

УДК 621.31

А.В. Черепанов¹, К.С. Пятова¹

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

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ЛИНИИ ПРОДОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РАЗРАБОТКОЙ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЕГО СНИЖЕНИЮ

Аннотация. Проведен анализ влияния наведенного напряжения на линии продольного электроснабжения в зависимости от определенных влияющих факторов, таких как, вес поезда, тип рельефа местности, ширина сближения КС и линии ПЭ, наличие нагрузки в линии ПЭ, а также вида системы тягового электроснабжения. Разработаны мероприятия по снижению опасного влияния наведенного напряжения на линии продольного электроснабжения.

Ключевые слова: наведенное напряжение, электроснабжение, опасное влияние

A.V. Cherepanov¹, K.S. Piatova¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF INDUCED VOLTAGE ON LONGITUDINAL POWER SUPPLY LINE WITH DEVELOPMENT OF MEASURES TO REDUCE IT

Abstract. The analysis of the influence of the induced voltage on the longitudinal power supply lines is carried out depending on certain influencing factors, such as the weight of the train, the type of terrain, the width of the convergence of the compressor station and the PE line, the presence of a load in the PE line, as well as the type of traction power supply system. Measures have been developed to reduce the dangerous effect of induced voltage on longitudinal power supply lines.

Keywords: induced voltage, power supply, hazardous influence

Введение

Тяговая сеть оказывает опасное электромагнитное влияние на низковольтные линии, расположенные вдоль железной дороги.

Наведённым напряжением называют потенциал, опасный для жизни, возникающий в результате электромагнитных воздействий параллельной воздушной линии или электричества циркулирующего в контактных сетях.

Значение наведенного напряжения в проводе изменяется в зависимости от протяженности участка, на котором ВЛ идут параллельно, тока нагрузки и величины рабочего напряжения, отдаленности фазных проводов, метеорологических условий. Потенциал, который наведен на ВЛ, объединяет в себе два вида воздействия – электромагнитную и электростатическую составляющую.

Электростатическая составляющая наведенного напряжения возникает за счет емкости, образуемой между КС и линией ПЭ. Степень наводки (возникающий в пассивном проводе потенциал) зависит от двух факторов: величины напряжения влияющего источника и расстояния от него до пассивного проводника.

Электромагнитная составляющая наведенного напряжения возникает за счет магнитной индукции при протекании тока по тяговой сети. Для расчета наведенного U необходимо перемножить три элемента: коэффициент индуктивной связи; длину участка параллельно расположенной линии; силу тока ВЛ под напряжением.

Моделирование

Анализ влияния наведенного напряжения на линии продольного электроснабжения проводился для двух моделей, построенных в программе Fazonord [1-4], при системе тягового электроснабжения 1х25 кВ и 2х25 кВ. Схемы расчетных моделей представлены на рис. 1 и 2.

Для модели 1х25 кВ тяговые подстанции смоделированы трехфазными трехобмоточными трансформаторами ТДТНЖ-40000/110. Система внешнего электроснабжения представлена двумя параллельными линиями электропередач (линия АС 150 напряжением 110 кВ длиной 150 км и линия АС 300 напряжением 220 кВ длиной 350 км), связанными двумя автотрансформаторами АТ 125000 220/110. В средней МПЗ на опорах контактной сети подвешена линия продольного электроснабжения, которая получает питание от нетяговой обмотки тягового трансформатора ТДТНЖ-40000/110. Контактная сеть состоит из трех двухпутных участков, два крайних представлены маркой М-120 + 2МФ-100, средняя МПЗ выполнена М-120 + 2МФ-100+3А70.

Для модели 2х25 кВ тяговые подстанции смоделированы однофазными трехобмоточными трансформаторами ОРДТНЖ-25000/110. Система внешнего электроснабжения аналогична предыдущей модели. Контактная сеть состоит из трех двухпутных участков, два крайних представлены маркой М-120 + 2МФ-100, средняя МПЗ выполнена М-120+2МФ-100+3А70. В средней МПЗ на опорах контактной сети подвешена линия продольного электроснабжения, которая получает питание от районного трансформатора ТДЦ-125000/121/10,5.

