

**Переверзев С.Ю., Помогаев В.И., Ануфриев И.О., Пузина Е.Ю.**

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

***Аннотация.** В настоящее время обострилась проблема необходимости реконструкции тяговых подстанций электрифицированных железных дорог. Это связано с тем, что большая их часть на многих железных дорогах находится в эксплуатации более полувека, претерпела существенный физический и моральный ущерб. Продолжение эксплуатации такого оборудования может приводить к его отказам, к нарушению электроснабжения потребителей, к развитию аварийных ситуаций. Потенциальное возникновение таких повреждений подтверждается статистическим анализом отказов оборудования тяговых подстанций, результаты которого изложены в данной работе. Также выполнен анализ сроков эксплуатации оборудования одной из тяговых подстанций Восточного полигона, который подтверждает наличие значительного процента оборудования со сроком эксплуатации, превышающим 35 лет. Произведен экономический расчет по определению эксплуатационных затрат с учетом действующего оборудования для обследуемой подстанции. Их величина значительна.*

*В связи с изложенными фактами актуальной задачей является принятие технических решений по реконструкции тяговых подстанций. При этом предложено использовать марки современного малозатратного в эксплуатации и высоконадежного, согласно имеющегося опыта эксплуатации, оборудования. Оценка эксплуатационных затрат после реконструкции позволила сделать вывод об эффективности предложенных решений, которые могут быть распространены на другие тяговые подстанции.*

*Реализация рекомендованных решений по замене оборудования на тяговых подстанциях приведет к снижению эксплуатационных расходов, повышению надежности работы не только тяговых подстанций, но и всей системы тягового электроснабжения, к повышению безопасности перевозочного процесса.*

**Ключевые слова:** система тягового электроснабжения, тяговые подстанции, реконструкция.

**Pereverzev S.Yu., Pomogaev V.I., Anufriev I.O., Puzina E.Yu.**

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

## **PROPOSALS FOR THE RECONSTRUCTION OF TRACTION SUBSTATIONS**

***Annotation.** Currently, the problem of the need to reconstruct traction substations of electrified railways has become more acute. This is due to the fact that most of them on many railways have been in operation for more than half a century, and have suffered significant physical and moral damage. Continued operation of such equipment can lead to its failures, to disruption of power supply to consumers, to the development of emergency situations. The potential occurrence of such damages is confirmed by a statistical analysis of failures of traction substation equipment, the results of which are presented in this paper. An analysis of the service life of the equipment of one of the traction substations of the Eastern landfill was also performed, which confirms the presence of a significant percentage of equipment with a service life exceeding 35 years. An economic calculation was made to determine the operating costs, taking into account the existing equipment for the substation under examination. Their magnitude is significant.*

*In connection with the above facts, an urgent task is to make technical decisions on the reconstruction of traction substations. At the same time, it is proposed to use brands of modern equipment that is low-cost in operation and highly reliable, according to existing operating experience. The assessment of operating costs after reconstruction allowed us to conclude about the effectiveness of the proposed solutions, which can be extended to other traction substations.*

*The implementation of the recommended solutions for the replacement of equipment at traction substations will lead to lower operating costs, increase the reliability of not only traction substations, but also the entire traction power supply system, and increase the safety of the transportation process.*

