ-6 и ЭЧ-10. Подобное распределение отключений может быть вызвано системными ошибками в оценке причины отключений персоналом дистанции.

Анализ отключений из-за неисправности

электрооборудования ЭПС по дистанциям электроснабжения показывает, что большое количество данного вида отключений наблюдается на ЭЧ-1, ЭЧ-2 и ЭЧ-9, значимое количество отключений на ЭЧ-4, ЭЧ-7, ЭЧ-10 и ЭЧ-11. Подобное распределение отключений может быть вызвано сложным профилем пути указанных дистанций и проблемами с подвижным составом, оборачивающимся на данных дистанциях.

Заключение

Рассмотренная ситуация с позиции работы релейной защиты во многом обусловлена переходом на микропроцессорную базу для реализации терминалов направленной дистанционной защиты ФКС. Алгоритмы, заложенные в основу релейной защиты, остались неизменными. Фундаментальный недостаток данных алгоритмов – затруднительность разделения штатного и аварийного режимов работы системы при движении поездов повышенной массы [6–15].

На момент разработки и внедрения дан-

ных алгоритмов они показывали значительное повышение надежности систем тягового электроснабжения при нормативах весов и интервалах обычного грузового движения. Однако в современных условиях они не обеспечивают должного уровня надежности, что подтверждается статистикой отключений.

Современная микропроцессорная элементная база позволяет использовать широкий спектр возможностей в применении новых подходов к разработке алгоритмов дистанционных защит. С одной стороны, можно продолжать построение алгоритмов классическим подходом, когда задается определенный набор правил для алгоритма с целью получения желаемого результата, с другой, использовать статистический подход, основанный на широкой базе статистики работы релейной защиты и статистики процессов, протекающих в системах тягового электроснабжения [16–22].

Для возможного решения указанных во-

просов авторами предлагается внести изменения в алгоритм работы резервной ступени направленной дистанционной защиты [23–25]. По мнению авторов, алгоритм работы защиты должен быть динамическим, изменяющимся по отношению к нагрузке. Учет сопротивления нагрузки позволит исключить ложное срабатывание резервной ступени защиты в нормальном режиме и, возможно, повысит ее чувствительность при токах нагрузки меньше токов короткого замыкания. При аварийных режимах защита может возвращаться к обычной характеристике, используя данные гармонического спектра и скорость изменения напряжения. Использование статистических данных для определения оптимального алгоритма разграничения режимов функционирования системы тягового электроснабжения и статистический подход – предмет дальнейших изысканий и исследований.

Список литературы

1. Стратегия развития Холдинга «РЖД» на период до 2030 года // ОАО «РЖД»: сайт. URL : <https://volgograd-terkom34.ru/wp-content/uploads/2017/05/Стратегия-развития-ОАО-РЖД-до-2030-года.pdf> (Дата обращения 10.02.2023).
2. Трифонов Р.С., Роголёв А.В., Соловьёва О.А. Исследование распределения параметров системы тягового электроснабжения, контролируемых релейной защитой фидеров контактной сети на примере тяговой подстанции «Сохондо» Забайкальской железной дороги // Наука и техника транспорта. 2022. № 4. С 68–75.
3. О мерах по совершенствованию технической политики в области защиты электроустановок от коротких замыканий и перегрузки : распоряжение ОАО «РЖД» от 15.01.2020 №37/р (ред. 21.02.2022). Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локальной сети.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014–07–01. М. : Стандартформ, 2014. 18 с.
5. О мерах по совершенствованию технической политики в области эксплуатации и проектирования защиты системы тягового электроснабжения переменного тока от коротких замыканий и перегрузок : распоряжение ОАО «РЖД» от 7.04.2016 № 615р. Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локальной сети.
6. Фигурнов Е.П. Релейная защита. Ч. 1. Основы релейной защиты. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2009. 415 с.
7. Пинчуков П.С., Макашева С.И., Костин А.П. Комплексная оценка работы релейной защиты тяговой сети переменного тока // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. 2020. № 7 (92). С. 27–38.
8. Агафонов А.И., Бростилова Т.Ю., Джазовский Н.Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. М. : Вологда : Инфа-Инженерия, 2020. 300 с.
9. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М. : Высш. шк., 1991. 496 с.
10. Тельманова Е.Д. Электрические и электронные аппараты. Екатеринбург : РГПТУ, 2010. 131 с.
11. Евминов Л.И., Селиверстов Г.И. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Гомель : ГГТУ, 2016. 531 с.
12. Релейная защита и автоматика в электрических сетях / под ред. Дрозда В.В. М. : Альвис, 2012. 639 с.
13. Пинчуков П.С. Защита секционированных тяговых сетей переменного тока. Хабаровск : ДВГУПС, 2010. 95 с.
14. Гловацкий В.Г., Пономарев И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. М. : Энергомашвин, 2006. 612 с.
15. Инструкция по оперативному обслуживанию устройств РЗА АЗм на ЗабЖД. Чита : ЗабНТЭ, 2020. 12 с.
16. Дьяков А.Ф., Овчаренко И.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. М. : МЭИ, 2000. 199 с.
17. Захаров О.Г. Аппаратная надежность устройств релейной защиты // Библиотечка электротехника. 2016. № 7 (217). С. 1–88.
18. Цифровые технологии в релейной защите и автоматизации / сб. ст. Вып. I. Чебоксары : СРЗАУ, 2018. 71 с.
19. К вопросу о проектировании и эксплуатации микропроцессорных устройств релейной защиты / А.В. Сычев, Л.И. Евминов, В.В. Курганов и др. // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. 2009. № 4 (39). С. 73–79.
20. Герман Л.А., Новиков Е.В. Совершенствование работы интеллектуальных терминалов для автоматизации электроснабжения тяговой сети переменного тока // Наука и техника транспорта. 2015. № 4. С. 16–21.