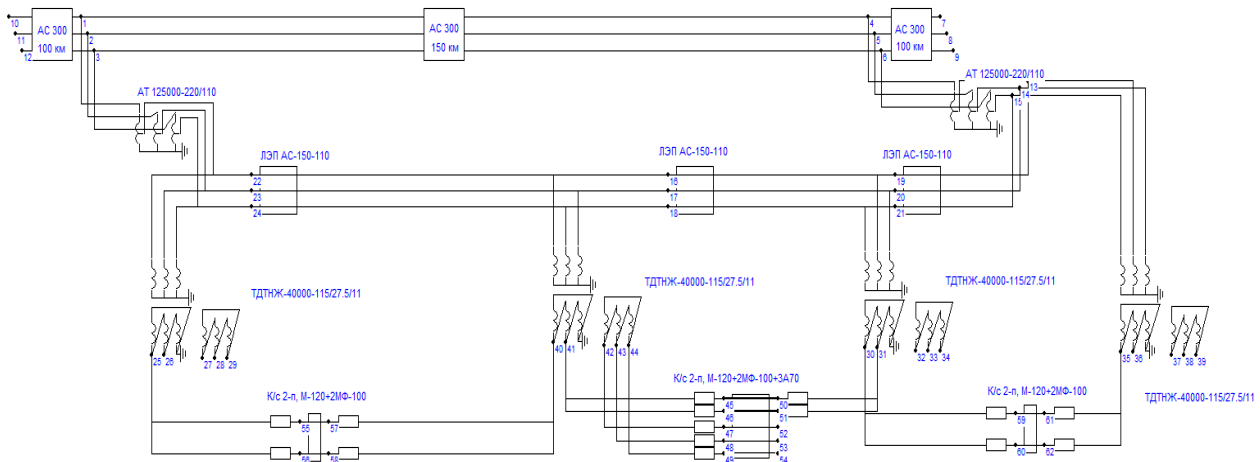


Рис. 1. Модель системы внешнего и тягового электроснабжения (1х25 кВ)

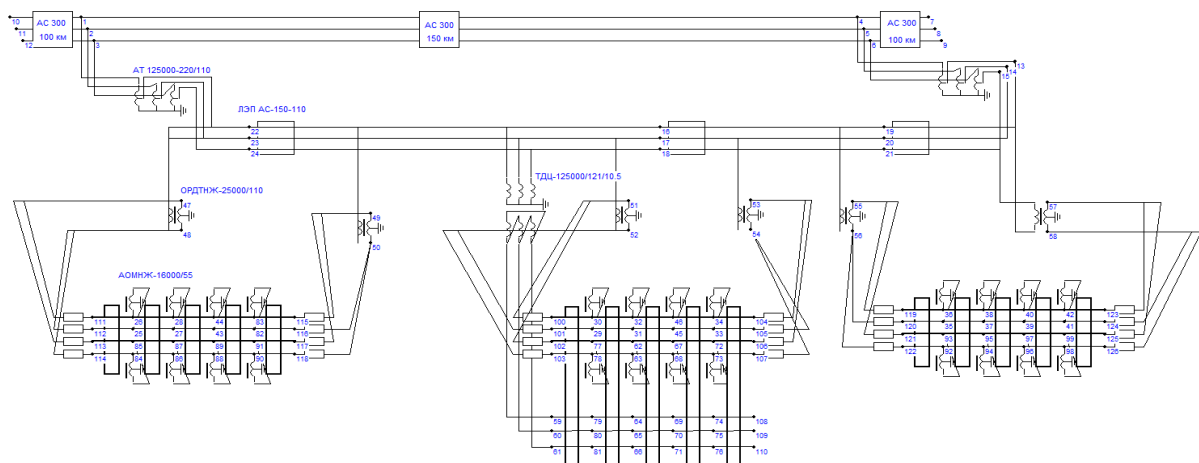


Рис. 2. Модель системы внешнего и тягового электроснабжения (2х25 кВ)

Моделировалось движение поездов массами 3000 т, 6000 т, 9000 т и 12000 т в четном направлении и 4000 т в нечетном направлении. Графики движения показаны на рис. 3