**Keywords:** traction power supply system, traction substations, reconstruction.

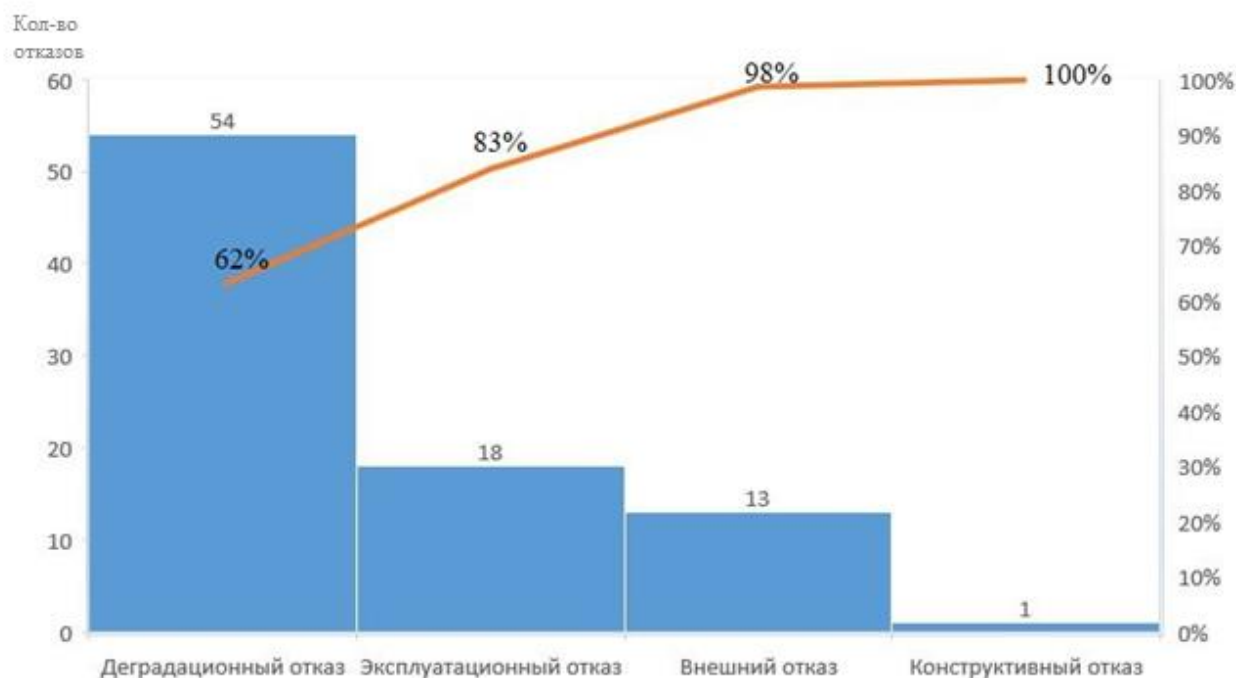
### **Введение**

Одними из основных элементов систем тягового электроснабжения являются тяговые подстанции, которые отвечают за преобразование уровня напряжения и дальнейшее распределение электроэнергии, в первую очередь, тяговым, а также нетяговым железнодорожным и сторонним потребителям. От стабильной работы электрооборудования тяговых подстанций зависит надежность электроснабжения данных потребителей и безопасность перевозочного процесса на электрифицированных железных дорогах.

На многих электрифицированных железных дорогах России тяговые подстанции введены в эксплуатацию более 60 лет назад. Достаточно большой объем основных видов оборудования этих электроустановок имеют существенный физический и моральный износ [1-3]. Устаревшее оборудование тяговых подстанций других устройств системы тягового электроснабжения является серьезной проблемой в настоящее время, так как это непосредственно влияет на бесперебойную работу не только систем тягового электроснабжения, но и энергосистем в целом [4-5].

В рамках данного исследования выполнен анализ статистики отказов оборудования тяговых подстанций, произошедших на одной из российских железных дорог Восточного полигона за последние десять лет.

В ходе статистического анализа отказов оборудования выяснилось, что основной причиной отказов является деградационный отказ, обусловленный естественными процессами старения, износа, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации. В доказательство этого на базе исследуемого объема статистики отказов оборудования тяговых подстанций построена диаграмма Парето, представленная на рис. 2.



**Рис. 1. Статистика отказов оборудования тяговых подстанций одной из российских железных дорог за последние 10 лет**

На основе проведенного анализа причин отказов электрооборудования напрашивается вывод о необходимости его замены, так как 62% оборудования подвержены деградационным отказам.

Также произведена оценка срока эксплуатации оборудования на примере одной из тяговых подстанций обследуемой российской железной дороги – ГЧ. Гистограмма, отражающая результаты анализа сроков эксплуатации электрооборудования данной подстанции, представлена на рис. 2. Видим, что 91 % от общего количества оборудования имеет срок эксплуатации, превышающий нормативный, и из них 55% оборудования находятся в работе более 35 лет. Столь длительный срок эксплуатации свидетельствует о существенном износе оборудования.



**Рис. 2. Анализ сроков эксплуатации электрооборудования подстанции**

На основании выполненного статистического анализа приходим к выводу о необходимости обновления основных производственных фондов тяговых подстанций, что может быть выполнено в рамках их реконструкции.

