

А.В. Черепанов¹, А.А. Абзаева¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЛИНИИ ДПР И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЕГО УСТРАНЕНИЮ

Аннотация. Проведена оценка влияния тяговой сети на качество электроэнергии в линии ДПР, была разработана модель системы тягового электроснабжения с линией ДПР, проанализировано влияние на показатели качества электроэнергии таких факторов, как вес поезда, типа продольного профиля, вид системы тягового электроснабжения. Проанализировано влияние статического тиристорного компенсатора (СТК) и активного кондиционера гармоник (АКГ) на качества электроэнергии в линии ДПР.

Ключевые слова: качество электроэнергии, ДПР, моделирование

A.V. Cherepanov¹, A.A. Abzaeva¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TRACTION NETWORK ON THE QUALITY OF ELECTRIC POWER IN THE DPR LINE AND DEVELOPMENT OF MEASURES FOR ITS ELIMINATION

Abstract. An assessment of the influence of the traction network on the quality of electricity in the DPR line was carried out, a model of a traction power supply system with a DPR line was developed, the influence on the power quality indicators of such factors as train weight, type of longitudinal profile, type of traction power supply system was analyzed. The influence of a static thyristor compensator (STC) and an active harmonic conditioner (ACH) on the quality of electricity in the DPR line is analyzed.

Keywords: power quality, DPR, modeling

Введение

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на надежность перевозочного процесса, является его обеспечение необходимыми топливно-энергетическими ресурсами, важнейшим из которых является электрическая энергия.

Резкопеременные, однофазные и нелинейные тяговые нагрузки электрифицированных железных дорог в определенных режимах работы могут служить причиной искажения некоторых показателей качества электрической энергии (далее КЭЭ), таких как несимметрия, несинусоидальность и колебания напряжения, как непосредственно в системе электроснабжения железных дорог, так и у запитанных от ее сетей сторонних потребителей.

Наличие перечисленных искажений в линии ДПР приводит к возникновению ряда негативных процессов. К ним относятся: дополнительные потери энергии и мощности, снижение коэффициента полезного действия электроприемников и ухудшение режимов работы потребителей, сокращение срока службы высоковольтного оборудования, негативное электромагнитное влияние на смежные вторичные цепи и устройства, ложные срабатывания систем релейной защиты и автоматики.

В результате чего, необходимость исследования влияния тяговой сети на качество электроэнергии в линии ДПР участка железной дороги имеет особую актуальность для организации мероприятий по устранению негативных процессов, описанных выше.

Моделирование

Моделирование проводилось в ПК КОРТЭС и Fazonord [1-8]. Анализ влияния тяговой нагрузки на качество электроэнергии проводился применительно к двухпутному участку

железной дороги с электрификацией по системе 1х25 кВ и 2х25 кВ, расчетные модели которых показаны на рис. 1, 2.