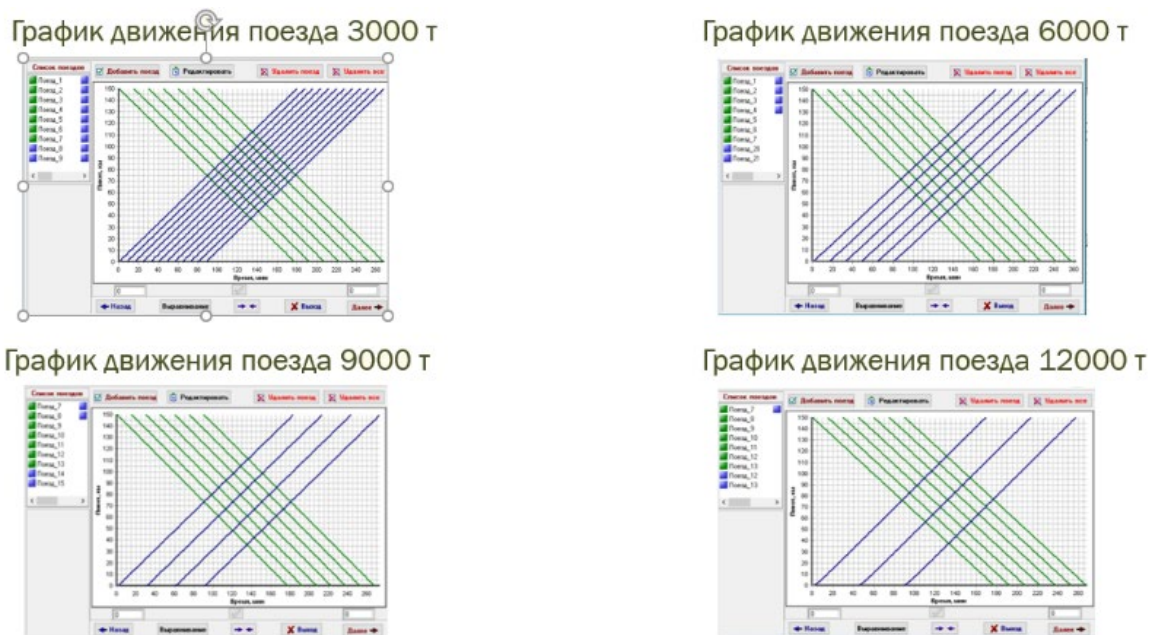


Рис. 3. Графики движения поездов

Для анализа величины наведенного напряжения для разных весовых категорий поездов производился расчет минимального, максимального и среднего значений, а также дисперсии для каждого показателя и весовой категории. Полученные данные представлены в табл. 1.

Табл. 1 – Статистические характеристики основных ПКЭ в линии СЦБ

Напряжение в линии ПЭ, кВ				
	3000 т	6000 т	9000 т	12000 т
Минимальное значение	3,53	3,64	3,64	3,66
Максимальное значение	4,11	4,13	4,14	4,08
Среднее значение	3,835	3,833	3,833	3,83
Дисперсия	0,015	0,012	0,09	0,01
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, %				
	3000 т	6000 т	9000 т	12000 т
Минимальное значение	0,08	0,07	0,01	0,07
Максимальное значение	4,89	4,02	3,41	4,08
Среднее значение	1,75	1,50	1,33	1,33
Дисперсия	1,53	1,016	0,70	0,67
Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, %				
	3000 т	6000 т	9000 т	12000 т
Минимальное значение	0,71	1,43	3,33	5,07
Максимальное значение	42,09	36,75	37,29	32,96
Среднее значение	19,98	18,07	18,28	19,79
Дисперсия	80,23	52,32	47,02	51,12

Результаты анализа влияния наведенного напряжения на линию СЦБ при разных типах рельефа местности (равнинный и горно-перевальный) представлены на рис. 4.

