

УДК 621.316.722

DOI 10.46960/2658-6754_2021_3_23

ПЕРЕКЛЮЧАЕМАЯ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩАЯ УСТАНОВКА НА ПОСТУ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Л.А. Герман

филиал Самарского государственного университета путей сообщения
в Нижнем Новгороде
Нижний Новгород, Россия
e-mail: lagerman@mail.ru

В.П. Гончаренко

ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: vpg@nfenergo.ru

А.А. Карabanов

ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: karabanov@nfenergo.ru

А.В. Ковтун

ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: kovtun@nfenergo.ru

В настоящее время для повышения пропускной способности на постах секционирования тяговой сети устанавливают статические генераторы реактивной мощности (СГРМ), которые имеют недостатки: повышенные потери мощности и завышенную стоимость.

Целью данной работы является усовершенствование установки СГРМ, а именно: снижение потери мощности в системе тягового электроснабжения с одно-временным снижением капитальных затрат на установку. С этой целью уменьшают мощность регулируемой СГРМ, а избыточную мощность заменяют на параллельно установленную нерегулируемую установку емкостной компенсации и фильтрации такой же мощности с резонансными фильтрами на 150 Гц или на 150 и 250 Гц, образуя комплексную систему регулируемой установки компенсации и фильтрации. Измеряют напряжения на тяговых шинах подстанций и поста секционирования и, в зависимости от потерь напряжения до поста секционирования, реализуют режимы «стабилизации напряжения» или «минимума потерь мощности» в тяговой сети.

Ключевые слова: поперечная компенсация реактивной мощности, пропускная способность, переключаемая фильтрокомпенсирующая установка.

Для цитирования: Герман, Л.А. Переключаемая фильтрокомпенсирующая установка на посту секционирования контактной сети / Л.А. Герман, В.П. Гончренко, А.А. Карабанов, А.В. Ковтун // Интеллектуальная электротехника. 2021. № 3. С. 23-36. DOI: 10.46960/2658-6754_2021_3_23

SWITCHABLE COMPENSATION AND FILTRATION SYSTEM ON TRACK SECTIONING CABIN

L.A. German

Branch of the Samara State University of Railway Transport in Nizhny Novgorod
Nizhny Novgorod, Russia
e-mail: lagerman@mail.ru

V.P. Goncharenko

NIEFA-ENERGO, LLC
Saint Petersburg, Russia
e-mail: vpg@nfenergo.ru

A.A. Karabanov

NIEFA-ENERGO, LLC
Saint Petersburg, Russia
e-mail: karabanov@nfenergo.ru

A.V. Kovtun

NIEFA-ENERGO, LLC
Saint Petersburg, Russia
e-mail: kovtun@nfenergo.ru

Abstract. Currently, for the purpose of increasing throughput of railways, electrified with 25 kV AC, there are static VAR generators (SVGs) installed in the catenary section points. Such SVGs have several flaws, such as increased power loss and higher cost price.

The purpose of this article is the SVG enhancement, such as decreasing power losses in the traction network, as well as reducing its cost price. To achieve this, the power of the adjustable SVG is decreased by a certain value, and instead an unregulated filtering and compensating device is installed of the same power value, with resonance filters for 150 Hz and 250 Hz frequencies, thus forming a complex adjustable compensation and filtration system. The voltage at the substation and the catenary section points are measured, and depending of the voltage loss, several operation modes, such as “voltage stabilization” or “power loss minimization”, are possible.

Keywords: railway throughput, VAR compensation, switchable compensation and filtration system.

For citation: L.A. German, V.P. Goncharenko, A.A. Karabanov and A.V. Kovtun, "Switchable compensation and filtration system on track sectioning cabin", *Smart Electrical Engineering*, no. 3, pp. 23-36, 2021. DOI: 10.46960/2658-6754_2021_3_23

1. Постановка задачи

В последние годы для повышения пропускной способности железной дороги на посту секционирования включают регулируемую установку поперечной емкостной компенсации (КУ) [1-3]. В [4, 5] представлены статический генератор реактивной мощности (СГРМ) и его модернизированный вариант, обеспечивающий пропуск тяжеловесных и скоростных поездов в соответствии с заданным графиком движения. Однако, на наш взгляд, возможен другой вариант применения установок поперечной емкостной компенсации для повышения пропускной способности железной дороги: включение на посту секционирования Переключаемой фильтрокомпенсирующей установки (ФКУ), хорошо зарекомендовавшей себя на консольном участке тяговой сети Сергач-Шумерля Горьковской ж.д. в течение уже многих лет. В связи с тем, что изменилась система экономического анализа принимаемых решений, рыночные методы ведения национальной экономики заставляют более тщательно оценивать решения по инвестициям [6]. Далее рассмотрим технические характеристики Переключаемой ФКУ и ее технико-экономические преимущества.

