



А. А. Лундалин<sup>1</sup>, Е. Ю. Пузина<sup>1,2</sup>, И. А. Худоногов<sup>2</sup>, В. В. Кашковский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 30 апреля 2019 г.

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

**Аннотация.** Надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей, в частности транспортных систем, во многом зависит от состояния и правильного функционирования устройств релейной защиты и автоматики. Представляется актуальным исследование современного состояния элементной базы данных устройств, анализ повреждаемости устройств релейной защиты и автоматики и определение мероприятий для повышения надежности работы релейной защиты и автоматики в российских электрических сетях. Применен метод статистического анализа данных о количественном и качественном составе устройств релейной защиты и автоматики за последние четыре года в системообразующей электросетевой компании «Российские сети». Оценивается состояние электросетевого комплекса, где наблюдается низкая заинтересованность частного капитала в модернизации принадлежащих им объектов электроэнергетики. Выявлены отрицательные тенденции как в развитии элементной базы, так и причины неправильных срабатываний и повреждений устройств релейной защиты. Использован структурно-функциональный метод для разработки мероприятий, направленных на повышение надежности работы устройств автоматики и релейной защиты. Отмечена тенденция уменьшения общего количества устройств в последние два года при значительном проценте их старения, при этом доля случаев неправильного срабатывания по причине старения достигла четверти от общего количества случаев неправильных срабатываний. Проведен анализ статистики наибольшего количества повреждений для различных типов устройств релейной защиты с основными причинами повреждений. Анализ имеющихся данных указывает на необходимость модернизации устройств релейной защиты и разработки мероприятий для повышения надежности их работы.

**Ключевые слова:** релейная защита и автоматика, анализ повреждаемости, повышение надежности работы, структурно-функциональный метод, Российские электрические сети.

А. А. Lundalin<sup>1</sup>, Е. Ю. Puzina<sup>1,2</sup>, I. A. Khudonogov<sup>2</sup>, V. V. Kashkovskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

Received: April 30, 2019

## THE ANALYSIS OF RELIABILITY OF POWER SUPPLY OF TRANSPORT SYSTEMS, DEPENDING ON THE CONDITION OF DEVICES OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATION

**Abstract.** Reliable and uninterrupted power supply to consumers, in particular transport systems, largely depends on the state and proper functioning of relay protection and automation devices. It is important to study the current state of the element database of devices, analyze the damage of relay protection and automation devices and determine measures to improve the reliability of relay protection and automation in Russian electrical networks. The article uses the method of statistical analysis of data on the quantitative and qualitative composition of relay protection and automation devices for the last four years in the backbone electric grid company «Rosseti». The state of the electric grid complex is assessed, where there is a low interest of private capital in the modernization of their power industry facilities. There are trends identified in the development of the element base, as well as the causes of incorrect operation and damage of relay protection devices. A structural and functional method was used to develop measures to improve the reliability of automation and relay protection devices. There has been a tendency to reduce the total number of devices in the last 2 years, with a significant percentage of their aging, the proportion of cases of incorrect operation due to aging has reached a quarter of the total number of cases of incorrect tripping to work. The analysis of the statistics of the greatest amount of damage for different types of relay protection devices with the main causes of damage. Analysis of the available data indicates the need to upgrade the protective devices and develop measures to improve their operation reliability.

**Keywords:** relay protection and automation, damage analysis, increase of operation reliability, structural-and-functional method, Russian electrical networks.

### Введение

В 1992 г. началось реформирование российской электроэнергетики, имевшее основной задачей создание конкурентного рынка электроэнергии, способного привлечь дополнительные инвестиции для обновления предприятий электроэнергетики. С этой целью было организовано Российское акционерное

общество «Единая Энергетическая Система России» (РАО «ЕЭС России»), объединившее большую часть российской электроэнергетики.

В 2008 г. монопольной структуре электроэнергетики в виде РАО «ЕЭС России» пришли на смену новые самостоятельные участники рынка электроэнергетики.



Таким образом, в ходе реформ, проходивших в 1992–2008 гг., в российской электроэнергетике выделились как монопольные (передача и распределение электроэнергии, диспетчеризация), так и конкурентные (генерация, сбыт, ремонт и сервис) направления деятельности. Это привело к тому, что в электроэнергетике обеспечены условия для конкуренции на оптовом и розничном рынках электроэнергии, участники которого заинтересованы в повышении своей эффективности. В монополярной сфере деятельности в электроэнергетике за счет применения государственного регулирования и привлечения внешних инвестиций были созданы условия для развития инфраструктуры и обновления.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 2 ноября 2012 г. № 1567 создана компания Публичное акционерное общество (ПАО) «Россети» [1]. Компания является системообразующей электросетевой компанией страны. Протяженность обслуживаемых линий электропередач (ЛЭП) по отчету о деятельности компании за 2017 г. [2] составляет 2,4 млн. км, количество подстанций 502 тыс. шт. при их установленной мощности 781 ГВА, объем присоединенной мощности составляет 15 201 МВт.