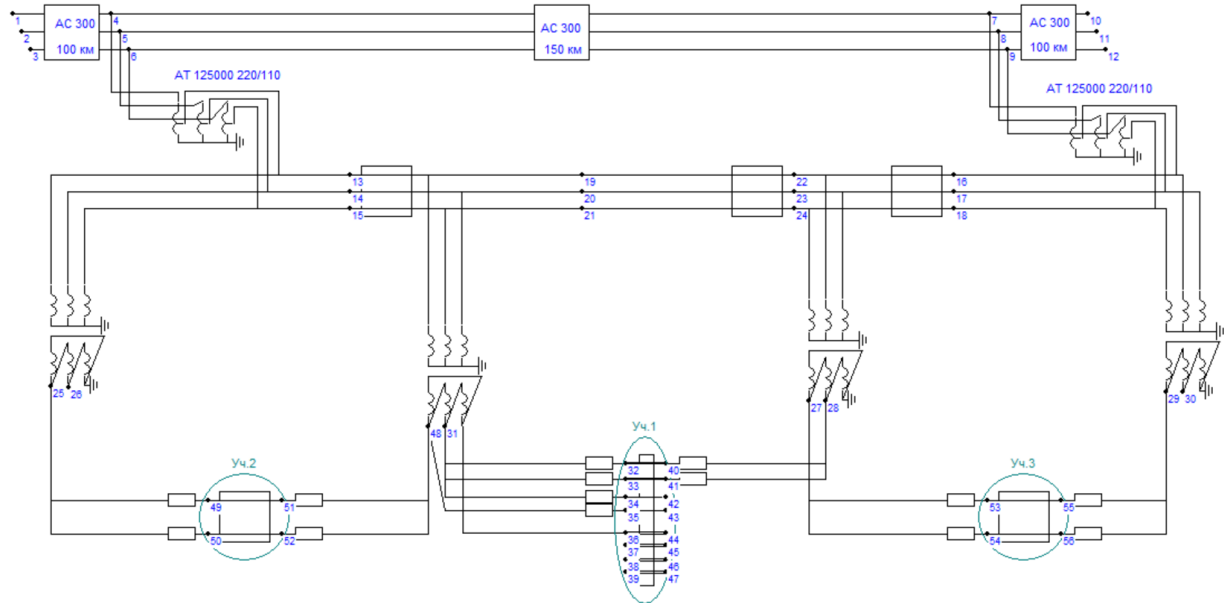


Рис. 1. Расчетная схема

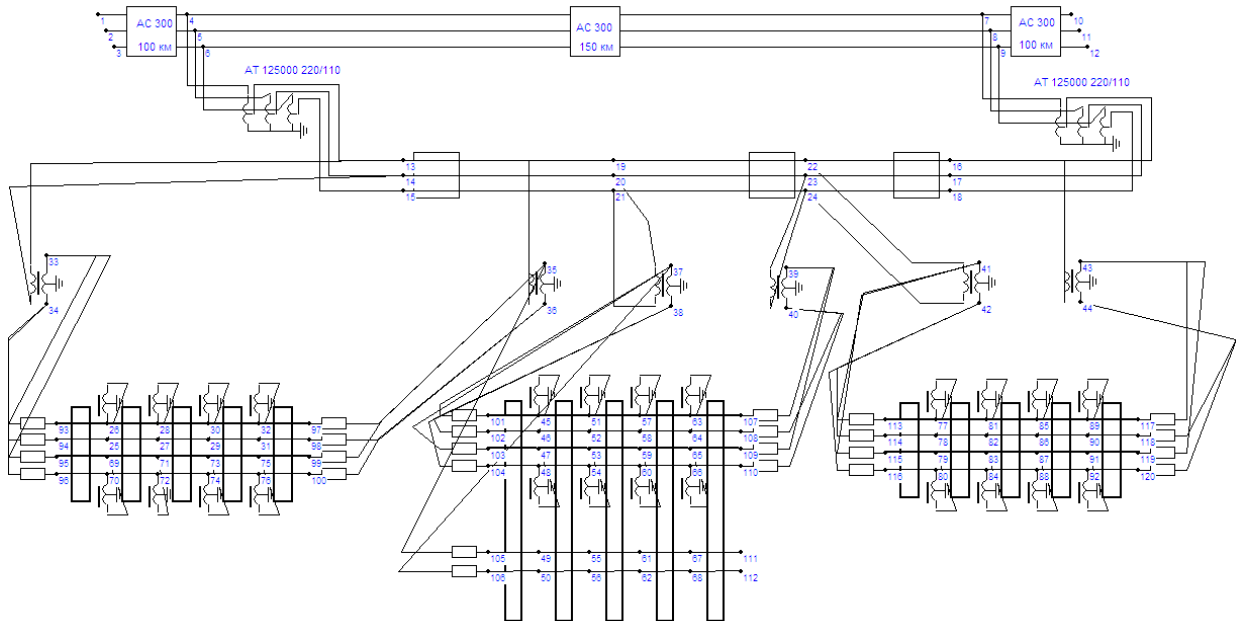
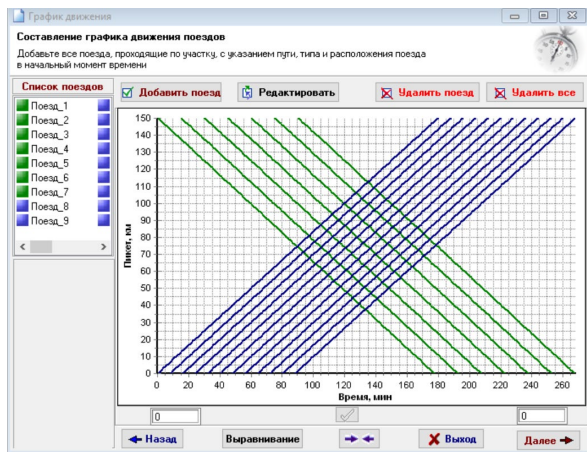


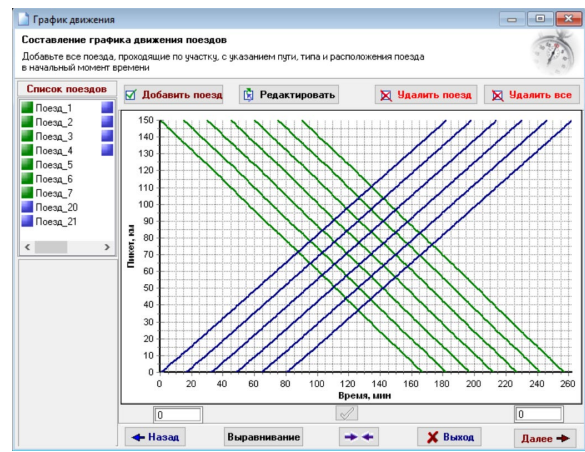
Рис. 2. Расчетная схема

Для определения влияния различных факторов проведем имитационное моделирование движения поездов по заданным участкам и сравним результаты. По полученным результатам построим графики зависимости коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности, напряжения и суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения от времени.