Необходимость регулирования мощности установки на ПС определяется тем, что при увеличении ее номинальной мощности свыше 3 Мвар напряжение на ПС превышает установленное 29 кВ, и приходится ее аварийно отключать. Для реализации регулирования мощности КУ предложен новый класс регулируемых установок ФКУ, сформированных из последовательно соединенных индуктивно-емкостных секций [5]. Регулирование мощности установки выполняется путем шунтирования (расшунтирования) секций (рис. 1). В частности, если в трехсекционной ФКУ [5] зашунтировать коммутационными аппаратами К1 и К2 секции С2-Л2 и С3-Л3, сопротивление ФКУ уменьшается и будет определяться одной секцией С1-Л1, при этом ток и генерируемая мощность ФКУ увеличиваются. Переключаемые ФКУ представляют по сути своей регулируемые многоступенчатые установки [4].

Уточним некоторые технические решения переключаемой ФКУ. При этом будем соблюдать основные принципы управления систем тягового электроснабжения [7]:

- работа конденсаторов большую часть времени на пониженном напряжении, что существенно повышает их надежность;

- возможность формировать всю установку ФКУ из сколь угодно малых мощностей;
- возможность формировать секции КУ на пониженное напряжение (например, на 23-25 кВ), что позволяет осуществить форсированный режим ФКУ;
- возможность использования для регулирования мощности ФКУ коммутационных аппаратов на пониженное напряжение (в частности, для КУ, включаемых на шины 27,5 кВ, можно использовать выключатели на 10 кВ).

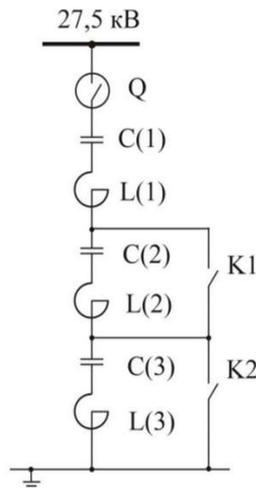


Рис. 1. ФКУ с последовательно соединенными индуктивно-емкостными секциями

Fig. 1. Compensation and filtration system with series-connected inductive-capacitive sections

Рассматриваемая регулируемая ФКУ решает следующие задачи:

- при снижении тяговой нагрузки и повышении напряжения на шинах ФКУ до недопустимого значения 29 кВ переключением ФКУ на минимальную мощность, вплоть до отключения всей установки нормализуется напряжение в тяговой сети и соответственно на шинах ФКУ;
- при изменении нагрузки от минимального значения до максимальной мощность ФКУ регулируется по заданному алгоритму: по алгоритму стабилизации напряжения на шинах КУ или по алгоритму минимизации потерь электроэнергии и т.д.;

- при снижении напряжения на шинах ФКУ до 23-24 кВ вводится режим форсированного режима, когда за счет снижения последовательно соединенных конденсаторов повышается ток, а, следовательно, и мощность КУ.

Переключаемая ФКУ решает еще одну важную задачу. По отраслевым нормативам ее мощность выбирается по условию соблюдения пропускной способности. Однако для соблюдения требований по компенсации реактивной мощности и снижения активных потерь электроэнергии требуемая мощность в 1,5-2 раза меньше. Поэтому практически большую часть времени работает ФКУ пониженной мощности, и только при проходе тяжеловесных поездов включается ФКУ повышенной мощности. Таким образом, переключаемая ФКУ выполняет два указанных условия по мощности ФКУ.

Практически значима двухсекционная переключаемая ФКУ, разберем два варианта ее исполнения.