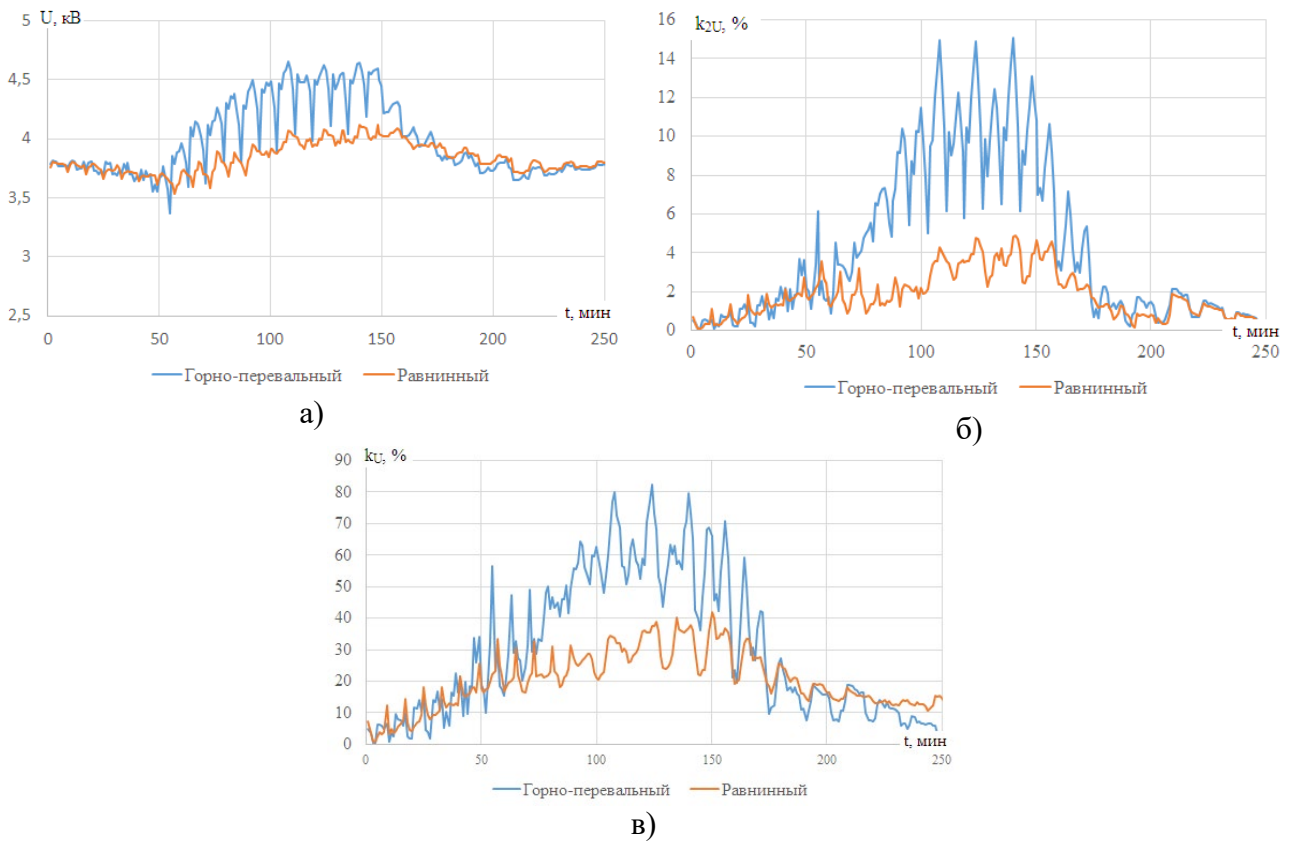


Рис. 4. Графики зависимости напряжения (а), коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности (б) и суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (в) от времени

Для анализа влияния величины наведенного напряжения в зависимости от ширины сближения КС и линии ПЭ (0м, 10м, 20м, 30м, 40м, 50м, 100м) производился расчет напряжения в линии ПЭ. Были построены векторные диаграммы напряжений (рис. 5).

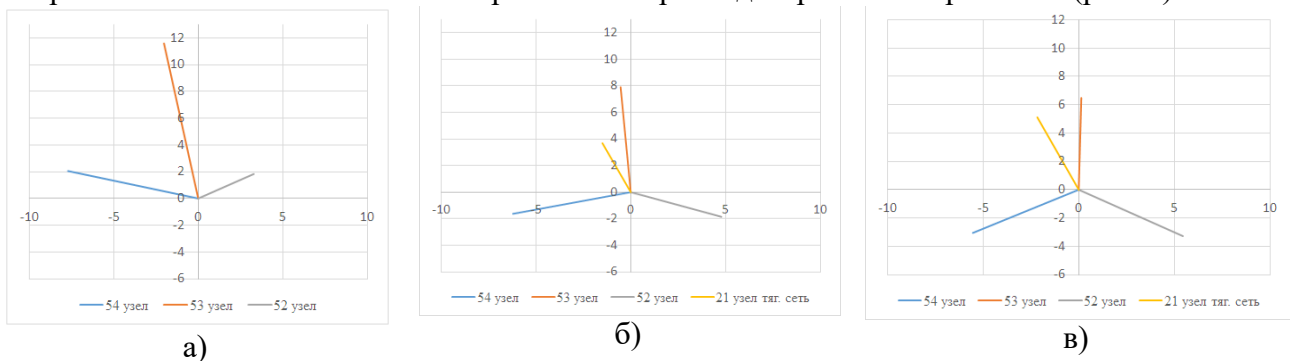


Рис. 5. Векторные диаграммы напряжений линии ПЭ при разной ширины сближения: а) 0 м; б) 10 м; в) 100 м

Для анализа влияния величины наведенного напряжения на линию ПЭ с нагрузкой 25 кВт, 12 кВт и без нагрузки производился расчет напряжения в линии ПЭ, расчет коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности и суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения. Графики зависимости представлены на рис. 6