Реализуя Программу инновационного развития на период 2016–2020 годы с перспективой до 2025 года, ПАО «Россети» продолжает работы по внедрению новых типов оборудования, средств управления и систем мониторинга, устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) [3].

Состояние РЗА транспортных систем неразрывно связано с общим состоянием электроэнергетики. Так, еще Федеральный закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» от 26 марта 2003 г. [4] предусматривал, в частности, обновление устройств РЗА энергосистем. Для качественного изменения парка устройств РЗА требуется приоритетное финансирование.

Однако, государство распродало частным владельцам множество электростанций и электрических сетей по демпинговым ценам. В результате произошло дробление энергетики с выведением прибыли от деятельности распроданных электрообъектов. Следует отметить малую заинтересованность частного капитала в модернизации принадлежащих им объектах, в том числе и устройств РЗА.

#### Цель исследования, материал и методы исследования

В программных документах ПАО «Россети» одной из самых важных корпоративных ценностей компании заявлена надежность – как стремление к обеспечению надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей.

В связи со сказанным представляет большой интерес исследование текущего состояния материальной базы РЗА, анализ надежности работы данных устройств, от качества которой напрямую зависит надежность электроснабжения потребителей в целом.

В данной работе применен метод статистического анализа данных о количественном и качественном составе устройств РЗА за 2014–2018 гг. в системообразующей электросетевой компании России – ПАО «Россети». Выявлены тенденции как в развитии элементной базы, так и в причинах неправильных срабатываний устройств РЗА. Проанализированы статистические данные о причинах повреждений устройств РЗА. Для разработки мероприятий по повышению надежности работы устройств РЗА применен структурно-функциональный метод.

#### Результаты исследования.

##### Состав и состояние релейной защиты и автоматики в «Россети»

Далее приведена информация о количестве устройств РЗА в ПАО «Россети» за 2014–2017 и 2018 гг. (табл. 1), (рис. 1) [5].

Таблица 1

Количество устройств релейной защиты и автоматики в 2014–2017 и 2018 гг., млн шт.

Отчетный год	2014	2015	2016	2017/18
Количество устройств	2,195	2,278	3,100	2,060

Как видим, общее количество устройств РЗА в 2014–2016 гг. стабильно увеличивалось, а в 2017–2018 гг. отмечено их уменьшение на 4,5 %. Последнее связано в основном с более активной заменой устаревших версий электромеханических реле на микропроцессорные устройства (табл. 2), (рис. 2).

Общая тенденция к увеличению суммарного количества устаревших устройств РЗА в целом сохраняется в течение исследуемого периода (табл. 3), (рис. 3).