II. Переключаемая ФКУ с вакуумным выключателем 10 кВ

На Горьковской ж.д. разработана и более семи лет успешно используется в тяговой сети переменного тока переключаемая ФКУ с последовательным соединением секций [8]. Схема переключаемой ФКУ в настоящее время работает на тяговой подстанции Шумерля и подключена на консоль контактной сети системы 2х25 кВ участка Сергач – Шумерля (рис. 2).

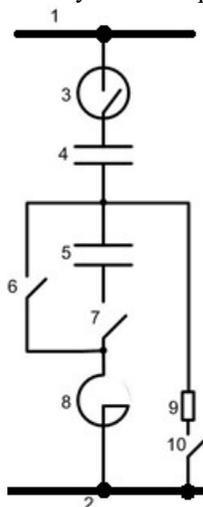


Рис. 2. Переключаемая ФКУ с вакуумными выключателями

Fig. 2. Switchable compensation and filtration system with vacuum switches

Переключения секций выполняет вакуумный выключатель ВВВ-10 кВ. Обычно в работе две последовательно включенные секции, а при увеличении нагрузки в тяговой сети и снижении напряжения в конце до 24-25 кВ отключается (шунтируется) вторая (дополнительная) секция, увеличивается ток и мощность установки и, следовательно, повышается напряжение на посту секционирования и в контактной сети. Для надежной работы вакуумного выключателя и соблюдения его заводского ресурса суточное число переключений ограничивают до 5-7 раз (максимальное – до 10-14).

В предлагаемой схеме ФКУ на рис. 2 приняты следующие обозначения: 1 – шины 27,5 кВ; 2 – рельсы; 3 – первый выключатель; 4 и 5 – первая и вторая секции конденсаторной батареи ФКУ; 6 – четвертый выключатель; 7 – третий выключатель; 8 – фильтровый реактор; 9 – пусковой резистор; 10 – второй выключатель. Схема показана с одним реактором на две ступени.

Главные аспекты предложенного технического решения следующие.

1. Пусковой резистор включается параллельно реактору при коммутации ФКУ, т.е. при включении (отключении) ФКУ.

2. При отключении второй секции конденсаторной батареи третий выключатель ее отключает, а не шунтирует.

3. Схема построена так, чтобы перенапряжения при коммутации ФКУ с помощью вакуумных выключателей не превышали допустимых норм на конденсаторы.

Рассмотрим все возможные схемные варианты состояния ФКУ:

Вариант А. Покажем последовательность включения ФКУ пониженной мощности с первой (4) и второй (5) секциями (исходная позиция – выключатели 3, 6, 7, 10 – отключены).

1. Включить выключатель 7.
2. Включить выключатель 10.
3. Включить выключатель 3.
4. Отключить выключатель 10.

Вариант Б. Последовательность переключения на большую мощность ФКУ, т.е. отключение второй секции 5 после включения ФКУ по п. А.

1. Включить выключатель 10.
2. Отключить выключатель 7.
3. Включить выключатель 6.
4. Отключить выключатель 10.

Вариант В. Переключение ФКУ с большой мощности на меньшую, т.е. подключить вторую секцию 5 после выполнения операций по п. Б.

1. Включить выключатель 10.

2. Отключить выключатель 6.
3. Включить выключатель 7.
4. Отключить выключатель 10.

Вариант Г. Отключение ФКУ. Исходная позиция по п. В (включены выключатели 3, 7, отключены выключатели 10 и 6).

1. Включить выключатель 10.
2. Отключить выключатель 3.
3. Отключить выключатель 7.

Все проверочные расчеты и запись осциллограмм по определению коммутационных перенапряжений на оборудовании (рис. 3) выполнены для следующих параметров конденсаторов первой и второй секций конденсаторной батареи, реактора и пускового резистора. Принимаем, что в схеме все выключатели несинхронизированные. В качестве пускового резистора применен бетэловый резистор, сопротивление 80 (60) Ом [4]. Применены конденсаторы КЭК-2-1,05-60. В первой секции 4 конденсаторной батареи 32 последовательно включенных рядов конденсаторов, всего 96 конденсаторов). Во второй секции 5-12 последовательно включенных конденсаторов, всего 36 конденсаторов. Включен фильтровый реактор 8 ФРОМ-3200- 35, использована отпайка на 107 мГн. Длительность коммутационных переключений (т.е. отключение-включение ФКУ и переключение второй секции 5) не превышает 0,5 с.