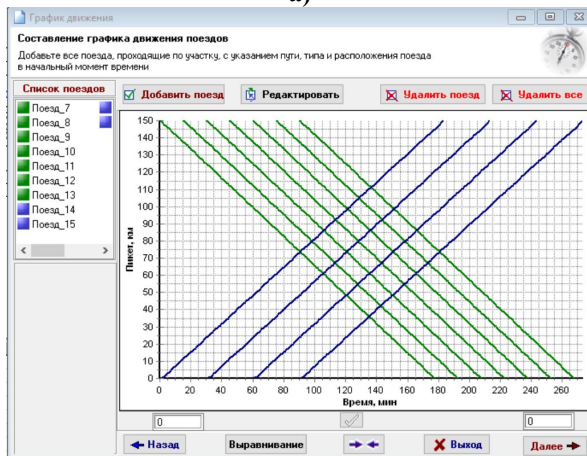
Для определения влияния веса поезда были сформированы графики движения с поездами 3000, 6000, 9000, 12000 тонн в чётном и 4000 тонн в нечетном направлениях. Графики движения показаны на рис. 3. Результаты моделирования представлены на рис. 4-6 и табл. 1-3.



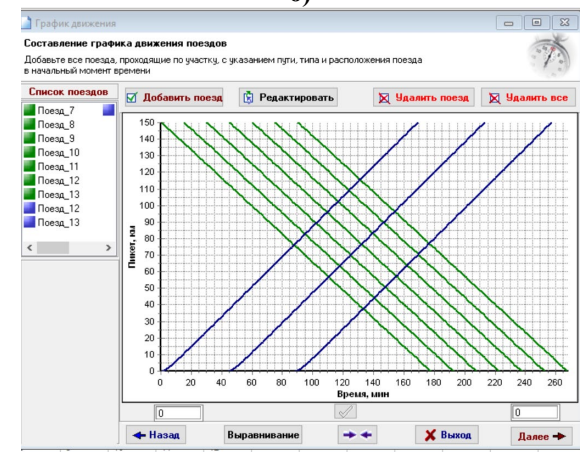
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. График движения поездов 3000(а), 6000(б), 9000(в), 12000(г) тонн

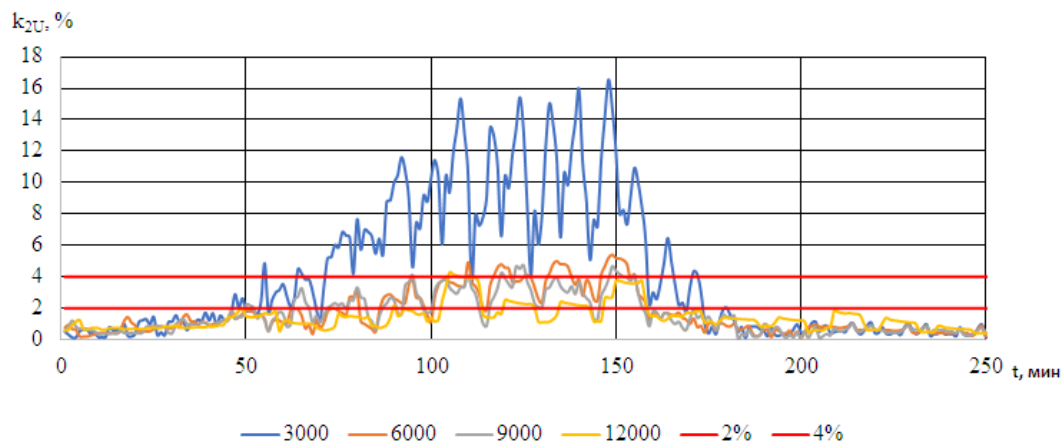


Рис. 4. График зависимости коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности для разных весов поездов

Таблица 1 – Максимальные и средние значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности

Вес поезда	3000т	6000т	9000т	12000т
Максимальное значение k_{2U} , %	16,56	5,42	4,74	4,28
Среднее значение k_{2U} , %	3,99	1,62	1,48	1,35

Из табл. 1 мы видим, что максимальные значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности наблюдаются при весе поезда 3000 т и при всех весах поездов его значение выше предельно допустимого.

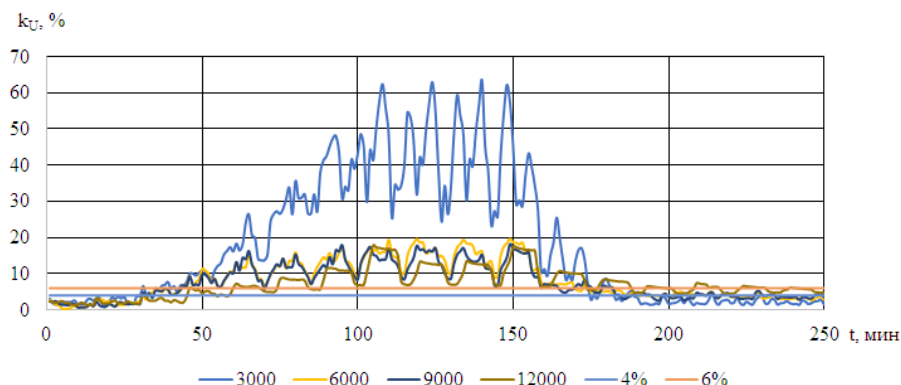


Рис. 5. График суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в 42 узле

Таблица 2 – Максимальные и средние значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в 42 узле при разных весах поездов

Вес поезда	3000 т	6000 т	9000 т	12000 т
Максимальное значение k_U , %	63,3	19,7	18,2	17,9
Среднее значение k_U , %	17,3	8,0	7,3	7,0

Из табл. 2 мы видим, что максимальные значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения наблюдаются при весе поезда 3000 т и при всех весах поездов его значение выше предельно допустимого.

