

15. Molchanova E.D., Ivanova S.V. Analiz sushchestvuyushchikh metodik otsenki klientoorientirovannosti gruzovykh perevozok na zhelezнодорожном транспорте [Analysis of existing methods of assessing the customer focus of freight transportation in rail transport]. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transsib: na ostrie reform» [Materials of the international scientific-practical conference “Transsiberian: at the forefront of reforms”], 2016, Vol. 1, pp. 4–46.

Информация об авторах

Иванова Софья Владимировна – аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sofya-ivanova-1988@mail.ru

Молчанова Елена Дмитриевна – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Управление качеством и инженерная графика», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mailto:mlchnv@irgups.ru

Information about the authors

Sofya V. Ivanova – Postgraduate Student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sofya-ivanova-1988@mail.ru

Elena D. Molchanova – Ph.D., assistant professor, head of the department, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mailto:mlchnv@irgups.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).119-128

УДК 62-567.5:536.7

Резервное электроснабжение объектов железнодорожного транспорта на базе технологий интеллектуальных сетей

В. П. Закарюкин¹✉, **А. В. Крюков**^{2,3}, **И. А. Любченко**²

¹ ООО «Smart grid», г. Иркутск, Российская Федерация

² Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

³ Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ zakar49@mail.ru

Резюме

На железнодорожном транспорте есть объекты, определяющие эффективность и безопасность перевозочного процесса. Их относят к потребителям электроэнергии, требующим реализации системы электроснабжения повышенной надежности от трех источников питания. В современных условиях число таких потребителей растет. В качестве третьего источника, как правило, используются дизельные электростанции, эксплуатация которых требует расхода дорогого энергоресурса. В статье предложен альтернативный способ организации гарантированного электроснабжения таких объектов от контактной сети 25 кВ с применением технологий интеллектуальных сетей («Smart grid»). При этом в состав систем электроснабжения входят следующие устройства: преобразователь числа фаз по обращенной схеме Штейнмеца, служащий для получения симметричной трехфазной системы напряжений; активный кондиционер гармоник, позволяющий снижать гармонические искажения, создаваемые электровозами; управляемый источник реактивной мощности с пределами ее регулирования $-10...+10$ Мвар, поддерживающий требуемый уровень напряжения в точке подключения питающей потребитель линии. Компьютерные исследования проведены с помощью программного комплекса «Fazonord», предназначенного для моделирования режимов электроэнергетических систем и систем электроснабжения железных дорог в фазных координатах. Расчетная модель реализована для систем электроснабжения двухпутного участка железной дороги с шестью тяговыми подстанциями. Полученные результаты позволили сделать определенные выводы. Во-первых, надежное и качественное электроснабжение может быть реализовано только на основе комплексного использования активных элементов, таких как преобразователь числа фаз, активный кондиционер гармоник и источник реактивной мощности. При отсутствии источника реактивной мощности наблюдаются существенные колебания напряжений на выходе преобразователя, а также заметная несимметрия, почти достигающая предела нормально допустимых значений. Суммарный коэффициент гармоник напряжений при отсутствии активного фильтра превышает 20 %, а форма кривой напряжения существенно отклоняется от синусоиды. Во-вторых, при наличии всего комплекса устройств достигается высокое качество электроэнергии на подстанции потребителя. В-третьих, моделирование показывает невысокую чувствительность рассматриваемой схемы преобразователя к погрешностям регулирования параметров. В-четвертых, имеющиеся отклонения напряжений, связанные с ограниченными пределами реактивной мощности ($-10...+10$ Мвар), носят кратковременный характер и не превышают 5 % от номинального значения. В-пятых, моделирование показывает, что передача электроэнергии по однопроводной линии возможна на значительное расстояние, достигающее 25 км.

Ключевые слова

электроснабжение нетяговых потребителей, преобразователь Штейнмеца, управляемые источники реактивной мощности, активные кондиционеры гармоник

Для цитирования

Закарюкин В. П. Резервное электроснабжение объектов железнодорожного транспорта на базе технологий интеллектуальных сетей / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, И. А. Любченко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 65 № 1. – С. 119–128. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).119-128

Информация о статье

поступила в редакцию: 24.12.2019, поступила после рецензирования: 20.01.2020, принята к публикации: 10.02.2020

Backup power supply of railway transport facilities based on intelligent network technologies**V. P. Zakaryukin** ¹✉, **A. V. Kryukov** ^{1,2}, **I. A. Lyubchenko** ¹¹ "Smart grid" OOO, Irkutsk, the Russian Federation² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation³ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ zakar49@mail.ru

Abstract

There are objects in the railway transport that are of particular importance for the organization of the transportation process. They are classified as electricity consumers, requiring the implementation of an electricity supply system of increased reliability from three power sources. In modern conditions, the number of these consumers is growing. As a third source, diesel power plants are usually used, the operation of which requires the consumption of expensive energy resources. The article proposes an alternative way of organizing guaranteed power supply of such facilities from a 25 kV contact network using smart grid technologies. The electricity supply system includes the following devices: a phase number converter according to the Steinmetz reversed circuit, which is designed to convert a single-phase voltage into a symmetric three-phase system; active harmonic conditioner, which allows one to reduce the harmonic distortions created by electric locomotives; a controlled source of reactive power with the reactive power control range of $-10 \dots + 10$ Mvar, which maintains the required voltage level at the point of connection of the line supplying the consumer. Computer studies were carried out using the Fazonord software package, designed to simulate the modes of electric power systems and railway power supply systems in phase coordinates. The calculation model is implemented for the electricity supply system of a two-track railway section with six traction substations. The results obtained allowed us to formulate the following conclusions: – reliable and high-quality power supply can be realized only on the basis of the integrated use of active elements, such as a phase number converter, active harmonic conditioner, and reactive power source. In the absence of the reactive power source, significant fluctuations in the voltage at the converter output are observed, as well as a noticeable asymmetry that almost reaches the limit of normal acceptable values. The total voltage harmonic coefficient in the absence of an active filter exceeds 20 %, and the shape of the voltage curve deviates significantly from the sine wave; – in the presence of the whole complex of devices, high quality of electricity is achieved at the consumer substation; – the modeling shows a low sensitivity of the converter circuit under consideration to parameter control errors; – the existing voltage deviations associated with the narrow limits of the reactive power source ($-10 \dots + 10$ Mvar) are of a short-term nature and do not exceed 5 % of the nominal value; – the modeling shows that the transmission of electricity through a single-wire line is possible for a considerable distance, reaching 25 km.