При снятии напряжения на шинах 27,5 кВ при любой причине следует отключить ФКУ. Рассмотрим все указанные варианты состояния ФКУ с точки зрения перенапряжений на элементах схемы по осциллограмме, зафиксированной на переключаемой ФКУ на подстанции Шумерля. Начало переключения (включается резистор 9 выключателем 10) – отметка времени 0. Отметка времени 120 мс – отключение выключателя 7 и быстрый разряд конденсаторов секции С2 за счет подключенных трансформаторов напряжения (на рис. 3 – не показаны), и далее на отметке времени 190 мс – включение выключателя 6. Окончание переключения – отключается резистор 9 на отметке времени 500 мс.

1. Включение ФКУ по п. А происходит при параллельном соединении пускового резистора с реактором и в соответствии с [4] и с учетом влияния тяговой нагрузки перенапряжения будут превосходить 10 %. Осциллограмма (рис. 3) подтверждает спокойный без перенапряжений процесс включения ФКУ.

2. Аналогично без перенапряжений происходит и процесс включения второй секции 5 в п. Б (для подключения пускового резистора 9), так как в этом случае резистор 60 Ом шунтирует цепочку реактора 8 с последовательно соединенной второй секцией 5 конденсаторной батареи.

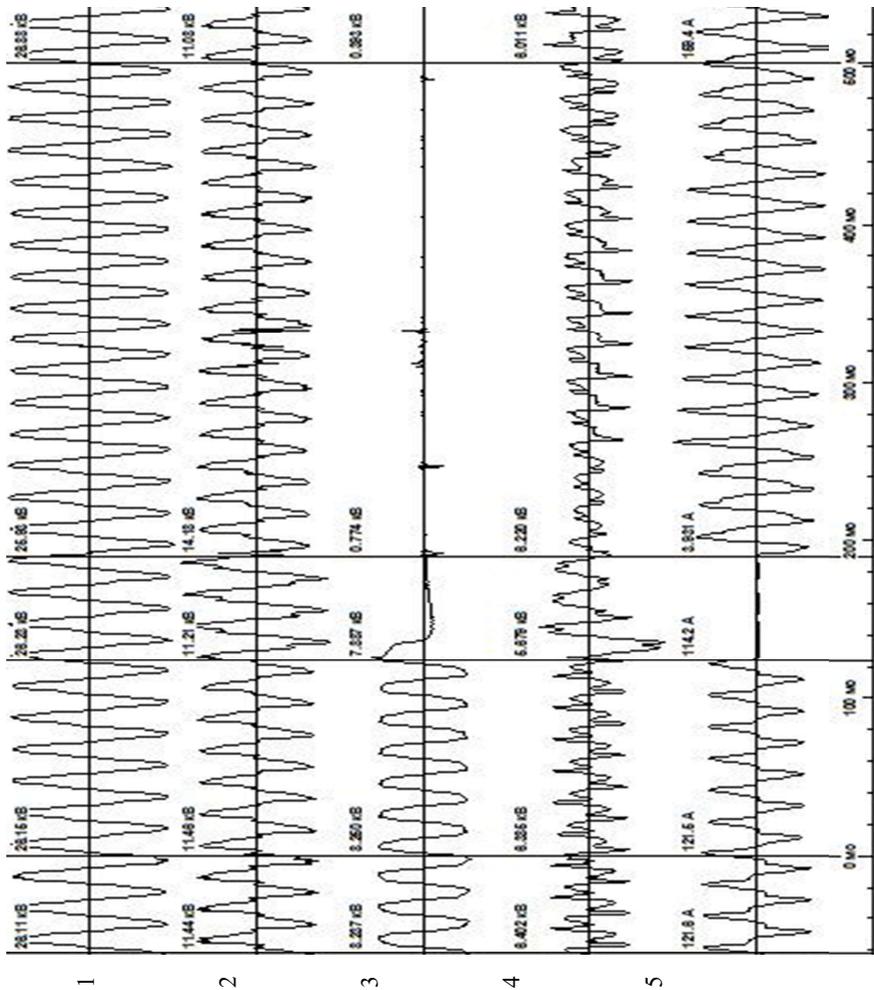


Рис. 3. Процесс переключения секции C2 в ФКУ:

- 1 – напряжение шин КУ; 2 – напряжение в точке 0 соединения C1 и C2;
 3 – напряжение на секции C2; 4 – напряжение на реакторе; 5 – ток реактора

Fig. 3. The process of switching section C2 in compensation and filtration system:
 1 – compensation unit bus voltage; 2 – voltage at point 0 of the connection of C1 and C2;
 3 – voltage on section C2; 4 – voltage across the reactor; 5 – reactor current

3. В п. В отключение второй секции 5 вакуумным выключателем 7 происходит надежно при включенном пусковом резисторе 9 выключателем 10.