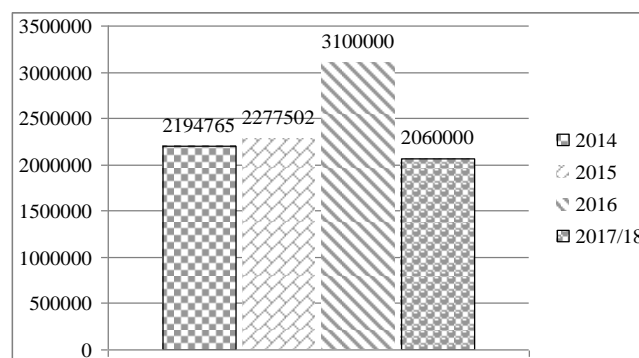
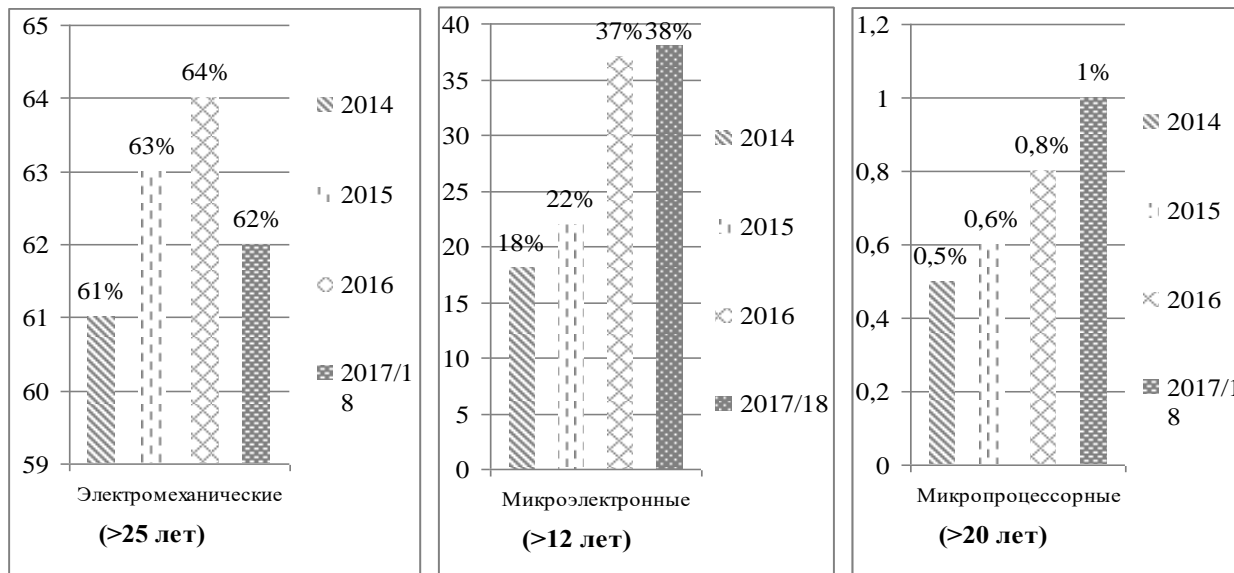


Рис. 1. Количество устройств релейной защиты и автоматики в 2014–2017 и 2018 гг.

Таблица 2

**Устаревшие устройства релейной защиты и автоматики с учетом элементной базы в 2014–2017 и 2018 гг.**

Тип устройств	Электромеханические				Микроэлектронные				Микропроцессорные			
	2014	2015	2016	2017/18	2014	2015	2016	2017/18	2014	2015	2016	2017/18
Отчетный год												
Критерий оценки	(>25 лет)				(>12 лет)				(>20 лет)			
%	61	63	64	62	18	22	37	38	0,5	0,6	0,8	1,0

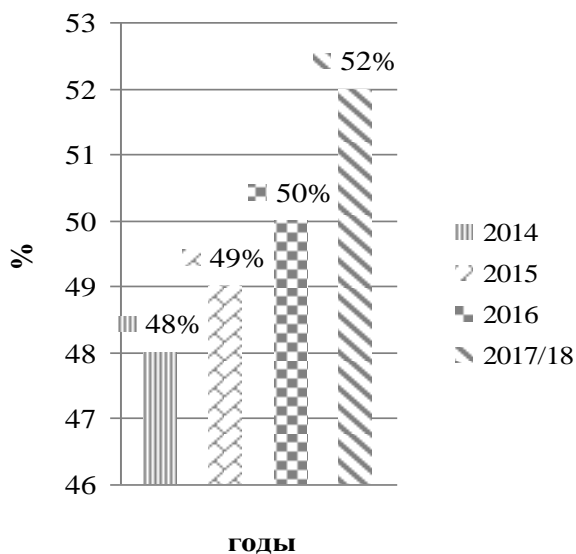


**Рис. 2. Устаревшие устройства релейной защиты и автоматики с учетом элементной базы в 2014–2017 и 2018 гг.**

Таблица 3

**Суммарное количество устаревших устройств релейной защиты и автоматики в 2014–2017 и 2018 гг.**

Отчетный год	2014	2015	2016	2017/18
%	48	49	50	52



**Рис. 3. Суммарное количество устаревших устройства релейной защиты и автоматики в 2014–2017 и 2018 гг.**



Представлены результаты работы устройств РЗА в 2017 и 2018 г. в сравнении с 2014 г. (табл. 4).

Количество неправильных срабатываний сократилось с 1 382 до 1 044 (снижение на 24,5 %). Показатель правильной работы за 2014 г. – 99,55 %, за 2017 и 2018 г. – 99,48 % (уменьшение на 0,07 %).

