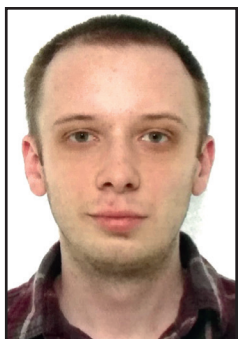




Технико-экономические показатели внедрения сглаживающих реакторов нового типа



Дмитрий ДУРАКОВ



Владимир ЛОБЫНЦЕВ



Станислав ПОЛЕВ

Дураков Дмитрий Николаевич – НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия.

Лобынцев Владимир Васильевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Полев Станислав Сергеевич – НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия.*

Выполнен расчёт технико-экономических показателей внедрения сглаживающих реакторов нового типа с учётом специфики условий эксплуатации систем тягового электроснабжения постоянного тока 3,5 кВ. На основании данных, предоставленных эксплуатирующими и монтажными организациями, выполнена оценка стоимостных показателей устранения повреждений контактной сети. Выполнено формирование основных финансовых статей, на основании которых проведён расчёт чистого дохода и чистого дисконтированного дохода в целях

определения срока окупаемости инвестиционных затрат.

Полученный по результатам расчётов срок окупаемости – чуть более трёх лет для оборудования, относящегося к основным фондам, с назначенным сроком службы двадцать пять лет – свидетельствует о высоком уровне инвестиционной привлекательности сглаживающего реактора нового типа. Одобрённая методика позволяет проводить расчёты с использованием большого числа физических и эксплуатационных параметров, влияющих на экономические показатели работы устройства.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, чистый дисконтированный доход, дисконтированный доход, срок окупаемости, объём инвестиций, тяговая подстанция, контактная сеть, пережог контактной сети, реактор с пониженным омическим сопротивлением, инвестиционные затраты.

*Информация об авторах:

Дураков Дмитрий Николаевич – инженер-исследователь Курчатовского комплекса ядерных транспортных энергетических технологий НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Durakov_DN@nrcki.ru.

Лобынцев Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, Lobyntsev_VV@nrcki.ru.

Полев Станислав Сергеевич – экономист Курчатовского комплекса ядерных транспортных энергетических технологий НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, stpolev@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 14.02.2019, принята к публикации 16.05.2019.

For the English text please see p. 107.

В настоящее время на тяговых подстанциях постоянного тока на российских железных дорогах в зависимости от используемой схемы выпрямительного агрегата в цепи возврата тягового тока устанавливаются сглаживающие реакторы типа РБФАУ-6500/3250 с различной величиной индуктивности [1, с. 282]. Индуктивность реактора может варьироваться от 1,5–12,5 мГн посредством перекоммутации обмоток или количеством последовательно включённых секций, исходя из условий обеспечения электромагнитной совместимости [2, с. 211].

В то же время всё оборудование тяговых подстанций должно иметь стойкость к перегрузкам, будучи недозагруженным основную часть времени эксплуатации, поэтому как среднеэффективное значение тягового тока может в 4 или более раз отличаться от его пиковых значений, обусловленных, например, пуском электроподвижного состава (ЭПС). Стойкость к перегрузкам или запас по установленной мощности определяет высокую стоимость капитальных затрат и относительно низкий коэффициент использования данного оборудования [3, с. 124].

Внедрение реактора РЖФА-6500 на объектах тягового электроснабжения способно в значительной степени сократить потери, понизив тем самым расходы на централизованную закупку электроэнергии от оптового поставщика. Кроме того, результаты математического моделирования позволяют утверждать, что использование РЖФА-6500 существенно снижает термическое и электродинамическое действие токов короткого замыкания на силовое оборудование, коммутационные аппараты и токоведущие части тяговых подстанций, а также провода контактной сети. Практически в 100 % случаев возникновения дуговых коротких замыканий удаётся избежать пережога и отжига проводов контактной сети [4].