Keywords

power supply to non-traction consumers, the Steinmetz converter, controlled reactive power sources, active harmonics conditioners

For citation

Zakaryukin V. P., Kryukov A. V., Lyubchenko I. A. Rezervnoe elektrosnabzhenie ob"ektov zheleznodorozhnogo transporta na baze tekhnologii intellektual'nykh setei [Backup power supply of railway facilities based on intelligent network technologies]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 65, No. 1, pp. 119–128. 10.26731/1813-9108.2020.1(65).119-128

Article Info

Received: 24.12.2019, Revised: 20.01.2020, Accepted: 10.02.2020

Введение

Важным условием эффективности процессов перевозок является гарантированное и качественное электроснабжение ответственных объектов железной дороги [1–9]. Их выделяют в особую группу потребителей электроэнергии первой категории. К таким объектам, к примеру, относят посты электрической и диспетчерской централизации, нарушение работы которых может привести к возникновению угрозы жизни людей, а также нанести большой экономический ущерб [10–15].

Традиционно для обеспечения резервного электроснабжения перечисленных объектов используются

автоматизированные дизель-генераторные установки, эксплуатация которых требует расхода дорогого энергоресурса. Современные технологии интеллектуальных сетей [16] дают возможность реализации альтернативного способа организации такого электроснабжения непосредственно от контактной сети (КС).

В статье приведены результаты компьютерных исследований, подтвердившие возможность реализации предлагаемой системы электроснабжения (СЭС). В ее состав входят следующие устройства:

– преобразователь числа фаз по обращенной схеме Штейнмеца [17], для получения симметричной трехфазной системы напряжений (рис. 1);

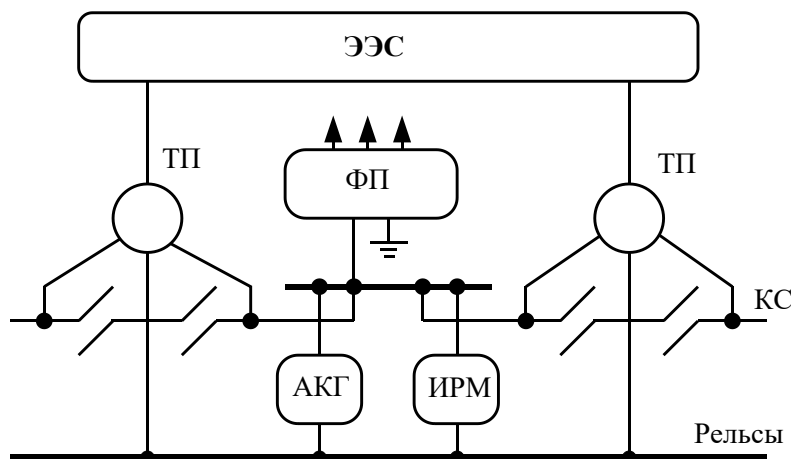


Рис. 1. Схема системы электроснабжения:

ФП – преобразователь числа фаз, реализованный по схеме Штейнмеца;
 АКГ – активный кондиционер гармоник; ИРМ – регулируемый источник реактивной мощности;
 ТП – тяговая подстанция; ЭЭС – питающая электроэнергетическая система

Fig. 1. The scheme of the power supply system:

PNC - phase number converter, implemented according to the Steinmetz circuit;
 AHC - active harmonics conditioner; CRPS - controlled reactive power source;
 TS - traction substation; PSS - power supply system

– активный кондиционер гармоник (АКГ) [16, 18], позволяющий снижать гармонические искажения, создаваемые электровозами;

– управляемый источник реактивной мощности (ИРМ) [1, 16] с пределами регулирования реактивной мощности $-10...+10$ Мвар, поддерживающий уровень напряжения 28 кВ в точке подключения линии, питающей потребитель.

Надежное и качественное электроснабжение может быть реализовано только на основе комплексного использования активных элементов, входящих в состав предполагаемой СЭС.

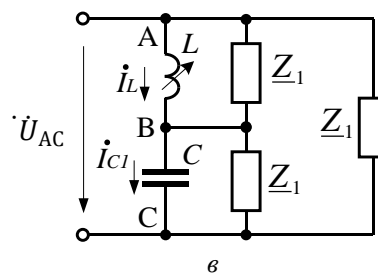
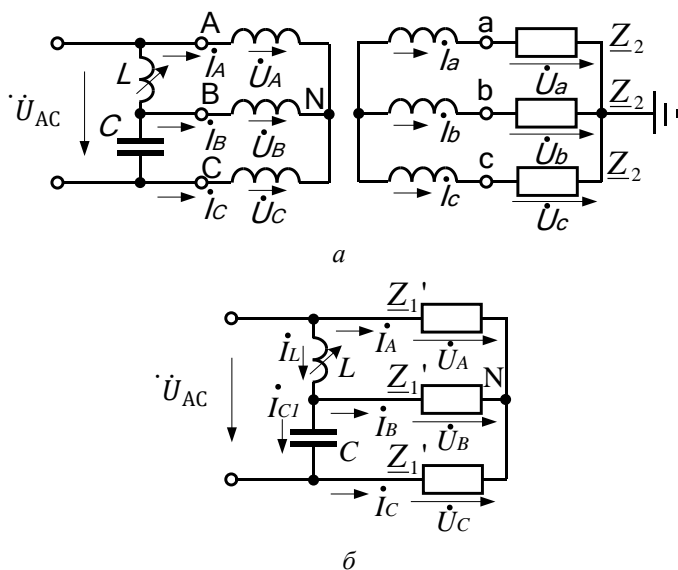