Рассмотрим классификацию причин «неправильной» работы устройств РЗА согласно ГОСТ

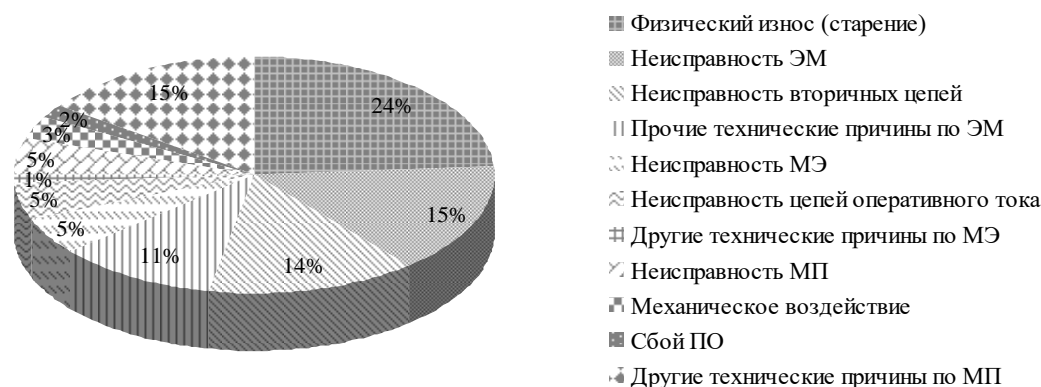
Р56865–2016 [6]. Причины неправильной работы РЗА сгруппированы по следующим обобщенным признакам: технические причины, организационные причины и виновность по категориям персонала (табл. 5–7), (рис. 4–6) [5].

Представлены и данные о повреждаемости устройств РЗА в 2017 и 2018 г. (табл. 8), (рис. 7).

Таблица 5

**Технические причины неправильной работы устройств релейной защиты и автоматики за 2014–2017 и 2018 гг.**

Наименование причины	Процентное соотношение, %
Физический износ (старение)	24
Неисправность ЭМ	15
Неисправность вторичных цепей	14
Прочие технические причины по ЭМ	11
Неисправность МЭ	5
Неисправность цепей оперативного тока	5
Другие технические причины по МЭ	1
Неисправность МП	5
Механическое воздействие	3
Сбой ПО	2
Другие технические причины по МП	15



**Рис. 4. Технические причины неправильной работы устройств релейной защиты и автоматики за 2014–2017 и 2018 гг.**

Таблица 6

**Организационные причины неправильной работы устройств релейной защиты и автоматики за 2014–2017 и 2018 гг.**

Наименование причины	Процентное соотношение, %
Дефекты (недостатки) конструкции	15
По продлению срока службы	14
Причина не определена	12
Дефекты (недостатки) монтажа	7
По устранению выявленного дефекта	4
Невыполнение объема ТО и Р	4
Прочие организационные причины	44

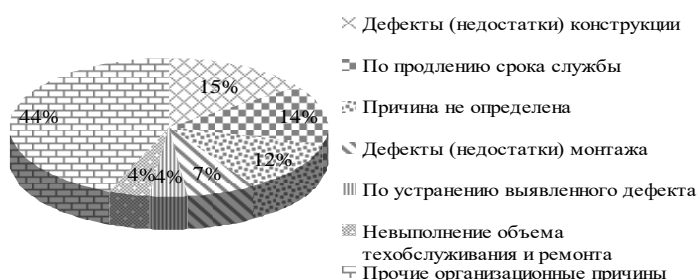


Рис. 5. Организационные причины неправильной работы устройств релейной защиты и автоматики за 2014–2017 и 2018 гг.

Т а б л и ц а 7

Виновность по категориям персонала, обслуживающего устройства релейной защиты и автоматики за 2014–2017 и 2018 гг.

Наименование причины	Процентное соотношение, %
Персонал РЗА	32
Персонал заводов-изготовителей	13
Сторонние лица	7
Персонал монтажных организаций	5
Персонал наладочных организаций	3
Персонал проектных организаций	3
Оперативный персонал	2
Персонал РДУ	1
Вина не определена	34

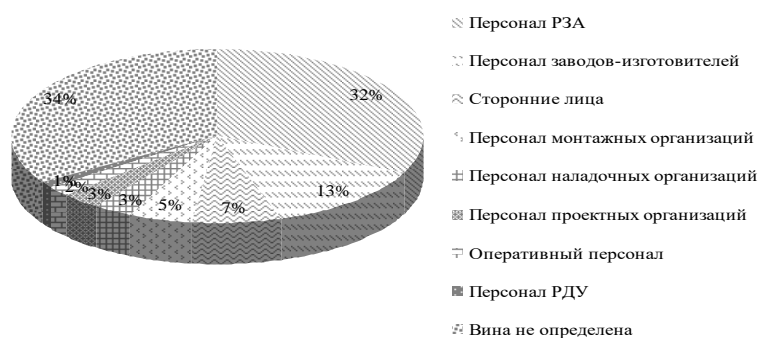


Рис. 6. Виновность по категориям персонала, обслуживающего устройства релейной защиты и автоматики за 2014–2017 и 2018 гг.