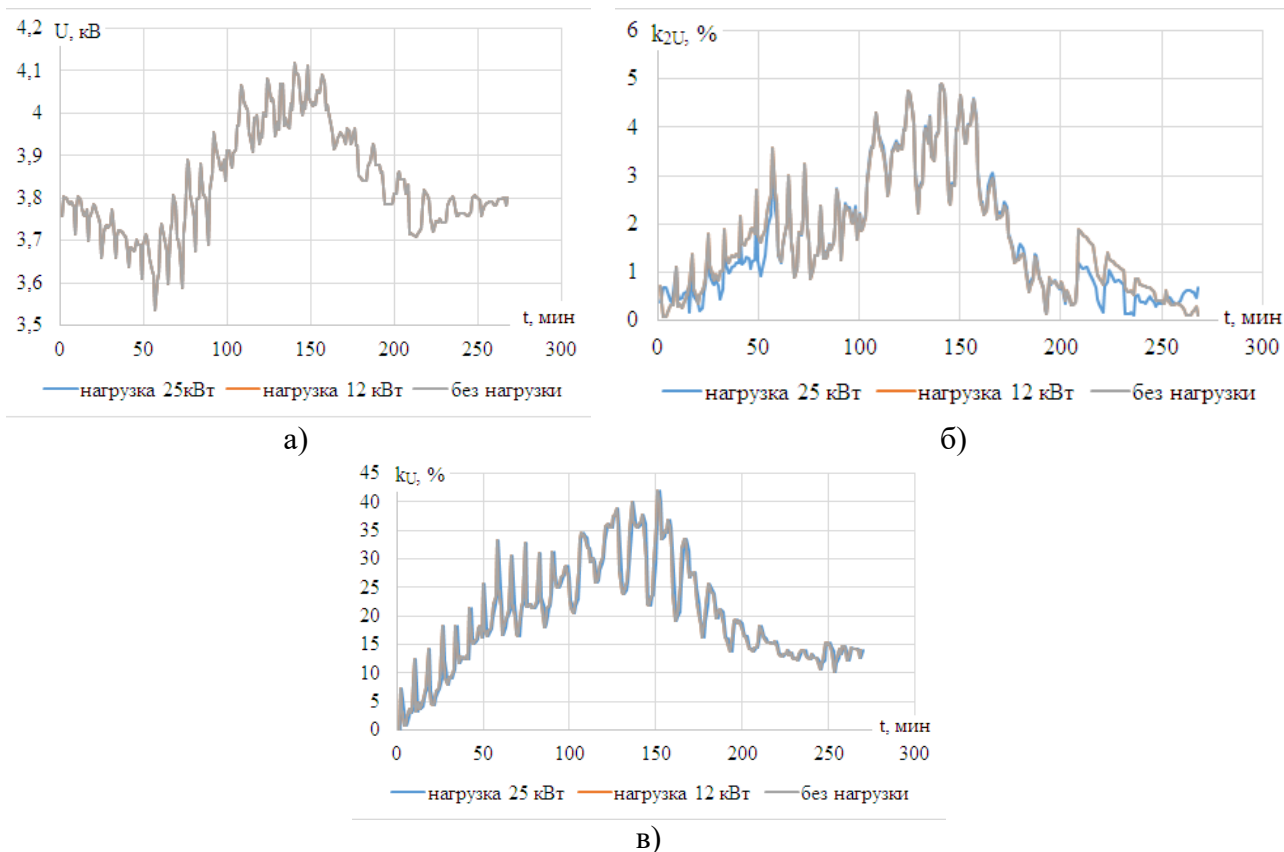
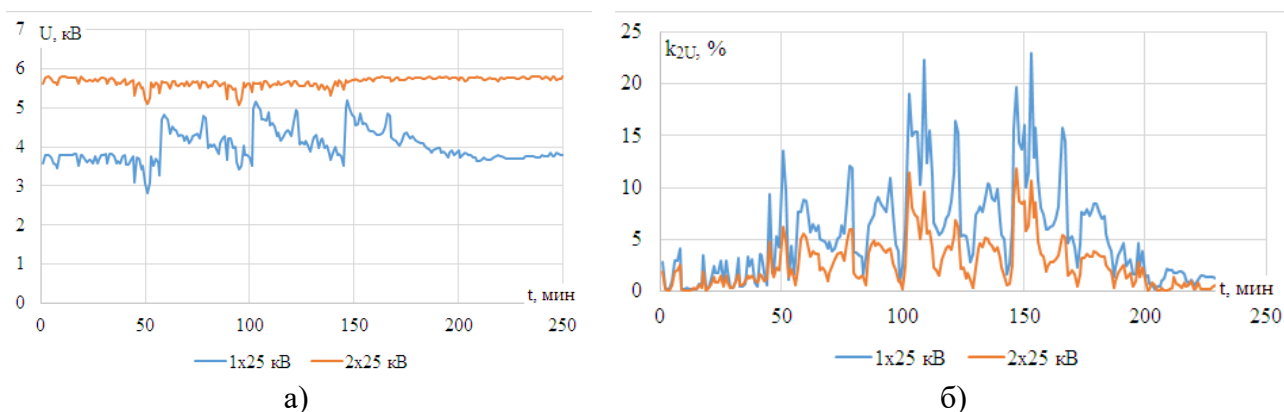


Рис. 6. Графики зависимости напряжения (а), коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности (б) и суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (в) от времени

Для анализа влияния величины наведенного напряжения в зависимости от системы тягового электроснабжения (1х25 кВ, 2х25 кВ) производился расчет напряжения в линии ПЭ, расчет коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности и суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения. Графики зависимости представлены на рис. 7.



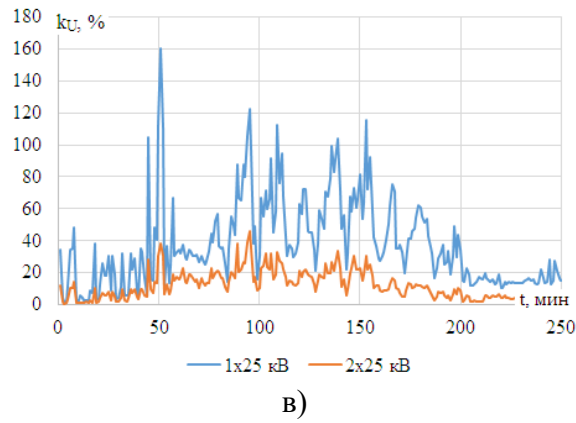


Рис. 7. Графики зависимости напряжения (а), коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности (б) и суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (в) от времени

Для повышения качества и снижения опасного влияния со стороны тяговой сети проведем следующие мероприятия: установка статического тиристорного компенсатора и активного кондиционера гармоник.