4. Наконец, в п. Г вакуумный выключатель 3 надежно без перенапряжений отключает ФКУ.

Таким образом, предлагаемое схемное решение обеспечивает переключения ФКУ без перенапряжений, что доказано на прилагаемой осциллограмме. Весь процесс переключения занимает 0,5 с, что допустимо по длительности работы резистора. Как видно по осциллограмме, процесс переключения происходит спокойно, без бросков тока и напряжения, что доказывает правильность принятого схемного решения. При переключении ток увеличился с 121,6 до 172,7 А, т.е. в 1,42 раза, а напряжение в контактной сети у ФКУ повысилось с 26,11 до 26,91 кВ, то есть на 800 В. Укажем, что при повышении тока ФКУ можно добиться большего повышения напряжения в контактной сети.

В основной секции С1 оставлены 32 ряда конденсаторов, как обычно в нерегулируемой ФКУ. Если бы уменьшить число рядов в С1, например, до 25-26, пришлось бы более часто переключать ступени ФКУ, что для работы с контактными вакуумными выключателями по условиям эксплуатации решено не делать. В настоящее время среднесуточное число переключений ступеней ФКУ 5-7 и не превышает 10-14 раз. Однако на участках, где требуется большее число переключений, переключаемое ФКУ выполняется с тиристорным ключом ТК (рис. 4). Однако авторы считают, что в связи со сравнительно небольшой стоимостью тиристорного ключа (не более 5 % от стоимости ФКУ), существенного упрощения схемы регулирования и повышения качества напряжения в тяговой сети целесообразно все переключаемые ФКУ оснащать тиристорными ключами.

III. Переключаемая ФКУ с тиристорным ключом.

Схема переключаемой ФКУ с тиристорным ключом на рис. 4 показана в общем виде с двумя индуктивно-конденсаторными секциями, которые обеспечивают во всех режимах нормативную настройку ФКУ на резонансную частоту 135-142 Гц [4]. На рис. 4 введены следующие обозначения: Q1 – головной выключатель 27,5 кВ; L1 и С1 первая секция из конденсатора С1 и реактора L1; С2 и L2 – вторая секция из конденсатора С2 и реактора L2; ТК – тиристорный ключ; R – демпфирующий резистор; Q2 – вакуумный выключатель 10 кВ; ТТ – трансформатор тока; БУ – блок управления тиристорным ключом.

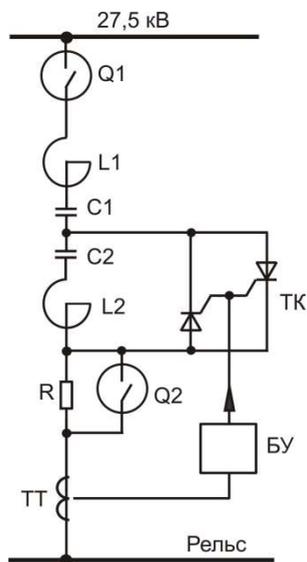


Рис. 4. Переключаемая ФКУ с тиристорным ключом

Fig. 4. Switchable compensation and filtration system with thyristor key

Если используется реактор ФРОМ-35 при мощности ФКУ до 5 Мвар, возможен вариант без L2, т.е. в этом случае реализуется переключаемая ФКУ с одним реактором. Такой вариант удобен в эксплуатации, так как тогда достаточно просто модернизировать существующие КУ с одним реактором в переключаемые. Конечно, в этой схеме при пониженной мощности (включены обе секции) будет соблюдаться нормативная настройка в 135-142 Гц, а при повышенной мощности резонансная настройка будет ниже 130 Гц, но это не будет ухудшать надежность установки.