Рис. 2. Обращенная схема Штейнмеца:

a – исходная; б – схема замещения;

v – преобразованная схема замещения

Fig. 2. The reversed Steinmetz circuit:

a - source; b - equivalent circuit;

c - transformed equivalent circuit

Для схемы Штейнмеца проведен анализ возможности преобразования однофазного напряжения в симметричную трехфазную систему (см. рис. 2, a). При отсчетах углов напряжений относительно фазы АВ формулы для напряжений можно записать следующим образом:

$$\dot{U}_{AB} = Ue^{j0^\circ}; \dot{U}_{BC} = \underline{a}^2U;$$

$$\dot{U}_{CA} = \underline{a}U; \dot{U}_{AC} = -\underline{a}U,$$

$$\text{где } \underline{a} = e^{j120^\circ} = -0,5 + \frac{j\sqrt{3}}{2}.$$

Пересчет сопротивления нагрузки $\underline{Z}_2 = R_2 + jX_2$ на первичную цепь осуществляется через коэффициент трансформации k_T (см. рис. 2, б):

$$\underline{Z}_1' = k_r^2 \underline{Z}_2 = R_1' + jX_1'$$

Звезду нагрузки удобнее преобразовать в треугольник (см. рис. 2, в):

$$\underline{Z}_1 = 3\underline{Z}_1' = R_1 + jX_1,$$

две фазы которого образованы параллельным соединением элементов:

$$\underline{Z}_{AB} = \frac{jX_L \underline{Z}_1}{jX_L + \underline{Z}_1}; \quad \underline{Z}_{BC} = \frac{-jX_C \underline{Z}_1}{-jX_C + \underline{Z}_1}.$$

Токи фаз AB и BC определяются питающим напряжением и смещены относительно друг друга на угол 120°:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AB} &= \dot{I}_{BC} = \frac{-\underline{a}U}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC}}; \\ \dot{I}_{AB} \underline{Z}_{AB} &= \underline{a} \dot{I}_{BC} \underline{Z}_{BC}, \\ \frac{jX_L}{jX_L + \underline{Z}_1} &= \left(-0,5 + \frac{j\sqrt{3}}{2} \right) \frac{-jX_C}{-jX_C + \underline{Z}_1}. \end{aligned}$$

Разделение вещественных и мнимых частей уравнения приводит к следующему решению:

$$\frac{X_L}{R_1} = \frac{b\sqrt{3} - (b-2)\operatorname{tg}\varphi}{3b}; \quad X_C = bX_L,$$

$$\text{где } b = \frac{\sqrt{3} - \operatorname{tg}\varphi}{\sqrt{3} + \operatorname{tg}\varphi}.$$

Полученное решение может быть записано через мощности:

$$P_H = \frac{U^2}{R_1(1 + \operatorname{tg}^2\varphi)};$$

$$Q_L = \frac{U^2}{X_L}; \quad Q_C = \frac{U^2}{X_C};$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_H}{P_H};$$

$$\frac{Q_L}{P_H} = \frac{3b(1 + \operatorname{tg}^2\varphi)}{b\sqrt{3} - (b-2)\operatorname{tg}\varphi}; \quad \frac{Q_C}{Q_L} = \frac{X_L}{X_C} = \frac{1}{b}.$$

Методика моделирования

Исследования проведены с помощью программного комплекса «Fazonord» [19, 20], предназначенного для моделирования режимов электроэнергетических систем и систем электроснабжения железных дорог в фазных координатах. Расчетная модель реализована для тяговой сети двухпутного участка с шестью тяговыми подстанциями. Далее показан фрагмент расчетной схемы с моделью однофазно-трехфазного преобразователя (рис. 3).

Система тягового электроснабжения получает питание от сети 110 кВ, связанной на районных подстанциях с параллельной линией 220 кВ. Сеть 220 кВ характеризуется близостью больших генерирующих мощностей. Участок дороги имеет сложный горно-перевальный профиль с уклонами до 17 ‰, для которого характерны большое электропотребление при движении на подъем и значительные рекуперации при движении под уклон.

Предполагается электроснабжение нетягового потребителя от контактной сети по однопроводной линии длиной 0,1 км, выполненной проводом АС-300 и присоединенной к контактной сети на пункте параллельного соединения. Для анализа влияния тяговой нагрузки на режим однофазно-трехфазного