### **Разработка предложений по реконструкции тяговых подстанций**

Рассмотрим вопрос замены действующего оборудования на примере упомянутой выше тяговой подстанции ГЧ. В составе ее трех высоковольтных распределительных устройств 110, 27,5 и 10 кВ находятся такие виды оборудования со сроком эксплуатации свыше 35 лет, как: выключатели МКП-110, ВМУЭ-27,5, ВМГ-133, разъединители РНДЗ-110, РНДЗ-35, трансформаторы напряжения ЗНОМ-35. Также имеются маслонаполненные трансформаторы тока ТБМО-110. Как известно, маслонаполненное оборудование не только является пожаро- и взрывоопасным [6], но и требует больших затрат на эксплуатацию. Так, в частности, для указанной подстанции произведена оценка годовых затрат, связанных с расходами на трансформаторное масло в маслонаполненном оборудовании с большим сроком эксплуатации, (табл. 1) и на подогрев масла и приводов в выключателях, которые впоследствии будут предложены к замене (табл. 2).

Таблица 1

#### **Расходы на трансформаторное масло, стоимостью 154 руб/кг**

Оборудование	Объем требуемого масла на единицу, кг	Количество, шт.	Стоимость, руб.
МКП-110М	8500	2	2618000
ВМУЭ-27,5	800	2	246400
ВМГ-133	10	11	16940
ЗНОМ-35	6	2	1848
Итого			2883188

Таблица 2

#### **Расходы на подогрев оборудования до реконструкции**

Оборудование	Количество, шт.	Мощность подогрева масла, кВт	Мощность подогрева привода, кВт	Суммарная потребляемая электроэнергия за 7 месяцев, кВтч
МКП-110М	2	15	0,8	159264
ВМУЭ-27,5	2	0,8	0,4	12096
Итого				171360

Видим, что продолжение эксплуатации устаревшего оборудования по представленным в

табл. 1 и 2 статьям затрат существенно увеличивает их объем.

В целом, эксплуатационные расходы до реконструкции складываются из расходов на заработную плату работникам, отчислений на социальные нужды, расходов на амортизационные отчисления, расходов на подогрев оборудования, и прочих расходов (табл. 3).

Таблица 3

**Эксплуатационные расходы до реконструкции**

Статья эксплуатационных расходов	Сумма, руб.
Расходы на заработную плату работникам	4796196
Отчисления на социальные нужды	1458016
Расходы на амортизационные отчисления	861080
Расходы на подогрев оборудования	532929
Прочие расходы	903688
Итого	8551909

Данные, представленные в табл. 3, свидетельствуют о значительных затратах на эксплуатацию устаревшего оборудования. С целью снижения эксплуатационных расходов, повышения надежности работы обследуемой тяговой подстанции, повышения безопасности перевозочного процесса предлагается заменить устаревшее оборудование с большим сроком эксплуатации на современные образцы малообслуживаемого оборудования [7], представленные в табл. 4.

Таблица 4

**Предложения по замене устаревшего оборудования**

Оборудование	Распределительное устройство		
	110 кВ	27,5 кВ	10 кВ
Выключатели	ВГТ-УЭТМ-1А1-110/3150-40	ВР35НС-35-1600/20	ВВ/TEL-10-20/1000
Разъединители	РГН.2-110/1000-40; РГН.1а-110/1000-40	РДЗ-1-35/1000; РДЗ-2-35/1000	РДЗ-1-35/1000
Трансформаторы тока	ТОЛ-110-850/5	ТОЛ-35-1200/5	ТОЛ-10-1500/5 ТОЛ-10-200/5 ТОЛ-10-75/5
Трансформаторы напряжения	-	ЗНОЛ-35	-

Замена оборудования на новое требует единовременных затрат, расчет которых сведен в табл. 5.