Покажем процесс включения ФКУ на пониженную мощность (предварительно все выключатели отключены, тиристорный ключ отключен): включается Q1, а затем Q2. Переключение на повышенную мощность: включается ТК в нуль тока, т.е. остается в работе только секция C1-L1.

Итак, общий вывод по переключаемой ФКУ: если в качестве переключателя секций использовать вакуумный выключатель, схема должна быть выполнена по рис. 2, если использовать тиристорный ключ – реализуется схема по рис. 4.

IV. Обсуждение результатов

При переходе на повышенное напряжение (при шунтировании второй секции) возможны броски повышенного напряжения на токоприемнике электровоза. Для предотвращения этого предложено включение тиристора (т.е. шунтирование секции) производить постепенно, а именно: вводить фазовое регулирование, при этом в течение 0,3-0,5 с изменяется фаза на управляющем электроде тиристора от 100 до 0 электрических градусов. Указанное предотвращает резкое повышение напряжения на токоприемнике.

Существующие КУ на постах секционирования логично модернизировать в переключаемые ФКУ. Для этого следует смонтировать дополнительную вторую секцию и добавить переключатели. Для оценки, где переходить на тиристорные ключи в переключаемой ФКУ, следует провести проверку их работы на реальных участках. Но уже сейчас ясно, что на равнинных участках можно использовать в качестве переключателей вакуумные выключатели, суточное число переключений не будет превышать 10-14 раз. Однако, учитывая сравнительно малую стоимость ТК, существенное упрощение схемы и автоматики и улучшение качества напряжения в контактной сети целесообразно переходить на переключаемые ФКУ с тиристорным ключом [7].

Большинство КУ на существующих постах секционирования работают с мощностью 4-5 Мвар. Поэтому для повышения пропускной способности достаточно увеличить эту мощность в 1,3-1,6 раз, то есть до 5-8 Мвар, что реализуется переключаемыми ФКУ. Однако при необходимости большей мощности на посту секционирования, по всей видимости, целесообразно переходить на плавнорегулируемые установки компенсации, например, СГРМ.

Технико-экономические расчеты эффективности установок компенсации целесообразно выполнять по методикам [4, 9, 10].

V. Выводы

1. Предложен новый тип регулируемой ФКУ с последовательным соединением секций, отличающийся от традиционного с параллельным включением секций, и имеющий ряд технико-экономических преимуществ. Длительные эксплуатационные испытания на действующем участке контактной сети доказали надежность нового типа регулируемой ФКУ.

2. Целесообразно все существующие установки емкостной компенсации на постах секционирования перевести на переключаемые ФКУ мощностью до 6-8 Мвар с целью повышения пропускной способности железной дороги и экономичного режима тяговой сети.

Перевод на переключаемые ФКУ реализуется путем монтажа дополнительной индуктивно-конденсаторной секции и его переключателя на 10 кВ.

3. Переключатель может выполняться в виде вакуумного выключателя или тиристорного ключа. В связи со сравнительно небольшой стоимостью тиристорного ключа, существенного упрощения схемы регулирования мощности и повышения качества напряжения в тяговой сети целесообразно все переключаемые ФКУ оснащать тиристорными ключами.

4. При мощности ФКУ на посту секционирования более 8-10 Мвар целесообразно включение модернизированного варианта СГРМ по разработкам авторов [4].

© Герман Л.А., 2021

© Гончаренко В.П., 2021

© Карabanов А.А., 2021

© Ковтун А.В., 2021

Поступила в редакцию 29.07.2021

Received 29.07.2021

Библиографический список

- [1] Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
- [2] Тер-Оганов Э.В., Пышкин А.А. Электроснабжение железных дорог. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. – 431 с.
- [3] Мамошин Р.Р. Повышение качества энергии на тяговых подстанциях переменного тока. М.: Транспорт, 1973. – 224 с.
- [4] Герман Л.А. Повышение пропускной способности железной дороги с установкой компенсации реактивной мощности // Вестник ВНИИЖТ. 2021. Т. 80. № 1. С. 35-44. DOI: 10.21780/2223-9731-2021-80-1-35-44
- [5] Герман Л.А., Субханвердиев К.С., Герман В.Л. Автоматизация электроснабжения тяговой сети переменного тока. Ч. 2. Режимная автоматика. Н. Новгород: Самарский гос. ун-т путей сообщения в г. Нижний Новгород, 2020. – 192 с.
- [6] Ковалев И.Н. Электроэнергетические системы и сети. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 363 с.
- [7] Жарков Ю.И., Овласюк В.Я., Сергеев Н.Г., Сухопрудский Н.Д., Шилов А.С. Автоматизация систем электроснабжения. М.: Транспорт, 1990. – 359 с.
- [8] Герман Л.А., Серебряков А.С., Гончаренко В.П., Якунин Д.В., Максимова А.А., Маралова В.А., Дулепов Д.Е. Установка ступенчатая поперечной емкостной компенсации, Пат. 2656368 RU, заявл. 01.07.2016, опубл. 05.06.2018. – Бюлл. № 16.
- [9] Карташов И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Шаров Ю.В., Насыров Р.Р. Управление качеством электроэнергии. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.