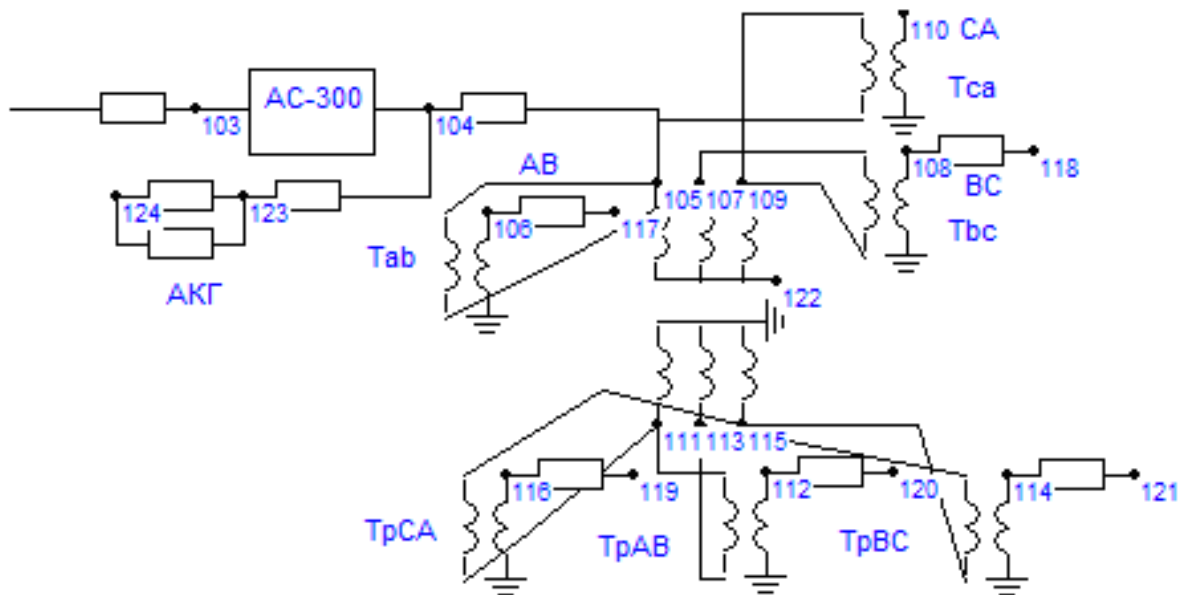


Рис. 3. Фрагмент расчетной схемы
Fig. 3. A fragment of the calculational scheme

преобразователя рассмотрено движение 40 поездов массами от 2 700 до 6 000 т в четном и нечетном направлениях (рис. 4). Приведен токовый профиль четного поезда массой 6 000 т (рис. 5).

Преобразователь числа фаз смоделирован схемой Штейнмеца на базе RL-элементов AB и BC с сопротивлениями $j 1 100$ Ом, подключенных через разделительные трансформаторы T_{ab} , T_{bc} . Вторые узлы RL-элементов содержат шунты на землю большой проводимости. Нагрузки трехфазного трансформатора ТМ-1000-27,5/11 представлены чисто активными с сопротивлениями 300 Ом, включенными на линейные напряжения. Разделительные трансформаторы с коэффициентами трансформации, равными единице, позволяют получать величины линейных напряжений и подключать нагрузки в узлах вторичных обмоток.

Результаты моделирования

Ниже представлены результаты моделирования (табл.), (рис. 6–12).

Таблица. Значения коэффициента несимметрии по обратной последовательности k_{2U} %
Table. The values of the asymmetry coefficient in the reverse order k_{2U} %

Режим	$k_{2U_{min}}$ %	$k_{2U_{mid}}$ %	$k_{2U_{max}}$ %
Источник реактивной мощности и активный кондиционер гармоник отсутствуют	0,77	0,83	1,91
Источник реактивной мощности	0,77	0,77	1,14

Проиллюстрирована динамика изменений фазных напряжений на стороне 10 кВ преобразователя (рис. 6, 7), видно, что при отсутствии ИРМ имеют место

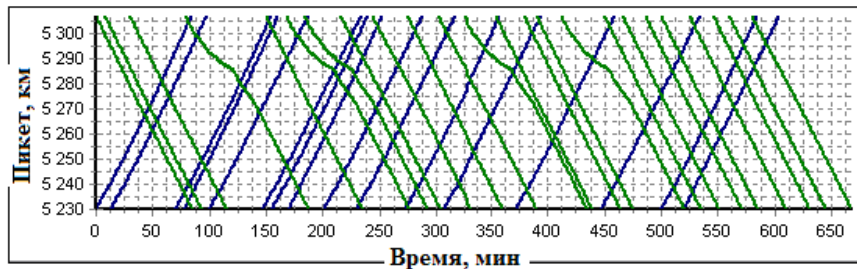


Рис. 4. График движения поездов

Fig. 4. Train schedule

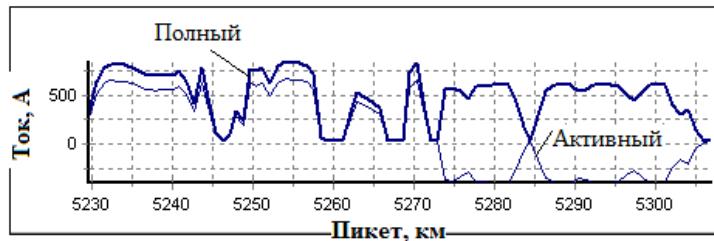


Рис. 5. Токвый профиль четного поезда массой 6 000 т

Fig. 5. The current profile of an even train weighing 6,000 tons

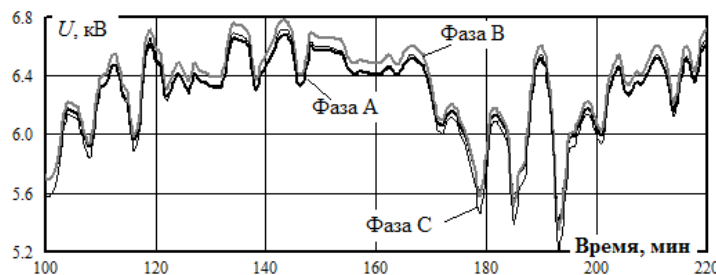


Рис. 6. Динамика изменений фазных напряжений на стороне 10 кВ

преобразователя Штейнмеца при отсутствии источника реактивной мощности

Fig. 6. Dynamics of changes in phase voltages on the 10 kV side of the Steinmets converter with lack of reactive power source

значительные колебания напряжения в диапазоне 5,3–6,8 кВ. При включении ИРМ напряжения стабилизируются. Из-за ограниченного регулировочного диапазона ИРМ наблюдаются кратковременные снижения напряжения, относительные значения которых не превышают 5 %.

Показана динамика изменений напряжений на токоприемнике четного поезда массой 6 000 т при включенном и отключенном ИРМ (рис. 8).

Представлены графики изменений коэффициента несимметрии k_{2U} на стороне 10 кВ преобразователя (рис. 9), приведены аналогичные графики для суммарного коэффициента гармоник (рис. 10, 11). Построены зависимости для двух вариантов – при включенном и отключенном ИРМ. Аналогично графики k_U представлены при включенном и отключенном АКГ.