Целью исследования были разработка методики и оценка стоимостных показателей устранения повреждений контактной сети, расчёт чистого дохода и чистого дисконтированного дохода в целях определения срока окупаемости инвестиционных затрат при внедрении реактора определённого типа. Использовались общенаучные

и экономические *методы* исследования, инженерный анализ.

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОКУПАЕМОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ

В качестве показателей экономической эффективности авторами приняты:

- чистый доход как разность между объёмом поступлений и объёмом инвестиционных затрат;
- чистый дисконтированный доход как разность между объёмом поступлений по периодам (годам) эксплуатационной фазы, приведённых к началу мероприятия в соответствии с принятой в расчётах ставкой дисконтирования, и объёмом инвестиционных затрат;
- срок окупаемости как момент времени, когда совокупный объём поступлений становится равным объёму инвестиционных затрат;
- дисконтированный срок окупаемости как момент времени, когда совокупный объём поступлений, приведённых к точке начала мероприятия, становится равным объёму инвестиционных затрат;
- индекс доходности.

Для оценки эффективности инвестиций используются дисконтированные денежные потоки, отражающие притоки и оттоки денежных средств в процессе реализации проекта. Баланс денежных средств для каждого периода корректируется с учётом коэффициента приведения:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (1)$$

где E — ставка дисконтирования для проектов в сфере железнодорожного транспорта (в целях расчёта принимается равной 0,1);

t — номер шага расчёта.

В качестве основного показателя для расчёта эффективности проекта принимается чистый дисконтируемый доход (ЧДД) за расчётный период, приведённый к начальной точке по норме дисконта, который определяется по формуле [5, с. 23]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (P_t - Z_t) \alpha_t, \quad (2)$$

где P_t — приток денег в году t ;

Z_t — отток денег в году t без учёта амортизационных отчислений, но с учётом инвестиций;



α — коэффициент приведения.

В состав притоков денежных средств P_t включаются следующие группы статей денежных поступлений, преимущественно по операционной деятельности:

- эффект, получаемый за счёт реализации предлагаемого мероприятия;
- амортизационные отчисления.

В состав оттоков денежных средств Z_t включаются следующие группы статей расходов:

- затраты на строительные-монтажные и пусконаладочные работы;
- текущие эксплуатационные расходы;
- инвестиции на закупку оборудования;
- налог на прибыль;
- налог на имущество.

Расчёты налоговых платежей на имущество выполняются по формуле [6]:

$$H_u = \varphi \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (K_{ij} - AO_{it} \cdot t_{ij}), \quad (3)$$

где K_{ij} — капитальные вложения при внедрении i -ой техники или технологии за расчётный период до года 1, руб.;

$i = 1, 2, \dots, n$ — количество новой техники с различными сроками службы в рамках рассматриваемого проекта;

AO_{it} — амортизационные отчисления для i -ой техники или технологии в году t , руб.;

t_{ij} — годы расчётного периода для i -ой техники или технологии,

$t_{ij} = 1$ при вводе в эксплуатацию i -ых основных фондов;

ϕ — ставка налога на имущество (2,2%/100).

Налог на прибыль H , рассчитывается по формуле:

$$H_p = (P_{(t)} - Z_{m(t)}) \cdot p, \quad (4)$$

где $Z_{m(t)}$ — текущие расходы в году t , включая амортизацию, руб.;

p — ставка налога на прибыль ($p = 20,0\%/100$).

При оценке результата $P_{(t)}$ от реализации продукции, когда стоимостная оценка связана с экономией затрат, налог на прибыль рассчитывается по формуле:

$$H_p = (Z'_{m(t)} - Z_{m(t)}) \cdot p, \quad (5)$$

где $Z'_{m(t)}$ — текущие расходы по варианту «без проекта» в году t , руб.;

$Z_{m(t)}$ — текущие расходы по варианту «с проектом» в году t , руб.