- [10] Гапанович В.А. [и др]. Энергосбережение на железнодорожном транспорте. М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 620 с.

References

- [1] K.G. Marquardt, *Elektrosnabzhenie elektrificirovannyh zheleznyh dorog [Electricity supply for electrified railways]*. Moscow: Transport, 1982 (in Russian).
- [2] E.V. Ter-Oganov and A.A. Pyshkin, *Elektrosnabzhenie zheleznyh dorog [Railroad power supply]*. Ekaterinburg: USURT, 2014 (in Russian).
- [3] R.R. Mamoshin, *Povyshenie kachestva energii na tyagovyh podstanciyah peremennogo toka [Improving power quality in AC traction substations]*. Moscow: Transport, 1973 (in Russian).
- [4] L.A. German, “Increasing railway capacity with the installation of reactive power compensation”, *VNIIZHT Scientific Journal*, vol. 80, no. 1, pp. 35-44, 2021. DOI: 10.21780/2223-9731-2021-80-1-35-44
- [5] L.A. German, K.S. Subkhanverdiev and V.L. German, *Avtomatizaciya elektrosnabzheniya tyagovoj seti peremennogo toka. Chast' 2. Rezhimnaya avtomatika [Automation of AC traction power supply. Part 2. Regime automation]*. Nizhny Novgorod: SSTU Branch in Nizhny Novgorod, 2020 (in Russian).
- [6] I.N. Kovalev, *Elektroenergeticheskie sistemy i seti [Electric power systems and networks]*. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution "Educational and Methodical Center for Education in Railway Transport", 2015 (in Russian).
- [7] Yu.I. Zharkov, V.Ya. Ovlasyuk, N.G. Sergeev, N.D. Suhoprudskij and A.S. Shilov, *Avtomatizaciya sistem elektrosnabzheniya [Automation of power supply systems]*. Moscow: Transport, 1990 (in Russian).
- [8] L.A. German, A.S. Serebryakov, V.P. Goncharenko, D.V. Yakunin, A.A. Maksimova, V.A. Maralova and D.E. Dulepov, “Stepwise transverse capacitive compensation device”, Patent RU 2656368. June 05, 2018 (in Russian).
- [9] I.I. Kartashov, V.N. Tul'skij, R.G. Shamonov, Yu.V. Sharov and P.P. Nasyrov, *Upravlenie kachestvom elektroenergii [Power quality management]*. Moscow: Publishing house MPEI, 2006 (in Russian).
- [10] V.A. Gapanovich et al, *Energoberezhenie na zheleznodorozhnom transporte [Energy saving in railway transport]*. Moscow: MISIS, 2012 (in Russian).

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

Герман Леонид Абрамович, доктор технических наук, профессор филиала Самарского государственного университета путей сообщения в Н. Новгороде, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Leonid A. German, D. Sci. (Eng.), professor of the Branch of the Samara State University of Railway Transport in N. Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Гончаренко Владимир Павлович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по специальным проектам ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Vladimir P. Goncharenko, Cand. Sci. (Eng.), deputy general director for special projects of the NIIIEFA-ENERGO LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

Карабанов Артем Александрович, директор проектно-конструкторского управления ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Artem A. Karabanov, director of design and engineering department of the NIIIEFA-ENERGO LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

Ковтун Алексей Владимирович, кандидат технических наук, заместитель директора по науке ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Aleksey V. Kovtun, Cand. Sci. (Eng.), deputy director for science of the NIIIEFA-ENERGO LLC, Saint Petersburg, Russian Federation