Т а б л и ц а 8

Повреждаемость устройств релейной защиты и автоматики за 2017 и 2018 г.

Тип устройства	Электромеханические	Микроэлектронные	Микропроцессорные
%	65	9	26

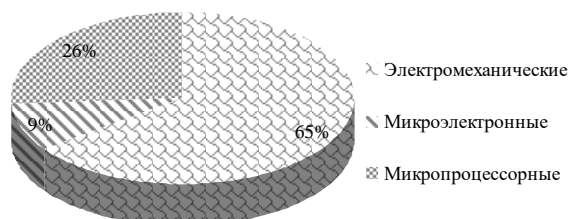


Рис. 7. Повреждаемость устройств релейной защиты и автоматики за 2017 и 2018 г.



Представлена статистическая информация 2017 и 2018 г. с распределением по типам об основных неисправностях устройств РЗА за устройств РЗА (табл. 9–11), (рис. 8) [5, 10].

Таблица 9

**Основные неисправности электромеханических устройств релейной защиты и автоматики за 2017 и 2018 г.**

Наименование причины	Процентное соотношение, %
Механический износ	42
Неисправность часового механизма	24
Неисправность обмотки реле	16
Неисправность контактной системы	8
Прочие неисправности в совокупности	10

Таблица 10

**Основные неисправности микроэлектронных устройств релейной защиты и автоматики за 2017 и 2018 г.**

Наименование причины	Процентное соотношение, %
Неисправность блока питания	24
Неисправность составных блоков	18
Неисправность нуля-индикатора	7
Неисправность контура подпитки	4
Прочие неисправности в совокупности	47

Таблица 11

**Основные неисправности микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики за 2017 и 2018 г.**

Наименование причины	Процентное соотношение, %
Неисправность блока питания	25
Неисправность микросхем ОЗУ	5
Неисправность платы выходных реле	2,3
Прочие неисправности в совокупности	67,7



Рис. 8. Основные неисправности устройств релейной защиты и автоматики за 2017 и 2018 г.



Таким образом, видим, что электромеханические реле наиболее часто повреждались из-за механического износа – 42 %, а микроэлектронные и микропроцессорные – из-за неисправностей блока питания – 25 и 24 % соответственно.

Анализируя данные (см. табл. 1–11), приходим к следующим выводам:

1. Основная доля устройств систем защиты и автоматики приходится на электромеханические реле (76 %), из которых 62% имеют срок службы существенно выше нормативного [7].

2. Доля устройств систем защиты и автоматики на основе микроэлектронных реле со сроком службы также велика – 38 % [5].

3. Отмечается снижение общего количества неправильных срабатываний РЗА, вместе с тем значительная их часть происходит из-за старения самих устройств – 24 % в год [5].

4. Основными организационными причинами неправильного срабатывания устройств РЗА являются дефекты (недостатки) конструкции – 15 % и продление срока службы – 14 %.

5. Наибольшее количество случаев неправильного срабатывания устройств РЗА происходит по вине персонала – 32 %.

6. Наибольшее количество повреждений устройств РЗА приходится на электромеханические реле – 65 %, а основными причинами повреждений являются для электромеханических реле механический износ (42 %), для микроэлектронных и микропроцессорных реле – неисправности блока питания (25 и 24 % соответственно).

С учетом исследуемых источников [8, 9, 11, 12–15], анализируя причины неисправностей различных типов устройств РЗА, можно предложить

мероприятия, направленные на повышение надежности их работы.

Для электромеханических устройств РЗА:

– плановая замена электромеханических устройств РЗА с превышением нормативного срока эксплуатации;

– сокращение периодичности контроля ответственных узлов электромеханических устройств РЗА;

– ответственные узлы необходимо заменять с помощью ремонтных комплектов.

Для микроэлектронных устройств РЗА:

– плановая замена микроэлектронных устройств РЗА с превышением нормативного срока эксплуатации;

– сокращение периодичности контроля ответственных узлов микроэлектронных устройств РЗА;

– применение систем мониторинга микроэлектронных устройств РЗА.