Индекс доходности [7] показывает величину в рублях дохода, который прихо-

дится на каждый вложенный рубль инвестиций:

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T (P_t - Z_{mt}) \alpha_t}{K_1 \sum_{t=0}^T \alpha_t}, \quad (6)$$

где K — капиталовложения на t -м шаге;

$Z_{m(t)}$ — текущие расходы без учёта капиталовложений и амортизационных отчислений;

α — коэффициент приведения в году t .

Срок окупаемости инвестиций или срок возврата вложений представляет собой период от начала реализации проекта, за пределами которого интегральный эффект становится положительным. Срок окупаемости определяет время, по истечении которого возмещаются первоначальные вложения за счёт чистых поступлений, исчисляемое от базового момента времени. Для определения срока окупаемости используется равенство:

$$\sum_{t=0}^{T_{\text{окупаемость}}} (P_t - Z_{mt}) \alpha_t = \sum_{t=0}^{T_{\text{окупаемость}}} K_t \cdot \alpha_t, \quad (7)$$

где P_t — приток денег на t шаге;

K_t — капиталовложения на t -м шаге;

Z_{mt} — текущие расходы без учёта капиталовложений и амортизационных отчислений;

α — коэффициент приведения на шаге t .

Формирование затрат на строительные-монтажные и пусконаладочные работы производится, исходя из стоимости поставки серийного образца РЖФА-6500, ожидаемой на уровне 11 151 000 руб. с НДС, объёмов и сметной стоимости работ, выполняемых специализированным монтажным предприятием на объекте внедрения — тяговой подстанции ОАО «РЖД» [8, раздел 3]:

- аренда крана-манипулятора (8 часов) — 12000 руб. с НДС;

- стоимость оплаты труда монтажников-такелажников, исходя из объёма 32 человеко-часа по тарифной ставке 600 руб. за нормо-час, итого: 19200 руб.;

- стоимость оплаты труда электромонтажников, исходя из объёма 16 человеко-часов по тарифной ставке 625 руб. за нормо-час, итого: 10000 руб.;

- объём отчислений во внебюджетные фонды по заработной плате монтажников составит 8 760 руб.;

• итого стоимость монтажа РЖФА-6500 составит 49 960 руб. с НДС.

Демонтаж реактора старого типа РБФА-У-6500/3250 включает в себя его отсоединение от токоведущих частей, вывоз и утилизацию цветного металла обмоток, в связи с чем стоимость выполнения данных работ может быть рассчитана по следующей формуле:

$$C = \Pi_{\text{ут.ц.м.}} M_{\text{ц.м.}} - M_{\text{об}} \Pi_{\text{ут.ч.м.}} + 30 \%, \quad (8)$$

где $M_{\text{об}}$ — масса демонтируемого оборудования (кг);

$M_{\text{ц.м.}}$ — масса цветного металла, содержащегося в оборудовании (кг);

$\Pi_{\text{ут.ц.м.}}$ — цена утилизации 1 кг цветного металла (руб. с НДС);

$\Pi_{\text{ут.ч.м.}}$ — цена утилизации 1 кг чёрного металла (в руб. с НДС);

30 % — надбавка за демонтаж и вывоз.

С использованием выражения (8) определим стоимость выполнения строительно-монтажных и пусконаладочных работ в численном выражении, которая составит:

$$(5500 \text{ кг} \cdot 110 \text{ руб.}) - ((7800 \text{ кг} \cdot 9,5 \text{ руб.}) + 30 \%) = 580 670 \text{ руб.}$$

Следовательно, с каждого утилизируемого реактора типа РБФА-У-6500/3250 может быть получен доход в размере 580 670 руб. с НДС.

Формирование текущих эксплуатационных расходов в рамках принятой финансовой модели связано с периодической проверкой состояния электрической изоляции и параметров индуктивности блоков реактора нового типа. С учётом экспертной оценки расходы на проведение проверочных мероприятий составят не более 2 % от стоимости РЖФА-6500, то есть, 150 000 руб. в год с НДС.