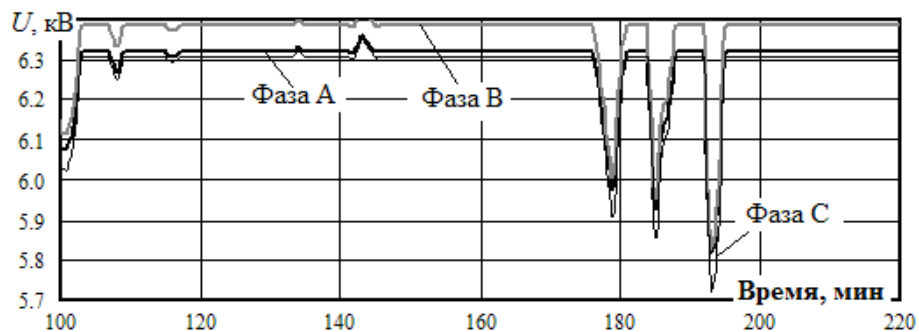


Рис. 7. Динамика изменений напряжений на стороне 10 кВ преобразователя Штейнмеца при наличии источника реактивной мощности

Fig. 7. Dynamics of voltage changes on the 10 kV side of the Steinmetz converter with a reactive power source

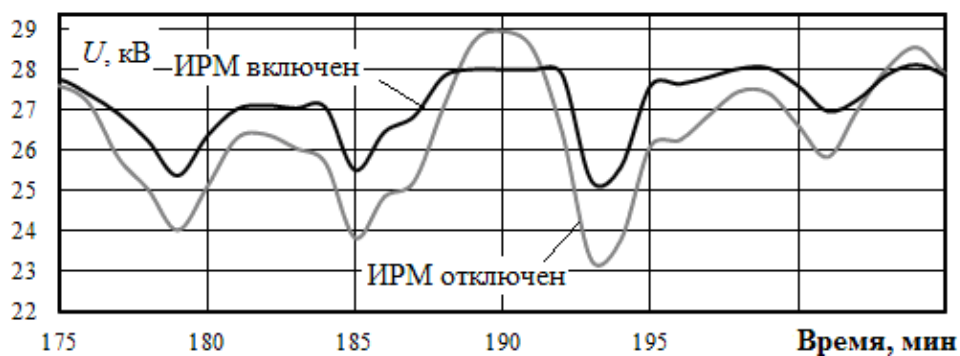


Рис. 8. Динамика изменений напряжений на токоприемнике четного поезда массой 6 000 т

Fig. 8. The dynamics of voltage changes on the current collector of the even train weighing 6,000 tons

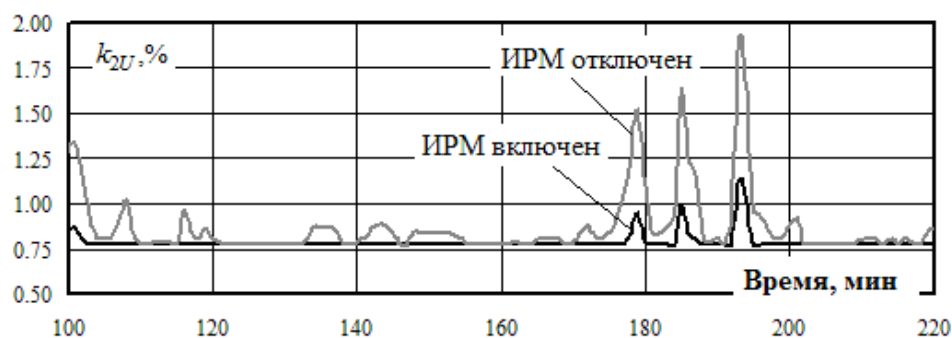


Рис. 9. Динамика изменений коэффициента несимметрии k_{2U} на стороне 10 кВ преобразователя Штейнмеца

Fig. 9. The dynamics of changes in the asymmetry coefficient k_{2U} on the side of the 10 kV Steinmetz converter

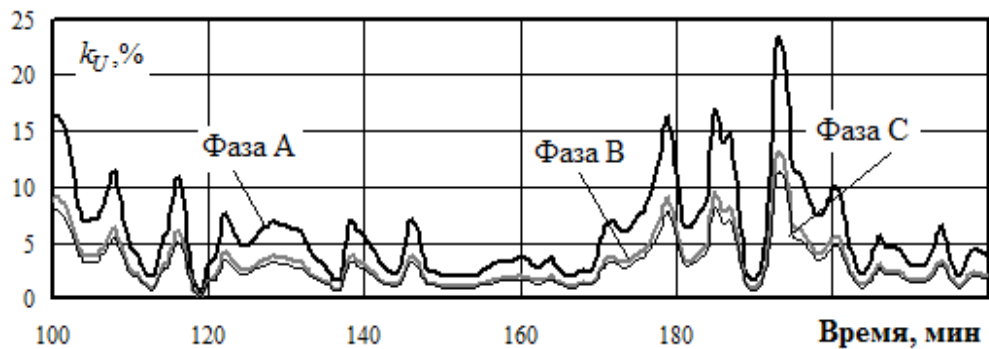


Рис. 10. Динамика изменений суммарного коэффициента гармоник на стороне 10 кВ преобразователя Штейнмеца при отсутствии активного кондиционера гармоник

Fig. 10. The dynamics of changes in the total harmonic coefficient on the side of the 10 kV Steinmetz converter in the absence of an active harmonic conditioner

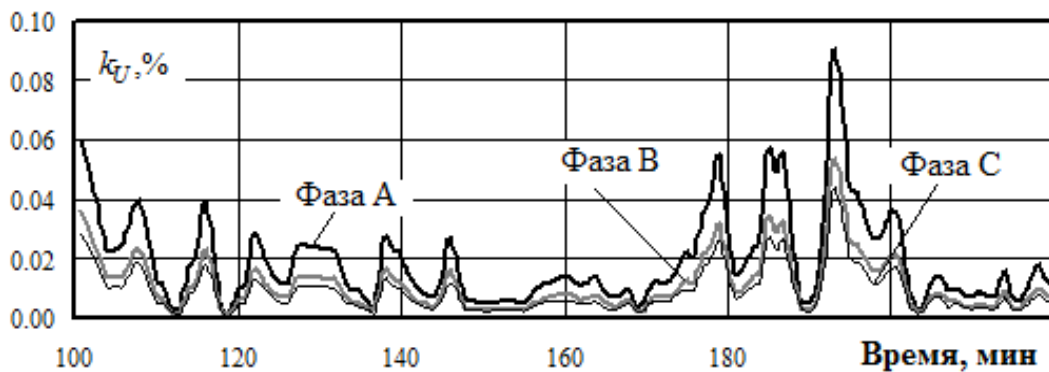


Рис. 11. Динамика изменений суммарного коэффициента гармоник на стороне 10 кВ преобразователя при наличии активного кондиционера гармоник