Для микропроцессорных устройств РЗА:

– анализ характерных для микропроцессорных устройств РЗА неисправностей с целью составления информационных листов;

– внедрение не только гарантийного, но и послегарантийного обслуживания микропроцессорных устройств РЗА;

– применение систем удаленного контроля микропроцессорных устройств РЗА.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о насущной необходимости модернизации систем защиты и автоматики с целью их замены (в первую очередь электромеханических и микроэлектронных) и определения в дальнейшем актуальных направлений развития РЗА.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об открытом акционерном обществе «Российские сети» : указ Президента Рос. Федерации от 2.11.2012 № 1567.
2. Годовой отчет ПАО «Россети» за 2017 г. : утв. Советом директоров ПАО «Россети» : протокол от 30.05.2018 № 310.
3. Долгосрочная программа развития ПАО Россети : утв. Советом директоров ПАО Россети : протокол от 19.12.2014 № 174.
4. Об электроэнергетике : федер. закон РФ № 35-ФЗ от 26.03.2003 // Рос. газета. 2003. 1 апр.
5. Кириленков В.С. О текущем состоянии и планах развития релейной защиты и автоматики в ДЗО ПАО «Россети». М. : изд-во ОАО «Россети», 2018. 15 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/12/Prezentatsiya-RZA-Kirilenkov.pdf>. (Дата обращения: 16.02.2019).
6. ГОСТ Р 56865–2016 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Релейная защита и автоматика. Технический учет и анализ функционирования. Общие требования. Введ. 2016-09-01 М. : Стандартинформ, 2016.
7. Концепция развития РЗА электросетевого комплекса 2015 г. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/vipiska\\_prilogenie.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/vipiska_prilogenie.pdf). (Дата обращения: 16.12.2018).
8. Программа инновационного развития на период 2016–2020 годы с перспективой до 2025 года : утв. решением Совета директоров ПАО «Россеть» : протокол от 30.12.2016 № 250.
9. Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации : распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 г. №511-р : ред. от 29 ноября 2017 г.
10. Вергазов С. Ю. Развитие релейной защиты и автоматики в электросетевом комплексе группы компаний «Россети». М. : Изд-во ОАО «Россеть», 2016. 15 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://cigre.ru/research\\_commitets/ik\\_rus/b5\\_rus/novosti/trebvaniya/2.pdf](http://cigre.ru/research_commitets/ik_rus/b5_rus/novosti/trebvaniya/2.pdf). (Дата обращения: 16.12.2018).



11. Положение ПАО Россети о единой технической политике в электросетевом комплексе : утв. Советом директоров ПАО «Россеть» : протокол от 23.10.2013 №138.
12. Удрис А.П. Кадровая и научно-техническая политика – основа обеспечения надежности функционирования РЗА // Релейщик. 2008. №1. С. 56–58.
13. Жуков А.В. Перспективы развития системы РЗА в ЕЭС России // Релейная защита и автоматика энергосистем : Международный конф. СПб., 2017. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rza-expo.ru/ru/konferentsiya/programma\\_](http://www.rza-expo.ru/ru/konferentsiya/programma_) (Дата обращения: 16.12.2018).
14. Концептуальные вопросы создания комплекса РЗА с гибкой функциональной архитектурой : протокол совместного заседания секции «Управления режимами энергосистем РЗА» и секции «Проблемы надежности и эффективности релейной защиты и средства автоматического системного управления в ЕЭС России» НП «НТС ЕЭС» от 26.10.2017. М. : НТС ЕЭС, 2017.
15. Отчет о деятельности Подкомитета В5 РНК СИГРЭ «Релейная защита и автоматика» за 2017 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://cigre.ru/activity/conference/relayprotect5/> (Дата обращения: 16.12.2018).