Расчёт объёма инвестиций на закупку оборудования, а также расчёт налогов, связанных с выполнением поверочных операций, не приводятся, потому что они не являются решающими в данном контексте и проводятся по внутренним нормативам компаний, связанных единым технологическим процессом.

Для оценки снижения уровня потерь электрической энергии при внедрении реакторов нового типа АО «Трансэнерго» — филиалом ОАО «РЖД» предоставлены данные по среднесуточному значению тягового тока одной из постоянно загруженных тяговых подстанций сети железных

дорог постоянного тока «Григорьевская», которое составляет 2757,81 А. Следовательно, мощность потерь электрической энергии в эксплуатируемых реакторах типа РБФА-У-3250/6500 составит за сутки:

$$\Delta W_{\text{РБФА сут.}} = (I_{\text{ср. сут.}} K_{\text{эфф.}})^2 R_{\text{РБФА}} \cdot h = (2757,8 \cdot 1,2)^2 \cdot 0,006 \cdot 24 = 1577,08 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $I_{\text{ср. сут.}}$ — среднесуточный ток подстанции (по данным 2015 года);

$K_{\text{эф}}$ — коэффициент эффективности тока (выбрано среднее значение);

$R_{\text{РБФА}}$ — активное сопротивление реактора типа РБФА;

h — количество часов в сутках.

В реакторах типа РЖФА-6500 с алюминиевыми обмотками сечением 2970 мм² мощность потерь электрической энергии за сутки составит:

$$\Delta W_{\text{РЖФА сут.}} = (I_{\text{ср. сут.}} K_{\text{эфф.}})^2 R_{\text{РЖФА}} \cdot h = (2757,8 \cdot 1,2)^2 \cdot 0,0015 \cdot 24 = 394,27 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $R_{\text{РЖФА}}$ — активное сопротивление реактора типа РЖФА.

В пересчёте на год потери составят:

$$\Delta W_{\text{РБФА год}} = \Delta W_{\text{РБФА сут.}} \cdot k \cdot 365 = 1577,08 \cdot 1,25 \cdot 365 = 719542,66 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где k — поправочный коэффициент, учитывающий повышенный нагрев реактора типа РБФА:

$$\Delta W_{\text{РЖФА год}} = \Delta W_{\text{РЖФА сут.}} \cdot k \cdot 365 = 394,27 \cdot 1 \cdot 365 = 143908,55 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Средневзвешенная цена покупки электроэнергии на Свердловской железной дороге за 2018 г. составляет 3,83 руб. за 1 кВт · ч [9]. Тогда стоимость оплаты потерь электроэнергии составит:

$$\Delta C_{\text{РБФА}} = \Delta W_{\text{РБФА год}} \cdot 3,83 = 2755848,39 \text{ руб.};$$

$$\Delta C_{\text{РЖФА}} = \Delta W_{\text{РЖФА год}} \cdot 3,83 = 551169,75 \text{ руб.}$$

Сумма ущерба от перегрева контактного провода может сильно различаться в зависимости от каждого конкретного случая, но для оценочных расчётов рассмотрим наиболее простой и часто возникающий случай термического повреждения контактного провода.

При помощи Статистического аварийного анализатора — прибора «САА», разработанного коллективом кафедры «Электроэнергетика транспорта» РУТ (МИИТ) и установленного на одной из тяговых подстанций действующей линии Санкт-Петербург—Москва, в режиме реального времени набрана статистика, которая показала, что 90 % случаев коротко-