Таблица 5

**Расчёт стоимости оборудования**

Марка оборудования	Количество	Стоимость единицы, руб.	Сумма, руб.
ВГТ-УЭТМ-1А1-110/3150-40	2	4800000	9600000
ВР35НС-35-1600/20	2	1050000	2100000
ВВ/TEL-10-20/1000	10	950000	9500000
РГН-110/1000-40	6	500000	3000000
ТОЛ-110-850/5	1	90000	90000
ТОЛ-35-1200/5	2	45000	90000
ТОЛ-10	3	20000	60000
ЗНОЛ-35	2	210000	420000
Итого			24860000

Результатом выполнения реконструкции тяговой подстанции ГЧ является экономический эффект, образующийся за счет сокращения эксплуатационных затрат путем исключения из эксплуатации значительной части маслонаполненного оборудования и, соответственно, снижения трудозатрат на его обслуживание, в том числе и связанных с пониженным расходом на подогрев выключателей, а также исключения затрат на трансформаторное масло в заменяемом оборудовании. Результаты расчета на подогрев новых выключателей приведены

в табл. 6.

Таблица 6

**Расходы на подогрев оборудования после реконструкции**

Оборудование	Количество, шт.	Мощность подогрева элегаза, кВт	Мощность подогрева привода, кВт	Суммарная потребляемая электроэнергия за 7 месяцев, кВтч
ВЭБ-110	2	2,8	0,8	36288
ВГТ-100	2	-	0,5	5040
ВР35НС	2	-	0,5	5040
Итого				46368

Проанализировав и сопоставив расходы на подогрев оборудования и трудозатраты на текущий ремонт и межремонтные испытания после реконструкции подстанции, можно сделать вывод о том, что предложенное к замене оборудование снижает уровень эксплуатационных затрат практически в 2 раза (табл. 7).

Таблица 7

**Эксплуатационные расходы после реконструкции**

Статья эксплуатационных расходов	Сумма, руб.
Расходы на заработную плату работникам	2703418
Отчисления на социальные нужды	821839
Расходы на амортизационные отчисления	825880
Расходы на подогрев оборудования	144204
Прочие расходы	399862
Итого	4895203

В результате, с учетом снижения всех видов эксплуатационных расходов, ожидаемый годовой экономический эффект составит 3656706 руб., а срок окупаемости 6,8 года. Поскольку расчетный срок окупаемости не превышает нормативного, то реконструкцию тяговой подстанции следует признать эффективной. Внесенные предложения по замене устаревшего оборудования на современные образцы возможно распространить на другие тяговые подстанции.

### **Заключение**

Оборудование многих тяговых подстанций электрифицированных железных дорог технически устарело и не соответствует современным требованиям безопасности и эффективности. Это может привести к сбоям в работе системы электроснабжения и повышенному риску аварийных ситуаций, которые могут прервать работу транспортного сообщения в отдельных регионах.

Повышение надежности, как правило, связано с увеличением затрат на замену аппаратов системы. Однако, новое оборудование позволяет снизить вероятность аварийных отключений и, как следствие, перерывов электроснабжения, что в свою очередь уменьшает ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям, также оно является более эффективным и менее затратным в эксплуатации.

Таким образом, предложенные решения по реконструкции тяговых подстанций могут быть широко распространены и положительно скажутся на безопасности и экономичности перевозочного процесса, что также будет способствовать увеличению пропускной способности участков системы тягового электроснабжения [8-10].

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Урлапов С.С., Крапивин М.И. Анализ повреждаемости электрооборудования тяговых подстанций а Восточно-Сибирской железной дороге // Молодая наука Сибири. № 2 (20). 2023. С. 106-114.

2. Худоногов А.И., Туйгунова А.Г., Балагура А.А. Статистические данные по диагностике силовых масляных трансформаторов на Восточно-Сибирской железной дороге // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С174-179.
3. Худоногов А.И., Туйгунова А.Г. Мониторинг электрооборудования тяговых подстанций // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2016. Т. 1. С. 645-648.
4. Есауленко А.С., Ступицкий В.П., Тихомиров В.А., Лобанов О.В. К повышению надежности устройств контактной сети // Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 200-205.
5. Лобанов О.В. Система мониторинга работоспособности металлических опорных конструкций для скоростного и высокоскоростного движения электроподвижного состава // Инновационные производственные технологии и ресурсосберегающая энергетика. Материалы международной научно-практической конференции. Омск, 2021. С. 245-250.
6. Пузина Е.Ю., Крапивин М.И., Урлапов С.С. Предложения по внедрению системы автоматического пожаротушения лафетного типа для цифровой тяговой подстанции // Образование – наука - производство. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Чита, 2023. С. 285-292.
7. Пузина Е.Ю. Сравнительный анализ оборудования уровня процесса для цифровой тяговой подстанции // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 2 (70). С. 92-104.
8. Крапивин М.И., Пузина Е.Ю. Разработка предложений по устранению лимитирующих межподстанционных зон при развитии Восточного полигона // Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта. Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2024. С. 61-65.
9. Бардушко А.Ю., Куцый А.П. Повышение пропускной способности электрифицированного участка железной дороги Якурим – Киренга на перспективу // Молодая наука Сибири. 2023. № 4 (22). С. 182-193.
10. Крапивин М.И., Куцый А.П., Пузина Е.Ю. Разработка технических решений по увеличению пропускной способности системы тягового электроснабжения участка Восточного полигона // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России. Сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 180-186.