## REFERENCES

1. Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 2.11.2012 No. 1567 «Ob otkrytom aktsionernom obshchestve «Rossiiskie seti»» [Decree of the President of the Russian Federation dated November 2, 2012 No. 1567 “On the Open Joint-Stock Company Russian Networks”].
2. Godovoi otchet PAO «Rosseti» za 2017 g. (utverzhen Sovetom direktorov PAO «Rosseti» 29.05.2018 (protokol ot 30.05.2018 No.310)) [The annual report of ROSSETI PAO for 2017 (approved by the Board of Directors of ROSSETI PAO on May 29, 2018 (Minutes No. 310 dated May 30, 2018))].
3. Dolgosrochnaya programma razvitiya PAO Rosseti (utverzhdna Sovetom direktorov PAO Rosseti, protokol ot 19.12.2014 No.174) [The long-term development program of Rosseti PAO (approved by the Board of Directors of Rosseti PAO, Minutes No. 174 dated December 19, 2014)].
4. Federal'nyi zakon RF No. 35-FZ «Ob elektroenergetike» ot 26.03.2003 g. [Federal Law of the Russian Federation No. 35-FZ “On the Electric Power Industry” dated March 26, 2003].
5. Kirilenkov V.S. O tekushchem sostoyanii i planakh razvitiya releinoi zashchity i avtomatiki v DZO PAO «Rosseti» [On the current state and plans for the development of relay protection and automation in subsidiaries and affiliates of Rosseti PAO]. Moscow: OAO Rosseti Publ., 2018. 15 p. [Electronic medium]. URL: <http://digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/12/Prezentatsiya-RZA-Kirilenkov.pdf>. (Access date: 16.02.2019).
6. GOST R56865–2016 «Operativno-dispetcherskoe upravlenie. Releynaya zashchita i avtomatika. Tekhnicheskii uchet i analiz funktsionirovaniya. Obshchie trebovaniya» [GOST R56865–2016 “Operational dispatch control. Relay protection and automation. Technical accounting and functional analysis. General requirements”].
7. Kontseptsiya razvitiya RZA elektrosetevogo kompleksa 2015 g. [The concept of the development of relay protection and automation of the electric grid complex in 2015] [Electronic medium]. URL: [https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/vipiska\\_prilozhenie.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/vipiska_prilozhenie.pdf). (Access date: 16.12.2018).
8. Programma innovatsionnogo razvitiya na period 2016–2020 gody s perspektivoi do 2025 goda (utverzhdna resheniem Soveta direktorov PAO «Rosseti» (protokol ot 30.12.2016 No. 250)) [The innovative development program for the period 2016–2020 with a perspective until 2025 (approved by the decision of the Board of Directors of Rosseti PAO (Minutes No. 250 of December 30, 2016))].
9. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 03.04.2013 g. No.511-r (red. ot 29 noyabrya 2017 g.) «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya elektrosetevogo kompleksa Rossiiskoi Federatsii» [Order of the Government of the Russian Federation dated 04.03.2013 No. 511-r (as amended on November 29, 2017) “On approval of the Development Strategy of the electric grid complex of the Russian Federation”].
10. Vergazov S. Yu. Razvitiye releinoi zashchity i avtomatiki v elektrosetevom komplekse gruppy kompanii «Rosseti». Moscow: izdvo OAO «Rosseti» [Development of relay protection and automation in the power grid complex of the Rosseti group of companies. Moscow: Rosseti OAO Publ.] Electronic medium]. URL: [http://cigre.ru/research\\_commitets/ik\\_rus/b5\\_rus/novosti/trebovaniya/2.pdf](http://cigre.ru/research_commitets/ik_rus/b5_rus/novosti/trebovaniya/2.pdf). (Access date: 16.12.2018).
11. Polozhenie PAO Rosseti o edinoi tekhnicheskoi politike v elektrosetevom komplekse (utverzhdno Sovetom direktorov PAO Rosseti, protokol ot 23.10.2013 No.138) [Regulation of Rosseti PAO on a unified technical policy in the electric grid complex (approved by the Board of Directors of Rosseti PAO, Minutes No. 138 of October 23, 2013)].
12. Udris A.P. Kadrovaya i nauchno-tekhnicheskaya politika – osnova obespecheniya nadezhnosti funktsionirovaniya RZA [Personnel and scientific and technical policy - the basis for ensuring the reliability of relay protection and automation functions]. Rелейщик [Protection engineer], 2008. No.1. Pp. 56–58.
13. Zhukov A.V. Perspektivy razvitiya sistemy RZA v EES Rossii [Prospects for the development of relay protection and automation systems in the UES of Russia]. «Releynaya zashchita i avtomatika energosistem», Mezhdunarodnaya konferentsiya [“Relay protection and automation of power systems”, International Conference]. St.Petersburg, 2017 [Electronic medium]. URL: <http://www.rza-expo.ru/ru/konferentsiya/programma>. (Access date: 16.12.2018).
14. Protokol sovmestnogo zasedaniya sektsii «Upravleniya rezhimami energosistem RZiA» i sektsii «Problemy nadezhnosti i effektivnosti releinoi zashchity i sredstva avtomaticheskogo sistemnogo upravleniya v EES Rossii» NP «NTS EES» ot 01.11.2017 g. [The minutes of the joint meeting of the section “Control of the modes of power systems of RPA” and the section “Problems of reliability and effectiveness of relay protection and means of automatic system control in the UES of Russia” of Non-commercial partnership, Scientific and Technical Council of the Unified Energy System dated 01.11.2017].
15. Otchet o deyatelnosti Podkomiteta V5 RНК СИГРЕ «Releynaya zashchita i avtomatika» za 2017 g. [Report on the activities of the Subcommittee B5 of the CIGRE RNC “Relay protection and automation” for 2017] [Electronic medium]. URL: <http://cigre.ru/activity/conference/relayprotect5/>. – (Access date: 16.12.2018).