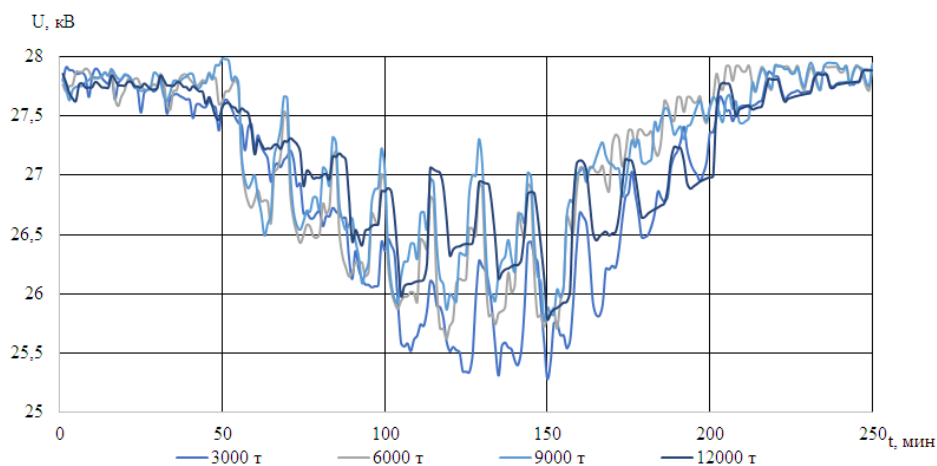


Рис. 6. Изменения напряжения в узле 42

Таблица 3 – максимальные и средние значения весов поездов на равнинном участке

Вес поезда	3000 т	6000 т	9000 т	12000 т
Максимальное значение U , кВ	27,9	27,9	27,9	27,8
Среднее значение U , кВ	26,9	27,2	27,3	27,2

Из табл. 3 видно, что все значения находятся в пределах нормы.

Для определения влияния продольного профиля пути участка было проведено имитационное моделирование движения поездов по равнинному и горно-перевальному участку при графике движения поездов, показанном на рис.3(а). Результаты моделирования представлены на рис. 7-9.

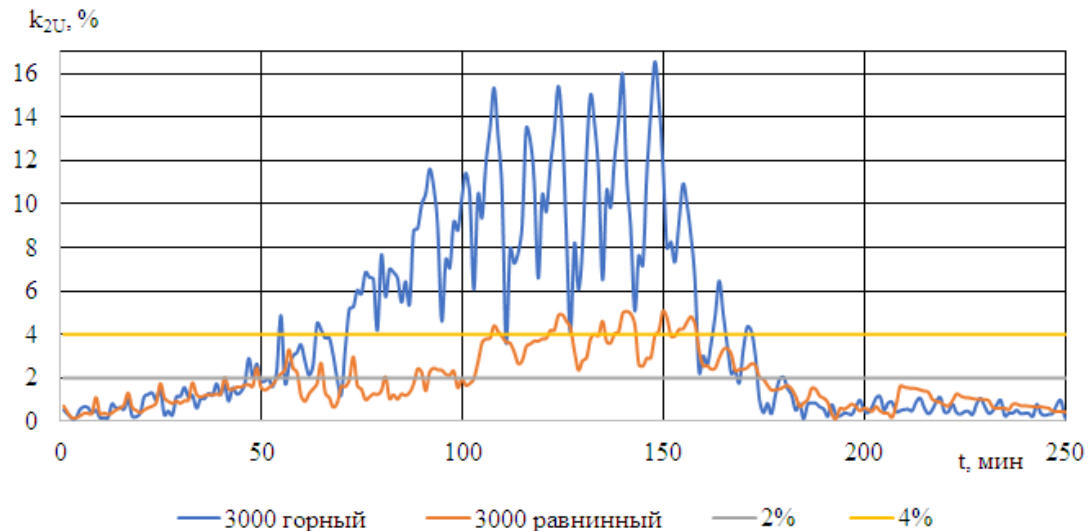


Рисунок 7 – График зависимости коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности для равнинного и горно-перевального участков