## REFERENCES

1. Uralpov S.S., Krapivin M.I. Analysis of damage to electrical equipment of traction substations on the East Siberian Railway // Molodaya nauka Sibir. No. 2 (20). 2023. pp. 106-114.
2. Khudonogov A.I., Tuigunova A.G., Balagura A.A. Statistical data on diagnostics of power oil transformers on the East Siberian Railway // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2017. No. 2 (54). С174-179.
3. Khudonogov A.I., Tuigunova A.G. Monitoring of electrical equipment of traction substations // Transport infrastructure of the Siberian region. 2016. Vol. 1. pp. 645-648.
4. Esaulenko A.S., Stupitsky V.P., Tikhomirov V.A., Lobanov O.V. To increase the reliability of contact network devices // Molodaya nauka Sibiri. 2021. No. 2 (12). pp. 200-205.
5. Lobanov O.V. System for monitoring the operability of metal support structures for high-speed and high-speed movement of electric rolling stock // Innovative production technologies and resource-saving energy. Materials of the international scientific and practical conference. Omsk, 2021. pp. 245-250.
6. Puzina E.Yu., Krapivin M.I., Uralpov S.S. Proposals for the introduction of a carriage-type automatic fire extinguishing system for a digital traction substation // Education – science - production. Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical conference (with international participation). Chita, 2023. pp. 285-292.
7. Puzina E.Yu. Comparative analysis of process level equipment for a digital traction substation // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2021. No. 2 (70). pp. 92-104.
8. Krapivin M.I., Puzina E.Yu. Development of proposals for the elimination of limiting substation zones in the development of the Eastern polygon // Research and development of rail and road

transport. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Yekaterinburg, 2024. pp. 61-65.

9. Bardushko A.Yu., Kutsy A.P. Increasing the capacity of the electrified section of the Yakurim – Kirenga railway for the future // Molodaya nauka Sibiri. 2023. No. 4 (22). pp. 182-193.

10. Krapivin M.I., Kutsy A.P., Puzina E.Yu. Development of technical solutions to increase the capacity of the traction power supply system of the Eastern district section // Problems of electric power industry and telecommunications of the North of Russia. Collection of scientific papers of the V International Scientific and Practical Conference. Moscow, 2024. pp. 180-186.

### **Информация об авторах**

*Переверзев Семен Юрьевич* – студент гр. СОД.1-21-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [semyon.pereverzev033@mail.ru](mailto:semyon.pereverzev033@mail.ru)

*Помогаев Владимир Игоревич* – студент гр. СОД.1-21-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [Pomogaev2015@mail.ru](mailto:Pomogaev2015@mail.ru)

*Ануфриев Иван Олегович* – студент гр. СОД.1-21-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [1.ms21.2003@mail.ru](mailto:1.ms21.2003@mail.ru)

*Пузина Елена Юрьевна* – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [lena-rus05@mail.ru](mailto:lena-rus05@mail.ru)

### **Authors**

*Preverzev Semen Yurevich* – student g. SOD.1-21-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [semyon.pereverzev033@mail.ru](mailto:semyon.pereverzev033@mail.ru)

*Pomogaev Vladimir Igorevich* – student g. SOD.1-21-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [Pomogaev2015@mail.ru](mailto:Pomogaev2015@mail.ru)

*Anufriev Ivan Olegovich* – student g. SOD.1-21-1, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [1.ms21.2003@mail.ru](mailto:1.ms21.2003@mail.ru)

*Elena Yur'evna Puzina* – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [lena-rus05@mail.ru](mailto:lena-rus05@mail.ru)