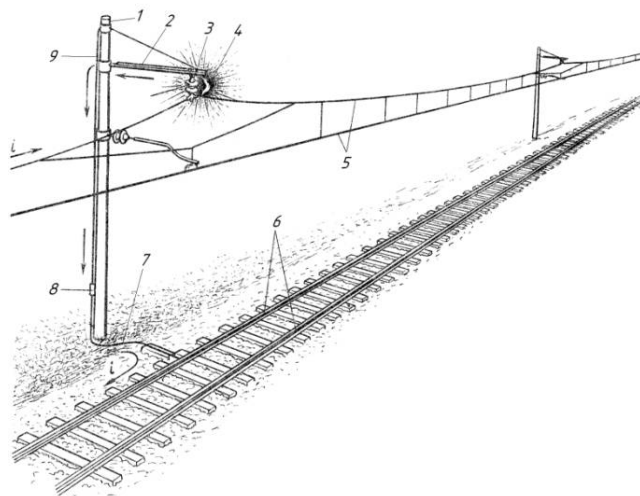


Рис. 1. Перекрытие изолятора и залипшая дуга на несущем тросе: 1 – опора контактной сети, 2 – траверса, 3 – изолятор, 4 – дуга, 5 – контактная сеть: несущий трос и контактный провод, 6 – рельсы, 7 – кабель группового заземления опор, 8 – искровой промежуток, 9 – шина, объединяющая металлические части, закреплённые на опоре.

го замыкания были обусловлены повреждением электроподвижного состава (ЭПС). При этом суммарное число отключений в год, приходящихся на сдвоенный выключатель одного из фидеров контактной сети, составляет около 100 (на этой линии), для фидера, питающего депо это число в 5 раз больше – порядка 500. В 30–40 % (среднестатистическая цифра по сети железных дорог [10, с. 110]) случаев отключение было вызвано дуговым коротким замыканием (см. рис. 1). Для фидера, питающего депо, это процентное соотношение существенно выше.

Среднее расчётное число коротких замыканий, приходящихся на один фидер тяговой подстанции в год, примем равным 35. При этом перегор контактного провода происходит в 6–8 % случаев (которые также могут быть связаны с работой АПВ, для расчёта возьмём 7 %), итого в 2,5 случаях короткого замыкания в год на каждый фидер возникает перегор контактного провода. Минимальное количество фидеров на тяговых подстанциях магистральных железных дорог равняется 4 шт. [11, с. 169], следовательно, на все фидерные зоны, питаемые тяговой подстанцией, приходится 10 случаев перегор контактного провода в год.

Устранение перегоревов контактного провода (КП) по главному ходу выполняется с остановкой движения по повреж-

дённому пути, причём сначала поезвному диспетчеру необходимо организовать движение по одному пути в обе стороны, потом маневровый тепловоз должен осуществить манёвр (буксировку) состава на соседний путь для освобождения места проведения восстановительных работ [12, с. 289]. После этого бригада монтажников контактной сети приступает к устранению неполадок, на что в среднем отводится около 1 часа (в самом простом случае).

Согласно данным, предоставленным АО «Трансэлектромонтаж», можно подсчитать сумму затрат, необходимых для ликвидации одного перегора КП:

- работа дрезины 800 руб./час;
- осмотр анкерного участка и регулировка 27206 руб./км, при наличии 2 контактных проводов;
- стоимость погонного метра контакт-ного провода 222,5 руб.;
- приведённая стоимость указана в базовых ценах 2000 года, для их пересчёта на четвёртый квартал 2018 года (время проведения расчётов) необходимо использовать коэффициент 3,63;
- длина анкерного участка на сети российских железных дорог составляет 1600 м (1,6 км), в некоторых (крайних) случаях 1800 м (1,8 км).

Для расчёта возьмём 1,6 км:

$$Ц = (1,6 \cdot 27206 + 800 + (2 \cdot 222,5)) \cdot 3,63 = 162532 \text{ руб., без учёта нарушения графи-}$$

Таблица 1

Вид аварии	Частота, 1/год	Единичный ущерб, млн руб.	Риск, млн руб./год.
Пережог контактного провода	10	0,16	1,6
Значительная авария, вызванная коротким замыканием	0,3	1	0,3
Всего:			1,9

Таблица 2

Эффект от внедрения новой модели реактора на единичной тяговой подстанции

Чистый доход, руб.	78 369 490
ЧДД (ставка 10 %), руб.	28 796 956
Внутренняя норма доходности (IRR), %	57 %
Срок окупаемости, лет	2,8
Индекс доходности	4,6

ка движения поездов и осуществления манёвров.