21. Интеллектуальные терминалы для автоматизации электроснабжения / Л.А. Герман, А.В. Саморуков, Д.В. Ишкин и др. // Локомотив. 2013. № 12 (684). С. 39–40.
22. Повышение селективности работы микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной сети железных дорог переменного тока / М.В. Востриков, А.В. Данеев, К.В. Менакер и др. // Изв. Тул. гос. ун-та. Технические науки. 2022. № 5. С. 358–372.
23. Пат. 201026 Рос. Федерация. Устройство третьей ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети / Р.С. Трифонов, С.А. Филиппов, Д.А. Яковлев и др. № 2020111263 ; заявл. 05.06.2020 ; опубл. 24.11.2020, Бюл. № 33. 5 с.
24. Филиппов С.А., Яковлев Д.А., Трифонов Р.С. Разработка способа идентификации режима работы системы тягового электроснабжения третьей ступенью дистанционной защиты фидеров контактной сети при пропуске поездов повышенной массы // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2015. № 2 (58). С. 132–140.
25. Филиппов С.А., Трифонов Р.С., Соловьёва О.А. Факторный анализ работы дистанционной защиты фидеров контактной сети в условиях организации тяжеловесного движения // Транспорт Урала. 2020. № 1 (64). С. 94–99.

References

1. Strategiya razvitiya Kholdinga «RZHD» na period do 2030 goda (Elektronnyi resurs) [Development strategy of the Russian Railways Holding for the period up to 2030 (Electronic resource)]. Available at: <https://volgograd-terkom34.ru/wp-content/uploads/2017/05/Стратегия-развития-ОАО-РЖД-до-2030-года.pdf> (Accessed February 10, 2023).
2. Trifonov R.S., Rogalev A.V., Solov'eva O.A. Issledovanie raspredeleniya parametrov sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya, kontroliruemykh releinoi zashchitoy fiderov kontaktnoi seti na primere tyagovoi podstantsii «Sokhondo» Zabaikal'skoi zheleznoi dorogi [Investigation of the distribution of parameters of the traction power supply system controlled by relay protection of contact network feeders on the example of the Sokhondo traction substation of the Trans-Baikal Railway]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and technology of transport], 2022, no. 4, pp. 68–75.
3. Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 15.01.2020 №37/r (red. 21.02.2022) «O merakh po sovershenstvovaniyu tekhnicheskoi politiki v oblasti zashchity elektroustanovok ot korotkikh замыканий i peregruzki» [Order of JSC «Russian Railways» dated January 15, 2020, No 37/r (ed. February 21, 2022) «On measures to improve the technical policy in the field of protection of electrical installations from short circuits and overloading»].
4. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya [State Standard 32144-2013. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems]. Moscow: Standartinform Publ., 2014. 18 p.
5. Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 7.04.2016 № 615r «O merakh po sovershenstvovaniyu tekhnicheskoi politiki v oblasti ekspluatatsii i proektirovaniya zashchity sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya peremennogo toka ot korotkikh замыканий i peregruzok» [Order of JSC «Russian Railways» dated April 7, 2016 No 615r « On measures to improve the technical policy in the field of operation and design of protection of the AC traction power supply system from short circuits and overloads»].
6. Figurinov E.P. Releynaya zashchita (v 2 ch). Ch. 1. Osnovy releinoi zashchity [Relay protection (in 2 parts). Part 1. Fundamentals of relay protection]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2009. 415 p.
7. Pinchukov P.S., Makasheva S.I., Kostin A.P. Kompleksnaya otsenka raboty releinoi zashchity tyagovoi seti peremennogo toka [Comprehensive assessment of the operation of relay protection of the AC traction network]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Bryansk State Technical University], 2020, no. 7 (92), pp. 27–38.
8. Agafonov A.I., Brostilova T.Yu., Dzhazovskii N.B. Sovremennaya releynaya zashchita i avtomatika elektroenergeticheskikh sistem [Modern relay protection and automation of electric power systems]. Moscow: Vologda: Infa-Inzheneriya Publ., 2020. 300 p.
9. Andreev V.A. Releynaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1991. 496 p.
10. Tel'manova E.D. Elektricheskie i elektronnye apparaty [Electrical and electronic devices]. Ekaterinburg: RGPPU Publ., 2010. 131 p.
11. Evminov L.I., Seliverstov G.I. Releynaya zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya [Relay protection and automation of power supply systems]. Gomel': GGTU Publ., 2016. 531 p.
12. Releynaya zashchita i avtomatika v elektricheskikh setyakh (pod red. Drozda V.V.) [Relay protection and automation in electrical networks (ed. Drozd V.V.)]. Moscow: Al'vis Publ., 2012. 639 p.
13. Pinchukov P.S. Zashchita sektionirovannykh tyagovykh setei peremennogo toka [Protection of partitioned traction AC networks]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2010. 95 p.
14. Glovatskii V.G., Ponomarev I.V. Sovremennye sredstva releinoi zashchity i avtomatiki elektrosetei [Modern means of relay protection and automation of power grids]. Moscow: Energomashvin Publ., 2006. 612 p.
15. Instruktsiya po operativnomu obsluzhivaniyu ustroystv RZA AZm na ZabZhd [Instructions for operational maintenance of relay protection and automation devices of AZM on the Trans-Baikal Railway]. Chita: ZabNTE Publ., 2020. 12 p.
16. D'yakov A.F., Ovcharenko I.I. Mikroprotsessornaya releynaya zashchita i avtomatika elektroenergeticheskikh sistem [Microprocessor relay protection and automation of electric power systems]. Moscow: MEI Publ., 2000. 199 p.
17. Zakharov O.G. Apparatsnaya nadezhnost' ustroystv releinoi zashchity [Hardware reliability of relay protection devices]. *Bibliotekha elektrotekhnika* [Library of Electrical Engineering], 2016, no. 7 (217), pp. 1–88.
18. Tsifrovyye tekhnologii v releinoi zashchite i avtomatizatsii [Digital technologies in relay protection and automation]. *Sbornik statei* [Proceedings], Issue no 1. Cheboksary: SRZAU Publ., 2018. 71 p.