### Информация об авторах

Лундалин Антон Александрович – магистрант, Иркутский национальный исследовательский университет, г. Иркутск, e-mail: anton.lundalin@yandex.ru

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский университет, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: lena-rus05@mail.ru

Худонов Игорь Анатольевич – д. т. н., профессор кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Hudonogovi@mail.ru

Кашковский Виктор Владимирович – д. т. н., профессор кафедры информационных систем и защита информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: viktor.kashkovskij@mail.ru

### Authors

Anton Aleksandrovich Lundalin – Master's student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: anton.lundalin@yandex.ru

Elena Yur'evna Puzina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: lena-rus05@mail.ru.

Igor' Anatol'evich Khudonogov – Doctor of Engineering Science, Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Hudonogovi@mail.ru

Viktor Vladimirovich Kashkovskiy – Doctor of Technical Science, Professor of information systems and information protection Department, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: viktor.kashkovskij@mail.ru

### Для цитирования

Лундалин А. А. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики / А. А. Лундалин, Е. Ю. Пузина, И. А. Худонов, В. В. Кашковский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 127–135. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).127–135

### For citation

Lundalin A. A., Puzina E. Yu., Khudonogov I. A., Kashkovskiy V. V. Analiz nadezhnosti elektrosnabzheniya transportnykh sistem v zavisimosti ot sostoyaniya ustroystv releinoi zashchity i avtomatiki [The analysis of reliability of power supply of transport systems, depending on the condition of devices of relay protection and automation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 127–135. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).127–135

УДК 625.11

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).135–142

**Н. С. Бушуев<sup>1</sup>, С. В. Шкурников<sup>1</sup>, В. А. Герасимов<sup>2</sup>, В. А. Голубцов<sup>1</sup>, О. С. Морозова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «ГИПРОТРАНСПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Дата поступления: 25 апреля 2019 г.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

**Аннотация.** В последнее время в Российской Федерации быстрыми темпами развивается строительство железных и автомобильных дорог за Полярным кругом в зоне повсеместного распространения вечной мерзлоты. Построена железная дорога общего пользования «Обская – Бованенково». В ближайшей перспективе последует ее продление до порта Сабетта. В рамках инвестиционного проекта «Создание Северного широтного хода» предполагается строительство на территории Ямало-Ненецкого автономного округа железнодорожной линии «Обская – Салехард – Надым – Пангоды – Новый Уренгой – Коротчаево» (включая строительство мостового перехода через р. Обь в районе г. Салехард) общей протяженностью 707 км. Сооружение железных дорог в районах распространения многолетней мерзлоты – одно из основных научных направлений, развивающееся со времен строительства Забайкальского и Дальневосточного участков Транссибирской магистрали и активно совершенствующееся в настоящий момент. В данной статье рассмотрены вопросы трассирования железных дорог в условиях вечной мерзлоты. Многолетняя мерзлота – это часть криолитозоны, характеризующаяся отсутствием периодического оттаивания. Многолетнемерзлые грунты занимают значительные территории России. Вечная мерзлота непосредственно связана с климатическими условиями на планете, а происходящие в последнее время глобальные изменения приводят к интенсивному повышению средней температуры, что сказывается и на вечной мерзлоте. Последствия климатических изменений влияют на проекты новых и эксплуатацию существующих объектов железнодорожной инфраструктуры. В работе учитывается влияние изменения климата на мерзлые породы с точки зрения устойчивости железной дороги. Проектирование железной дороги в условиях вечной мерзлоты может осуществляться как с полным сохранением вечномерзлых грунтов, так и с учетом частичного оттаивания. В статье подробно описаны особенности определения местоположения трассы железнодорожной линии в условиях вечной мерзлоты.

**Ключевые слова:** вечная мерзлота, трасса железнодорожной дороги, проектирование железнодорожной линии, освоение земляного полотна, минимальная высота железнодорожной насыпи.