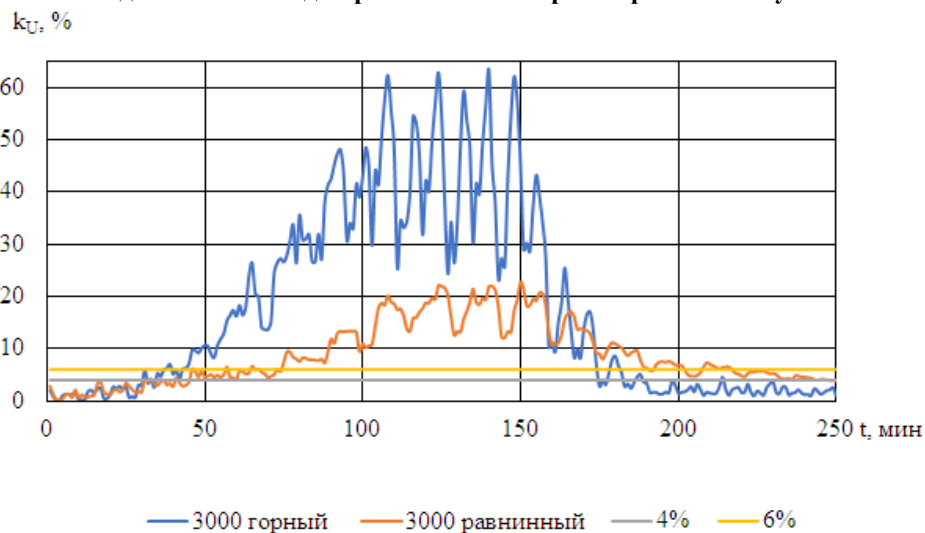


Рис. 8. График суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в 42 узле

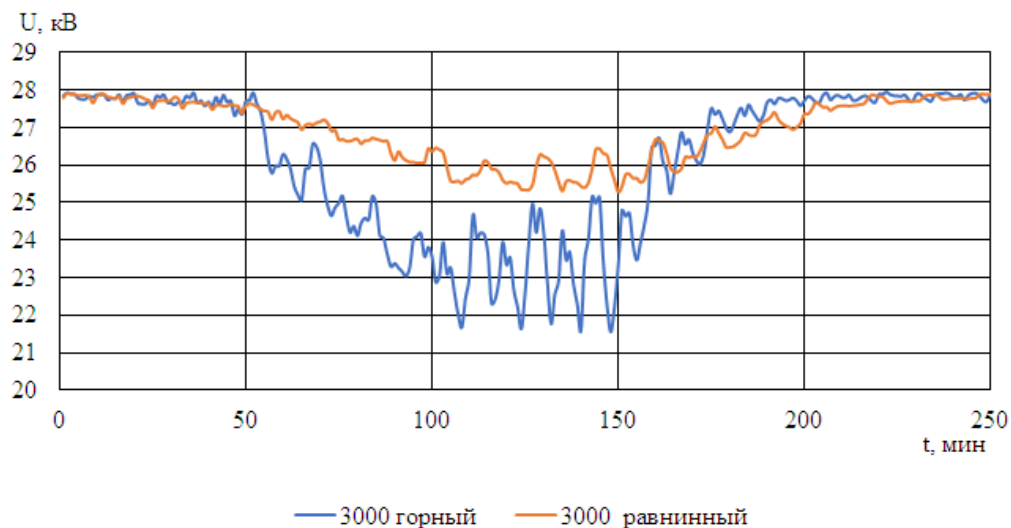


Рис. 9. Изменения напряжения в узле 42

По результатам моделирования видно, что коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности и суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения ниже при равнинном продольном профиле, но все равно превышают допустимые значения. Напряжение на приемном конце линии ДПР имеет больший размах колебания при горно-перевальном профиле пути.

Для определения влияния системы тягового электроснабжения 1х25 кВ и 2х25 кВ было проведено имитационное моделирование движения поездов при графике движения поездов, показанном на рис.3(а). Результаты моделирования представлены на рис. 10-12.

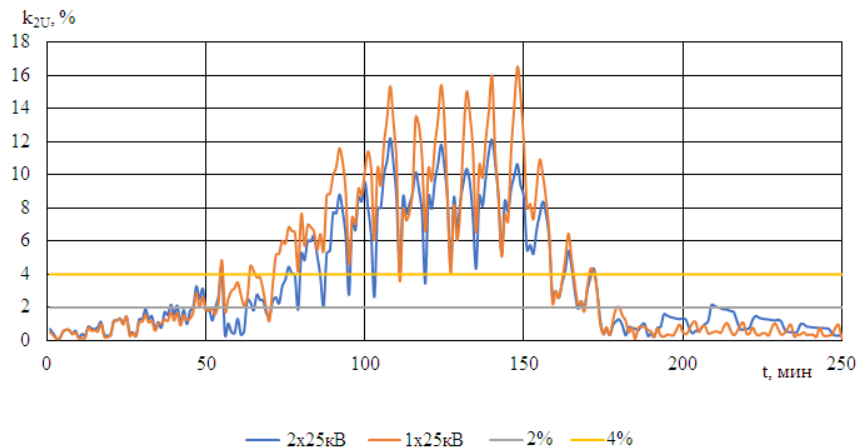


Рис. 10. График коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности для системы тяги 1х25кВ и 2х25кВ