Fig. 11. Dynamics of changes in the total harmonic coefficient on the 10 kV side of the converter in the presence of an active harmonic conditioner

Ниже показаны формы кривых напряжения фазы А на шинах 10 кВ для 193-й минуты моделирования (рис. 12). Видно, что при отключенном АКГ форма

кривой напряжения существенно искажается. При включенном активном фильтре кривая напряжения практически синусоидальная.

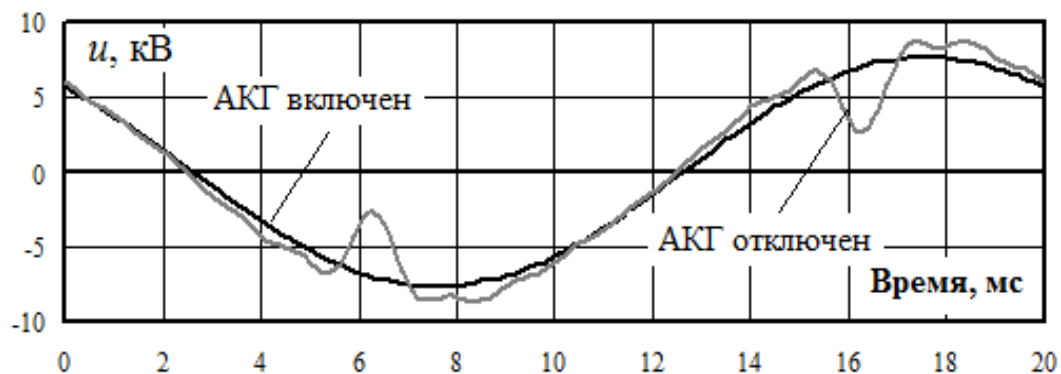


Рис. 12. Формы кривых напряжения фазы А на шинах 10 кВ для 193-й минуты моделирования

Fig. 12. Forms of phase A voltage curves on 10 kV buses for the 193rd minute of modeling

Представленные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Надежное и качественное электроснабжение может быть реализовано путем комплексного использования активных элементов, таких как преобразователь числа фаз, АКГ и ИРМ. При отсутствии ИРМ наблюдаются существенные колебания напряжений на выходе преобразователя (см. рис. 6), а также заметная несимметрия (см. рис. 9), почти достигающая предела нормально допустимых значений. Суммарный коэффициент гармоник напряжений при отсутствии активного фильтра превышает 20 % (см. рис. 10), а форма кривой напряжения существенно отклоняется от синусоиды (см. рис. 12).

2. При наличии всего комплекса устройств достигается высокое качество электроэнергии на подстанции потребителя (см. рис. 7, 9, 11).

3. Моделирование показывает низкую чувствительность схемы преобразователя к погрешностям регулирования параметров.

4. Показанные имеющиеся отклонения напряжений, связанные с ограниченными пределами реактивной мощности ИРМ (–10...+10 Мвар) (см. рис. 7),

носят кратковременный характер и не превышают 5 % от номинального значения.

5. Дополнительным положительным эффектом применения ИРМ является поддержка уровня напряжения на токоприемниках поездов (см. рис. 8).

6. Моделирование показывает, что передача электроэнергии по однопроводной линии возможна на значительное расстояние, достигающее 25 км.

7. Зависимости значений получаемых параметров режима от длины однопроводной линии не проявляются.

Заключение

На основе технологий интеллектуальных сетей может быть реализовано резервное электроснабжение трехфазных потребителей от однофазной контактной сети 25 кВ с применением устройства преобразования числа фаз, сформированного по обращенной схеме Штейнмеца. Устранение гармонических искажений, создаваемых выпрямительными электродами, осуществляется посредством активного кондиционера высших гармоник. Для поддержания уровня напряжения может быть использован управляемый ИРМ.

Список литературы

- Герман Л.А., Серебряков А.С. Регулируемые установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. 315 с.
- Тер-Оганов Э.В., Пышкин А.А. Электроснабжение железных дорог. Екатеринбург : УрГУПС, 2014. 432 с.
- Третьяков Е.А. Исследование компонент интеллектуальной системы электроснабжения нетяговых потребителей // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте. Омск, 2014. С. 76–83.
- Третьяков Е.А. Мультиагентное управление распределением электрической энергии в системе электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Наука и образование в XXI веке: теория, практика, инновации. М.: АР-Консалт, 2014. С. 45–48.
- Третьяков Е.А. Повышение экономичности и пропускной способности системы электроснабжения за счет управления режимами и внедрения современного оборудования и материалов // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 3-1. С. 139–142.
- Третьяков Е.А. Регулирование параметров режима в системе электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Омский научный вестник. 2015. № 2 (140). С. 155–159.
- Третьяков Е.А. Эффективность накопителей электроэнергии в распределительных сетях железных дорог // Россия молодая: передовые технологии в промышленность. 2013. № 2. С. 347–349.
- Третьяков Е.А., Малышева Н.Н. Моделирование установившихся режимов системы электроснабжения нетяговых потребителей // Совершенствование электромеханических преобразователей энергии. Омск, 2010. С. 54–61.
- Валияхметова В.К., Николаев В.Л., Власова В.А. Повышение надежности электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Современные инновации в науке, образовании и технике. 2018. С. 27–29.
- Шеломенцев А.О., Косьяков А.А. Совершенствование организации проектирования систем электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта и распределительных сетей общего пользования // Инновационный транспорт. 2012. № 5 (6). С. 15–19.
- Определение энергетической эффективности электрооборудования нетяговых железнодорожных потребителей с помощью имитационного моделирования при проектировании / А.В. Дробов, В.Н. Галушко, А.А. Алферов [и др.] // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2017. № 2 (69). С. 95–105.
- Мухарямов Р.И., Добрынин Е.В., Окладов С.А. Автоматизация контроля текущего состояния системы электроснабжения нетяговых потребителей железнодорожного транспорта // Наука и образование транспорту. 2015. № 1. С. 136–138.
- Ожиганов Н.В. Повышение качества электроэнергии для ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. 2012. № 1. С. 22–26.
- Орешков Е.В. Управление качеством электроэнергии в распределительных сетях железнодорожного транспорта // Качество в производственных и социально-экономических системах. Курск, 2018. С. 106–109.
- Определение энергетической эффективности электрооборудования нетяговых железнодорожных потребителей с помощью имитационного моделирования при проектировании / А.В. Дробов, В.Н. Галушко, А.А. Алферов [и др.] // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2017. № 2 (69). С. 95–105.

16. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Черепанов А.В. Интеллектуальные технологии управления качеством электроэнергетики. Иркутск: ИрГТУ, 2015. 218 с.
17. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование систем электроснабжения с трехфазно-однофазными преобразователями // Вестник ИрГТУ. Т. 22. № 5. 2018. С. 122–133.
18. Ермоленко А.В., Ермоленко Д.В. Перспективы применения современных устройств активной фильтрации для нормализации качества электрической энергии в системе электрической тяги переменного тока // Вестник ВНИИЖТ. № 5. 2009. С. 7–12.
19. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Изд-во Иркут. унта. 2005. 273 с.
20. Zakaryukin V. P., Kryukov A. V. Multifunctional Mathematical Models of Railway Electric System // Innovation & Sustainability of Modern Railway-Proceedings of ISMR'2008. Beijing China Railway Publishing House, 2008. P. 504–508.

References

1. German L.A., Serebryakov A.S. Reguliruemye ustanovki emkostnoi kompensatsii v sistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog [Adjustable capacitive compensation installations in railway traction power supply systems]. Moscow: FSBEI "Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport" Publ., 2013, 315 p.
2. Ter-Oganov E.V., Pyshkin A.A. Elektrosnabzhenie zheleznykh dorog [Railway power supply]. Ekaterinburg: UrGUPS Publ., 2014. 432 p.
3. Tretyakov E.A. Issledovanie komponent intellektual'noi sistemy elektrosnabzheniya netyagovykh potrebitelei [Study of the components of an intelligent power supply system for non-traction consumers]. *Innovatsionnye proekty i tekhnologii v obrazovanii, promyshlennosti i na transporte [Innovative projects and technologies in education, industry and transport]*. Omsk, 2014, pp. 76–83.
4. Tretyakov E.A. Mult'agentnoe upravlenie raspredeleniem elektricheskoi energii v sisteme elektrosnabzheniya netyagovykh potrebitelei zheleznykh dorog [Multi-agent control of electric energy distribution in the power supply system of non-traction railway consumers]. *Nauka i obrazovanie v XXI veke: teoriya, praktika, innovatsii [Science and Education in the XXI Century: Theory, Practice, Innovations]*. Moscow: AR-Konsalt Publ., 2014, pp. 45–48.
5. Tretyakov E.A. Povyshenie ekonomichnosti i propusknoi sposobnosti sistemy elektrosnabzheniya za schet upravleniya rezhimami i vnedreniya sovremennoho oborudovaniya i materialov [Improving the efficiency and throughput capacity of the power supply system by controlling the modes and introducing modern equipment and materials]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii [Modern trends in the development of science and technology]*, 2015, No. 3-1, pp. 139–142.
6. Tretyakov E.A. Regulirovanie parametrov rezhima v sisteme elektrosnabzheniya netyagovykh potrebitelei zheleznykh dorog [Improving the efficiency and throughput of the power supply system by controlling the modes and introducing modern equipment and materials]. *Omskii nauchnyi vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 2015, No. 2 (140), pp. 155–159.
7. Tretyakov E.A. Effektivnost' nakopitelei elektroenergii v raspredelitel'nykh setyakh zheleznykh dorog [Efficiency of electric energy storage in distribution networks of railways]. *Rossiya molodaya: peredovye tekhnologii v promyshlennost' [Young Russia: advanced technologies in industry]*, 2013, No. 2, pp. 347–349.
8. Tretyakov E.A., Malysheva N.N. Modelirovanie ustanovivshikhsya rezhimov sistemy elektrosnabzheniya netyagovykh potrebitelei [Modeling of steady-state modes of a power supply system for non-traction consumers]. *Sovershenstvovanie elektromekhanicheskikh preobrazovatelei energii [Improving electromechanical energy converters]*. Omsk, 2010, pp. 54–61.
9. Valiyakhmetova V.K., Nikolaev V.L., Vlasova V.A. Povyshenie nadezhnosti elektrosnabzheniya netyagovykh potrebitelei zheleznykh dorog [Improving the reliability of power supply to non-traction rail consumers]. *Sovremennye innovatsii v nauke, obrazovanii i tekhnike [Modern innovations in science, education and technology]*, 2018, pp. 27–29.
10. Shelomentsev A.O., Kosyakov A.A. Sovershenstvovanie organizatsii proektirovaniya sistem elektrosnabzheniya netyagovykh potrebitelei zheleznodorozhnogo transporta i raspredelitel'nykh setei obshchego pol'zovaniya [Improving the organization of designing power supply systems for non-traction railway consumers and public distribution networks]. *Innovatsionnyi transport [Innovative Transport]*, 2012, No. 5 (6), pp. 15–19.
11. Drobov A.V., Galushko V.N., Alferov A.A. et al. Opredelenie energeticheskoi effektivnosti elektrooborudovaniya netyagovykh zheleznodorozhnykh potrebitelei s pomoshch'yu imitatsionnogo modelirovaniya pri proektirovanii [Determination of energy efficiency of electrical equipment of non-traction railway consumers using simulation modeling during design]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo [The bulletin of Sukhoi Gomel State Technical University]*, 2017, No. 2 (69), pp. 95–105.
12. Mukharyamov R.I., Dobrynin E.V., Okladov S.A. Avtomatizatsiya kontrolya tekushchego sostoyaniya sistemy elektrosnabzheniya netyagovykh potrebitelei zheleznodorozhnogo transporta [Automation of control of the current state of the power supply system of non-traction consumers of railway transport]. *Nauka i obrazovanie transportu [Science and education for transport]*, 2015, No. 1, pp. 136–138.
13. Ozhiganov N.V. Povyshenie kachestva elektroenergii dlya ZhAT [Improving the quality of electricity for railway automation and telemechanics]. *Avtomatika, svyaz', informatika [Automation, communication, informatics]*, 2012, No. 1, pp. 22–26.
14. Oreshkov E.V. Upravlenie kachestvom elektroenergii v raspredelitel'nykh setyakh zheleznodorozhnogo transporta [Electricity quality management in distribution networks of railway transport]. *Kachestvo v proizvodstvennykh i sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh [Quality in production and socio-economic systems]*. Kursk, 2018, pp. 106–109.
15. Drobov A.V., Galushko V.N., Alferov A.A. et al. Opredelenie energeticheskoi effektivnosti elektrooborudovaniya netyagovykh zheleznodorozhnykh potrebitelei s pomoshch'yu imitatsionnogo modelirovaniya pri proektirovanii [Determination of energy efficiency of electrical equipment of non-traction railway consumers using simulation modeling during designing]. *Vestnik*

Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo [The bulletin of Sukhoi Gomel State Technical University], 2017, No. 2 (69), pp. 95–105.

16. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Cherepanov A.V. Intellektual'nye tekhnologii upravleniya kachestvom elektroenergii [Intelligent energy quality management technology]. Irkutsk: IrGTU Publ., 2015, 218 p.

17. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Modelirovanie sistem elektroснабzheniya s trekhfazno-odnofaznymi preobrazovatelyami [Modeling of power supply systems with three-phase-single-phase converters]. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], Vol. 22, No. 5, 2018, pp. 122–133.

18. Ermolenko A.V., Ermolenko D.V. Perspektivy primeneniya sovremennykh ustroystv aktivnoi fil'tratsii dlya normalizatsii kachestva elektricheskoi energii v sisteme elektricheskoi tyagi peremennogo toka [Prospects for the use of modern active filtering devices to normalize the quality of electric energy in the AC electric traction system]. *Vestnik VNIIZhT* [The Vestnik of the Railway Research Institute], No. 5, 2009, pp. 7–12.

19. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Slozhnonesimmetrichnye rezhimy elektricheskikh sistem [Complex asymmetric modes of electrical systems]. Irkutsk: Irkut. Un-ty Publ., 2005, 273 p.

20. Zakaryukin V. P., Kryukov A. V. Multifunctional Mathematical Models of Railway Electric System. *Innovation & Sustainability of Modern Railway-Proceedings of ISMR'2008*. Beijing China Railway Publishing House, 2008, pp. 504–508.

Информация об авторах

Закарюкин Василий Пантелеймонович – д. т. н., доцент, консультант ООО «Smart grid», г. Иркутск, e-mail: zakar49@mail.ru

Крюков Андрей Васильевич – д. т. н., профессор, кафедра «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения; Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: and_kryukov@mail.ru

Любченко Ирина Алексеевна – аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: lubchenco.i@yandex.ru

Information about the authors

Vasilii P. Zakaryukin – Doctor of Engineering Science, Professor, consultant of Smart Grid OOO, Irkutsk, e-mail: zakar49@mail.ru

Andrei V. Kryukov – Doctor of Engineering Science, Prof., the Subdepartment of кафедра, Irkutsk State Transport University, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: and_kryukov@mail.ru

Irina A. Lyubchenko – Ph.D. student, the Subdepartment of кафедра, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: lubchenco.i@yandex.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).128-136

УДК 338.47

Моделирование оценки качества организации транспортного обслуживания населения

Т. А. Булохова ✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ 677623@mail.ru

Резюме

В Стратегической программе развития железнодорожного транспорта до 2030 г. сделан акцент на развитие клиентоориентированного подхода как одного из условий конкурентоспособности. Клиентоориентированность является одним из элементов антикризисного управления транспортными системами, она дает дополнительные возможности особенно при снижении объемов перевозок, когда необходимо бороться за привлечение клиентов. Клиентоориентированный подход тесно связан с качеством организации транспортного обслуживания клиентов (пассажиров). Реализация данного принципа возможна только при условии отлаженных каналов обратной связи, по которым от пассажира поступает объективная и актуальная оценка качества услуг. С этой целью сектором клиентских услуг и маркетинговой группой Федеральной пассажирской компании с определенной периодичностью проводится анализ качества обслуживания пассажиров. Проведенная автором оценка качества организации транспортного обслуживания пассажиров выявила определенный ряд проблем в этой области. Так, при маркетинговых исследованиях оценка осуществляется по шести критериям, а работниками сектора клиентских услуг по четырем, чем нарушается сопоставимость данных, кроме того, не совпадают периоды проводимой оценки. Для устранения выявленных недостатков автор предлагает использовать методику оценки качества организации транспортного обслуживания пассажиров, выполняемую с помощью корреляционного анализа парной зависимости показателей маркетинговых исследований, с учетом параметров клиентских услуг. Использование корреляционного анализа позволит определить степень зависимости между оцениваемыми показателями с целью дальнейшего их отбора и установления единого перечня критериев для проведения совместного анализа качества транспортного обслуживания.

Ключевые слова

транспортное обслуживание, клиентоориентированность, качество услуг, показатели качества обслуживания, транспортные системы, корреляционный анализ, GAP-анализ