19. Sychev A.V., Evminov L.I., Kurganov V.V., Guminskii A.N. K voprosu o proektirovanii i ekspluatatsii mikroprotsessornykh ustroystv releinoi zashchity [On the issue of designing and operating microprocessor relay protection devices]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo* [Bulletin of the Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi], 2009, no. 4 (39), pp. 73–79.

20. German L.A., Novikov E.V. Sovershenstvovanie raboty intellektual'nykh terminalov dlya avtomatizatsii elektrosnabzheniya tyagovoi seti peremennogo toka [Improving the operation of intelligent terminals for automation of AC traction power supply]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and technology of transport], 2015, no. 4, pp. 16–21.

21. German L.A., Samorukov A.V., Ishkin D.V., Yakunin D.V. Intellektual'nye terminaly dlya avtomatizatsii elektrosnabzheniya [Intelligent terminals for power supply automation]. *Lokomotiv* [Locomotive], 2013, no. 12 (684), pp. 39–40.

22. Vostrikov M.V., Daneev A.V., Menaker K.V., Sizykh V.N. Povyshenie selektivnosti raboty mikroprotsessornoi releinoi zashchity fiderov kontaktnoi seti zheleznykh dorog peremennogo toka [Increasing the selectivity of the microprocessor relay protection of feeders of the contact network of AC railways]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletins of the Tula State University. Technical sciences], 2022, no. 5, pp. 358–372.

23. Trifonov R.S., Filippov S.A., Yakovlev D.A., Solov'eva O.A. Patent RU 201026 U1, 24.11.2020.

24. Filippov S.A., Yakovlev D.A., Trifonov R.S. Razrabotka sposoba identifikatsii rezhima raboty sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya tret'ei stupen'yu distantsionnoi zashchity fiderov kontaktnoi seti pri propuske poezdov povyshennoi massy [Development of a method for identifying the operating mode of the traction electric supply system with the third stage of remote protection of contact network feeders when passing trains of increased mass]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2015, no. 2 (58), pp. 132–140.

25. Filippov S.A., Trifonov R.S., Solov'eva O.A. Faktorny analiz raboty distantsionnoi zashchity fiderov kontaktnoi seti v usloviyakh organizatsii tyazhelovesnogo dvizheniya [Factor analysis of the operation of remote protection of contact network feeders in the conditions of heavy traffic organization]. *Transport Urala* [Transport of Urals], 2020, no. 1 (64), pp. 94–99.

Информация об авторах

Роголёв Андрей Владимирович, кандидат педагогических наук, доцент кафедры электроснабжения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита; e-mail: a_rogalev@inbox.ru.

Соловьёва Оксана Александровна, старший преподаватель кафедры электроснабжения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита; e-mail: ksusha_s777@mail.ru.

Емельянов Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита; e-mail: aleksandr-emelja@mail.ru.

Information about the authors

Andrei V. Rogalev, Ph.D. in Pedagogical Science, Associate Professor of the Department of Power Supply, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita; e-mail: a_rogalev@inbox.ru.

Oksana A. Solov'eva, Assistant Professor of the Department of Power Supply, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita; e-mail: ksusha_s777@mail.ru.

Alexander G. Emel'yanov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Power Supply, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita; e-mail: aleksandr-emelja@mail.ru.