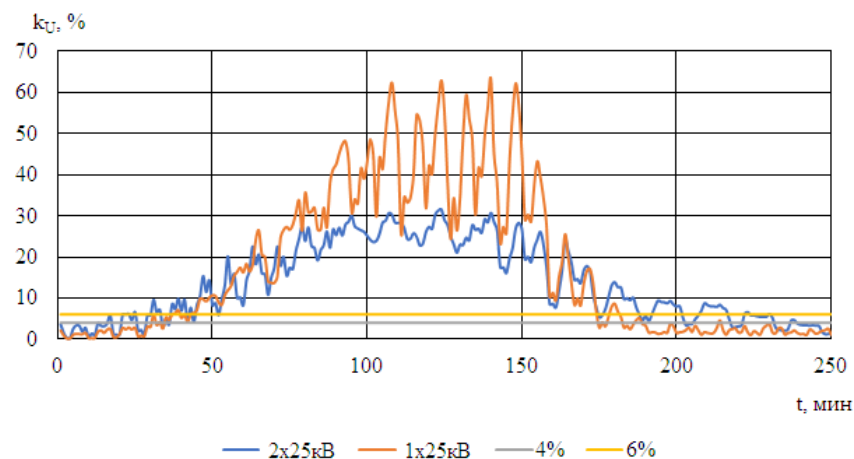


Рис. 11. График суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в системе тяги 1х25кВ и 2х25кВ

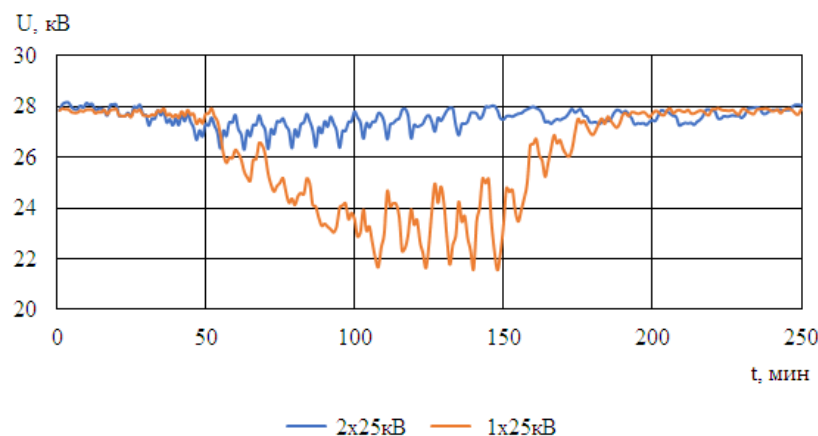


Рис. 12. Изменения напряжения в системе тяги 1х25кВ и 2х25кВ

Исходя из графиков, можно сделать вывод, что при системе 2х25 кВ ПКЭ лучше.

Для повышения качества электроэнергии были установлены активный кондиционер гармоник (АКГ), который был установлен на шинах тяговой подстанции и статический тиристорный компенсатор (СТК), который был установлен в конце линии ДПР, подключение представлено на рис. 13. Результаты моделирования представлены на рис. 14-16 и табл. 4-6.

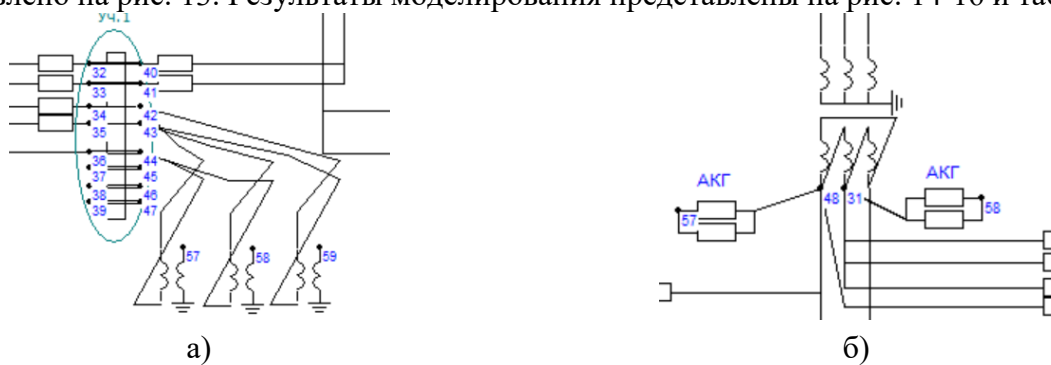


Рис. 13. Подключение СТК(а) и АКГ(б)