Суммарный ущерб за год на всех фидерных зонах, питаемых одной тяговой подстанцией: $\Pi = 162532 \cdot 10 = 1625320$ руб. $\approx 1,6$ млн руб.

Около 3 % случаев от общего числа коротких замыканий по всей сети железных дорог имеют тяжёлые и крайне тяжёлые последствия, ущерб от которых трудно поддаётся оценке. Например, неотключение быстродействующим выключателем глухого короткого замыкания (соединены контактный провод и рельс без образования электрической дуги) приводит к необходимости замены части контактного провода на перегоне в месте короткого замыкания, которое также производится с остановкой движения по этому участку и с заменой самих коммутационных аппаратов (быстродействующих выключателей) [13, с. 103]. Прямой ущерб от подобных случаев составляет около 1 млн руб. (стоимость одного комплекта фидерных выключателей, которые необходимо заменить, составляет 800000 руб. без учёта повреждений токоведущих шин и сопутствующего оборудования). Также возможны и более тяжёлые аварии, которые происходят значительно реже (раз в 5–10 лет по всей сети ОАО «РЖД»), но вероятности их возникновения никто полностью исключить не может. Эти аварии связаны с полным выходом из строя оборудования тяговой подстанции (участок Москва–Мытищи, весна 2005 года). Такие аварии влекут за собой тяжелейшие последствия из-за нарушения графика движения поездов (убытки только по оборудованию

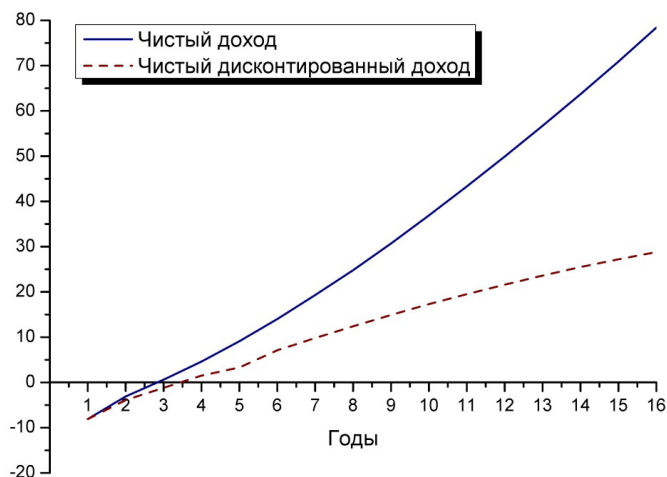
тяговой подстанции могут составить от 10 до 30 млн рублей в зависимости от её типа и установленной мощности, данные предоставлены АО «Мосгипротранс»). Для оптимистичной оценки прямого ущерба от аварий для одной типовой тяговой подстанции и всех питаемых ею фидерных зон составим таблицу 1.

Использование в цепи возврата тягового тока реактора типа РЖФА-6500 взамен морально устаревшего позволит в значительной степени снизить величину ущерба от термического и электродинамического действия токов короткого замыкания, а также риск отказа фидерных выключателей за счёт вдвое большей глубины ограничения скорости изменения тока и его установившегося значения. Снижение рисков развития аварийных ситуаций и связанных с ними повреждений на 100 % обеспечивает дополнительную экономию в размере 1,9 млн руб. без учёта ущерба, связанного с нарушением графика движения поездов. При этом суммарная экономия по единичной тяговой подстанции за счёт снижения потерь электроэнергии (2,314 млн руб./год) и сокращения величины ущерба от коротких замыканий (1,9 млн руб./год) составит $\approx 4,2$ млн руб./год.