В программном комплексе Fazonord установили статический тиристорный компенсатор (СТК) непосредственно на шины потребителя (рис. 7). Произведен расчет напряжения в линии ПЭ для каждого узла и расчет коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности. Графики зависимости представлены на рис. 8-9.

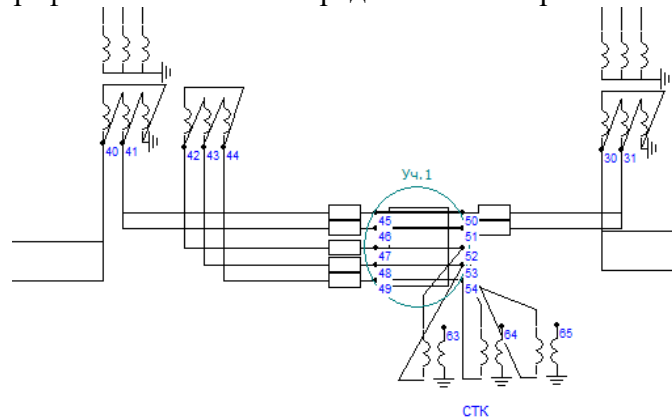
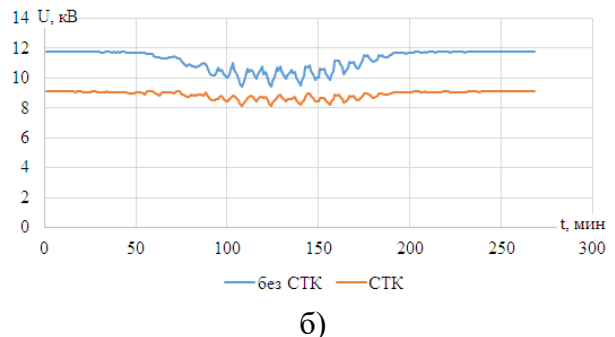
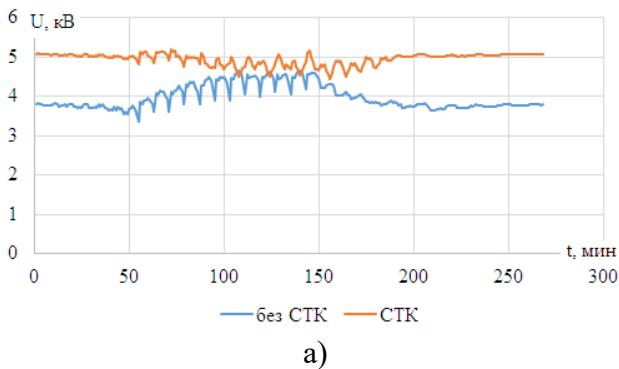
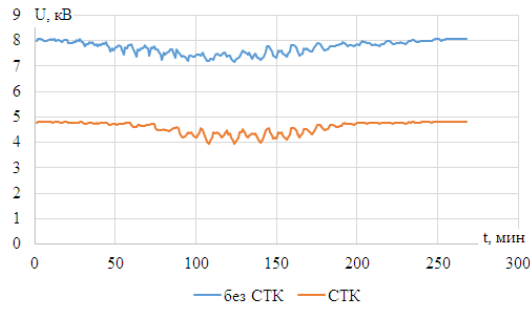


Рис. 7. Установка СТК на шины потребителя





в)

Рис. 8. Графики зависимости напряжения от времени для:
а) 52 узла; б) 53 узла; в) 54 узла

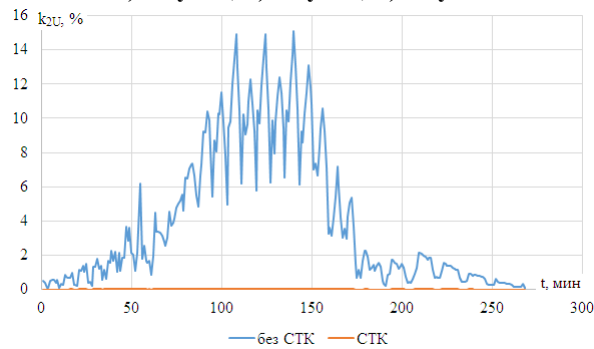


Рис. 9. График зависимости коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности от времени

Следующим мероприятием по улучшению качества и снижению опасных влияний является установка активного кондиционера гармоник (АКГ). Установка АКГ произведена как на конце линии СЦБ, так и на шинах тяговой подстанции (рис 10). Произведен расчет суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения для каждого узла. Графики зависимости представлены на рис. 11,12.