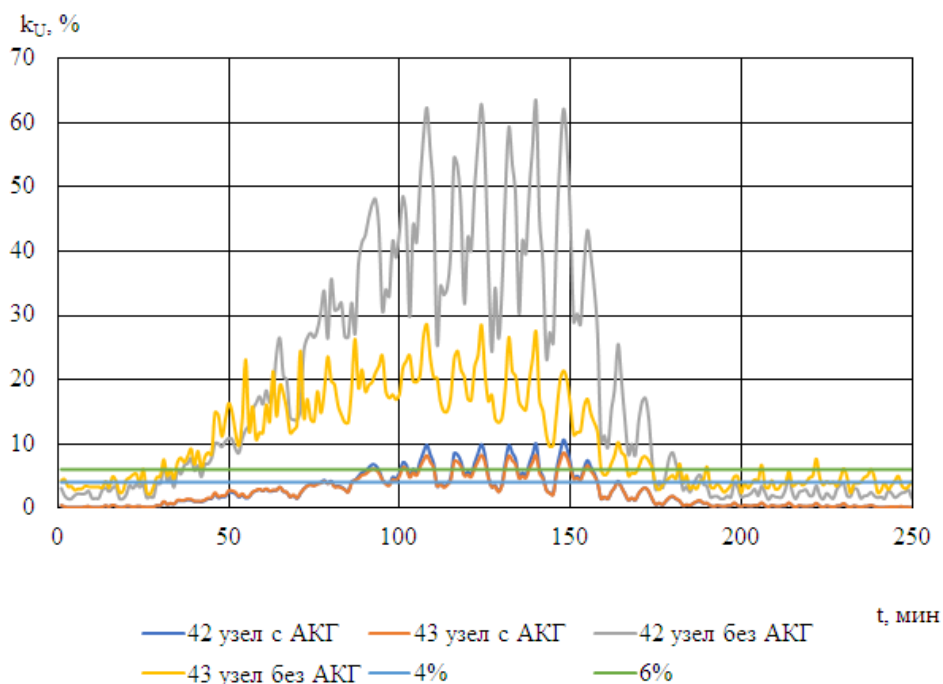


Рис. 14. График зависимости суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения с АКГ и без АКГ

Таблица 4 – Средние и максимальные значения коэффициента гармонических составляющих напряжения с АКГ и без него

Узел	42 узел с АКГ	43 узел с АКГ	42 узел без АКГ	43 узел без АКГ
Максимальное значение k_U , %	10,61	8,6	63,31	28,58
Среднее значение k_U , %	2,46	2,31	17,34	10,31

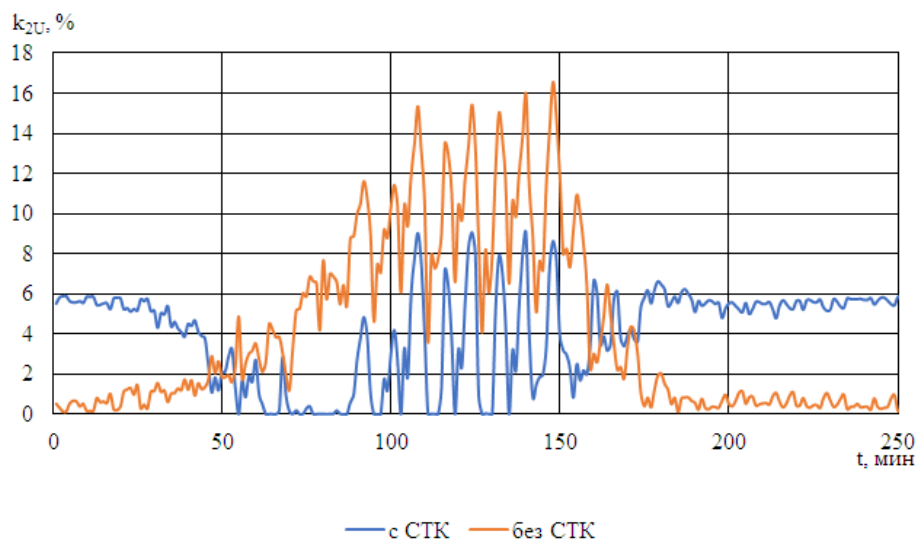


Рис. 15. График зависимости коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности с СТК и без СТК

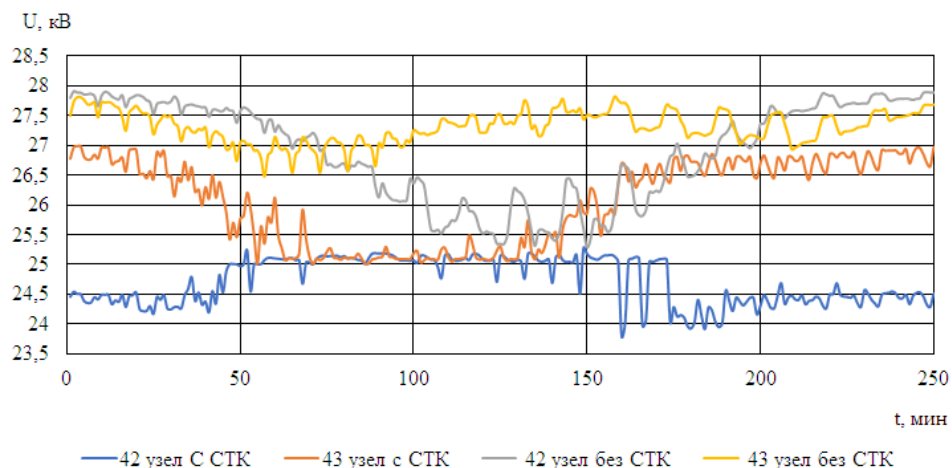


Рис. 16. Изменения напряжения с СТК и без СТК

Таблица 5 – Средние и максимальные значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности с СТК и без СТК

Узел	с СТК	без СТК
Максимальное значение k_{2U} , %	9,06	16,56
Среднее значение k_{2U} , %	4,04	3,99

Исходя из полученных результатов, по средним и максимальным значениям можно сделать вывод, что использование АКГ значительно уменьшает несинусоидальность: в 42 узле на 85,8% , а в 43 узле на 77,6%. Максимальное значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности при применении СТК в конце линии ДПР уменьшилось на 45%. Напряжение в период следования поездов в средней зоне стало ближе к номинальному.