По результатам оценки суммарного объёма ущерба в денежном выражении, причиной которого в силу конструктивных и эксплуатационных особенностей контактной сети является высокая частота возникновения коротких замыканий, с использованием представленных выше выражений (1)–(7) выполнен расчёт сроков окупаемости инвестиционных затрат по внедрению РЖФА-6500 на тяговых подстанциях сети



Рис. 2. График окупаемости инвестиционных затрат.



ОАО «РЖД». Результаты расчёта имеют графическое (см. рис. 2) и отражённое в таблице 2 численное представление.

Суммарный эффект от внедрения РЖФА-6500 может быть определён при следующих допущениях:

1. Протяжённость участков постоянного тока на сети железных дорог России ~ 23 000 км.

2. Число тяговых подстанций постоянного тока (из расчёта 1 подстанция на 15 км пути) ~ 1500.

3. Количество реакторов на подстанции — 1.

Таким образом, суммарная экономия ОАО «РЖД» при условии внедрения РЖФА-6500 на всех тяговых подстанциях постоянного тока может составить 4200 тыс. руб. • 1500 = 6,3 млрд руб./год со сроком окупаемости чуть менее трёх лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые расчёты показали, что внедрение реакторов нового типа с пониженным омическим сопротивлением при сроке окупаемости около трёх лет обладает высокой инвестиционной привлекательностью. Помимо этого, такое внедрение обеспечивает ранее недостижимые технические эффекты, связанные с безопасностью движения поездов и отказоустойчивостью силового оборудования и токоведущих частей. Несмотря на то, что многие сопутствующие эффекты напрямую не удаётся оценить, сравнительная эффективность эксплуатации РЖФА-6500 оказалась достаточно высокой. Актуализация полученных результатов может быть выполнена

по итогам опытно-промышленной эксплуатации устройства.

ЛИТЕРАТУРА

- Бей Ю. М., Мамошин Р. Р., Пупынин В. Н. Тяговые подстанции. — М.: Транспорт, 1986. — 319 с.
- Давыдова И. К., Попов Б. И., Эрлих М. В. «Справочник по эксплуатации тяговых подстанций и постов секционирования». 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1978. — 416 с.
- Федоров А. А., Попов Ю. П. Эксплуатация электрооборудования промышленных предприятий. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 280 с.
- Дураков Д. Н., Лобынцев В. В., Устинов В. С., Бадёр М. П., Шорников Э. Н., Бурсук В. И. Моделирование процессов отключения токов короткого замыкания в тяговой сети постоянного тока с использованием нового реактора сглаживающего фильтроустройства РЖФА-6500 // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2018. — № 6. — С. 13–18.
- СТО Газпром РД 1.12-096-2004.
- НК РФ. Глава 30 «Порядок исчисления налога на имущество организаций».
- Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике от 21.06.1999 г. № ВК477.
- СНиП 4.02-91 «Сборник сметных норм и расценок на строительные-монтажные работы», Сборник 28 «Железные дороги».
- Тарифы на электроэнергию в Екатеринбурге и Свердловской области. С 1 июля 2018 года. [www/energovopros.ru/spravochnik/elektrosnab_zhenie/tarify-na-elektroenergiju/sverdlovskaya_oblast/50765/](http://energovopros.ru/spravochnik/elektrosnab_zhenie/tarify-na-elektroenergiju/sverdlovskaya_oblast/50765/).
- Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог (ЦЭ-868). — М.: Транспорт, 2002. — 184 с.
- Электрические железные дороги: Учебник / Под ред. В. П. Феоктистова, Ю. Е. Просвирина. — Самара: СамГАПС, 2006. — 312 с.
- Фрайфельд А. В., Бондарев Н. А., Марков А. С. Устройство, монтаж и эксплуатация контактной сети. — М.: Транспорт, 1986. — 336 с.
- Вашурин А. А., Лапин В. Б., Прусаков М. Б. Справочник электромеханика тяговой подстанции. — М.: Транспорт, 1964. — 425 с.