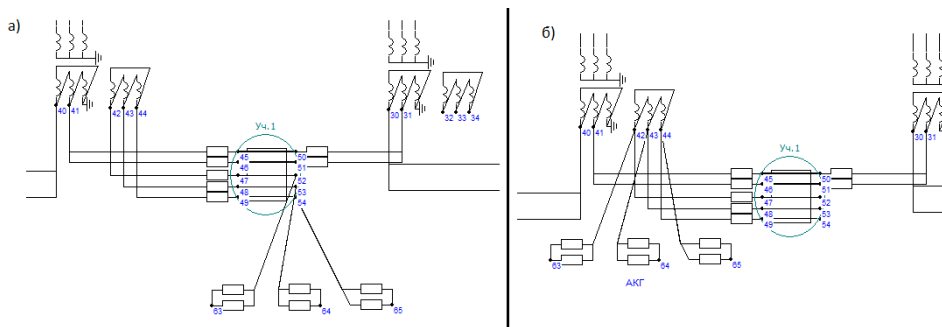


Рис. 10. Установка АКГ на: а) конце линии СЦБ; б) шинах ТП

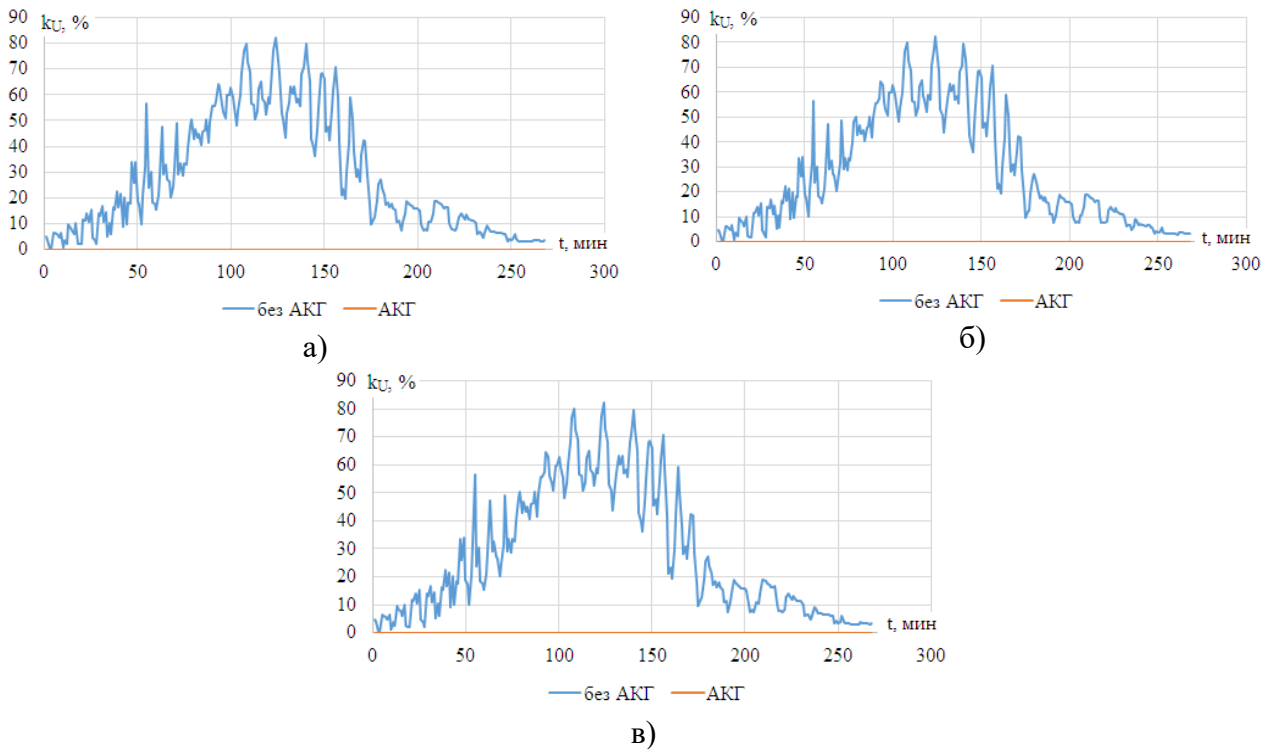


Рис. 11. Графики зависимости суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения от времени при установке АКГ на конце линии СЦБ для:
а) 52 узла; б) 53 узла; в) 54 узла