Заключение

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- При оценке влияния профиля пути можно сказать, что ПКЭ при равнинном профиле лучше.
- При оценке влияния веса поезда можно сказать, что ПКЭ хуже при весе поезда 3000 тонн.

в) При оценке влияния систем тяги можно сказать, что при системе тяги 2х25кВ ПКЭ лучше.

Результаты компьютерного моделирования показали, что применение АКГ и СТК для улучшения качества электроэнергии в линии ДПР эффективно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. 273 с.
2. Крюков А.В., Закарюкин В.П. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока. Иркутск: ИрГУПС, 2011. 170 с.
3. Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных влияний на смежные ЛЭП на основе расчета режимов энергосистемы в фазных координатах [Текст]: монография /Под ред. А.В. Крюкова / А.В. Крюков, В.П. Закарюкин. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та путей сообщения. – 2009. – 120 с.
4. Electric energy quality management in railways power supply systems / Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Cherepanov A.V. [and others] // Proceedings of the 6th International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway ISMR 2018. Beijing: China Railway Publishing House. 2018. - P. 314-318.
5. Закарюкин В. П. Моделирование несинусоидальных режимов систем тягового электроснабжения, оснащенных установками компенсации реактивной мощности / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, А. П. Куцый // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - № 1 (57). - С. 72-79.
6. Черепанов А.В., Куцый А.П. Использование управляемых источников реактивной мощности в системах тягового электроснабжения. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 9(116). С. 103-110.
7. Черепанов А. В. Снижение несимметрии и гармонических искажений в районах электроснабжения нетяговых потребителей / А. В. Черепанов, В. А. Тихомиров, А. П. Куцый // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2017. - № 3 (55). - С. 145-151.
8. Куцый А.П. Снижение несимметрии и несинусоидальности в линиях электропередач, питающих тяговые подстанции // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2018. Т. 1. С. 692-696.] [Ушаков В.А., Куцый А.П. Снижение несимметрии в электрических сетях, питающих тяговые подстанции // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2018. Т. 1. С. 167-168.

REFERENCES

1. Zakariukin V P Kriukov A V Complexly asymmetric modes of electrical systems. Irkutsk: Publishing house Irkut. university, 2005. 273 P.
2. Zakariukin V P Kriukov A V Methods for joint modeling of traction and external power supply systems for AC railways. Irkutsk: IrGUPS, 2011. 170 P.
3. Kriukov A V Modeling of electromagnetic influences on adjacent power lines based on the calculation of power system modes in phase coordinates [Text]: monograph / Ed. A.V. Kryukova / A.V. Kryukov, V.P. Zakaryukin. - Irkutsk: Irkut Publishing House. state University of Railways. – 2009. – 120 P.
4. Electric energy quality management in railways power supply systems / Bulatov Yu.N., Kryukov A.V., Cherepanov A.V. [and others] // Proceedings of the 6th International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway ISMR 2018. Beijing: China Railway Publishing House. 2018. - P. 314-318.
5. Zakariukin V P Modeling of non-sinusoidal modes of traction power supply systems equipped with reactive power compensation installations / V.P. Zakaryukin, A.V. Kryukov, A.P. Kutsy // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2018. - № 1 (57). - pp. 72-79.
6. Cherepanov A V Kutsyi A P Use of controlled sources of reactive power in traction power supply systems. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2016. T. 20. № 9(116). pp. 103-110.

7. Cherepanov A V Cherepanov A.V., Tikhomirov V.A., Kutsy A.P. Reduction of asymmetry and harmonic distortions in power supply areas of non-traction consumers // Modern technologies. System analysis. Modeling. - 2017. - № 3 (55). - pp. 145-151.

8. Kutsy A P Reducing asymmetry and nonsinusoidality in power lines supplying traction substations // Transport infrastructure of the Siberian region. 2018. T. 1. P. 692-696.] [Ushakov V.A., Kutsy A.P. Reduction of asymmetry in electrical networks supplying traction substations // Modern technologies and scientific and technical progress. 2018. T. 1. pp. 167-168.

Информация об авторах

Черепанов Александр Валерьевич - к. т. н., доцент, доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: smart_grid@mail.ru

Абзаева Альбина Алексеевна - студент, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

Authors

Cherepanov AleksandrValerevich - Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor the Subdepartment of Electric power transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: smart_grid@mail.ru

Abzaeva Albina Alekseevna - student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Для цитирования

Черепанов А.В. Анализ влияния тяговой сети на качество электроэнергии в линии ДПР и разработка мероприятий по его устранению [Электронный ресурс] / А.В. Черепанов, А.А. Абзаева // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — №2. Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/111-2021>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 29.04.2021)

For citation

A.V. Cherepanov, A.A. Abzaeva Analysis of the influence of the traction network on the quality of electric power in the DPR line and development of measures for its elimination [Electronic resource] // Young science of Siberia: electron. scientific. zhurn. - 2021. - No. 2. Access mode: <http://mnv.irkups.ru/toma/111-2021>, free. - Title from the screen. - Yaz. Russian, English (date of access: 04/29/2021)