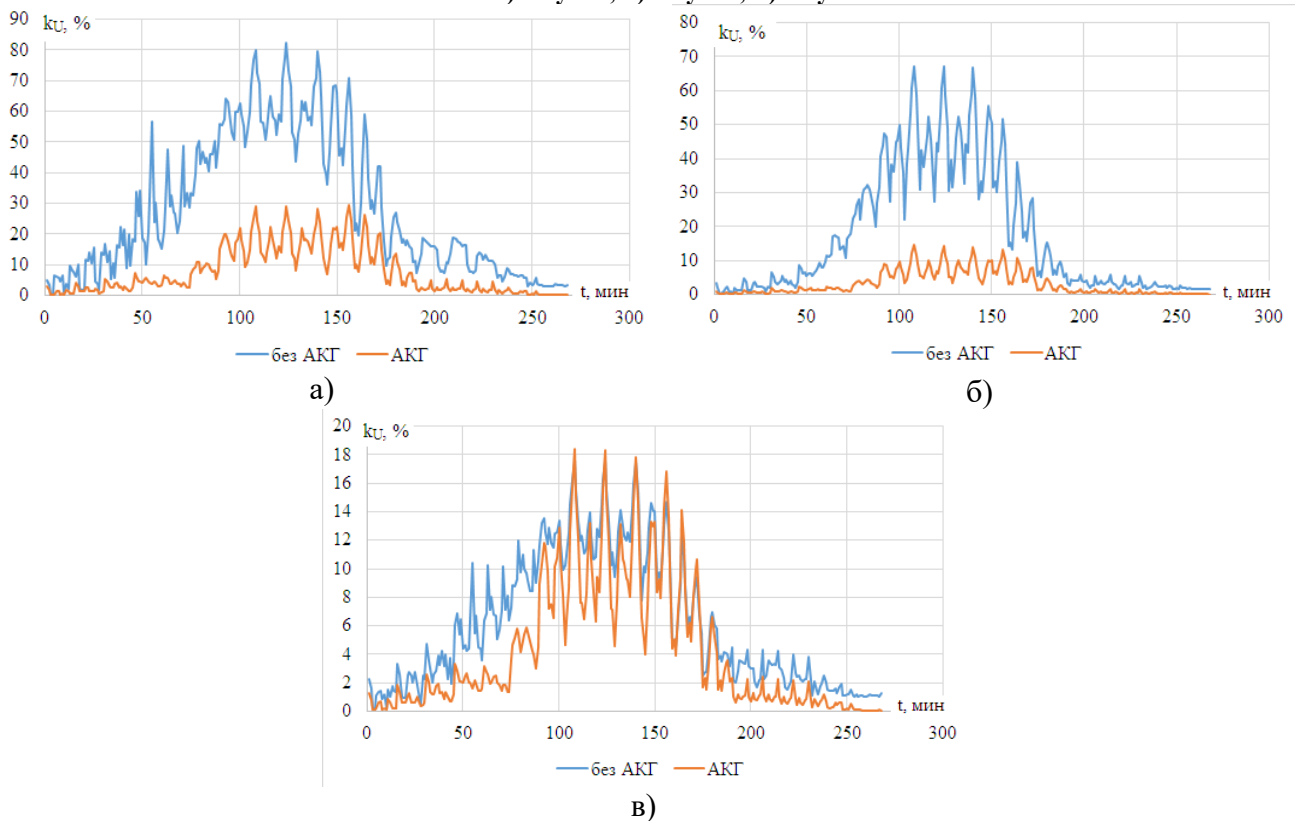


Рис. 12. Графики зависимости суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения от времени при установке АКГ на шинах ТП для:
а) 52 узла; б) 53 узла; в) 54 узла

Заключение

Результаты компьютерного моделирования показали, что наиболее выгодной весовой категорией поездов (в плане снижения влияния на линию ПЭ со стороны тяговой сети) будет

9000 т с интервалом движения 30 мин, кроме этого профиль пути желателен равнинный, без резких крутых подъемов. Подвешивать линию ПЭ также желательно на отдельно стоящих опорах. Далее, линию ПЭ выгоднее держать нагруженной и лучшей системой тягового электроснабжения для обеспечения наибольшего снижения опасных влияний будет система 2х25 кВ.

Разработанные мероприятия по повышению качества и снижению опасных влияний стороны тяговой сети, такие как: установка СТК и АКГ привели к значительному улучшению показателей КЭ. Установка статического тиристорного компенсатора привела к тому, что значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности были снижены до нулевого значения. Кроме этого значения величин напряжений в узлах стали приближены к номинальному значению.

Установка АКГ на конце линии СЦБ так же привела к тому, что значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения для каждого узла были снижены до нулевого значения. А установка АКГ на шинах ТП снизила эти значения лишь в пару раз. Таким образом, установку АКГ желательно проводить на конце линии СЦБ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куцкий А.П. Снижение несимметрии и несинусоидальности в линиях электропередач, питающих тяговые подстанции // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2018. Т. 1. С. 692-696.

2. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference RusAutoCon, 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501734

3. Крюков А.В., Куцкий А.П., Черепанов А.В. Улучшение качества электроэнергии в сетях 110-220 кВ, питающих тяговые подстанции // В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи - 2017 Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 318-321.

4. Арсентьев Г.О., Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Куцкий А.П., Нгуен В.Х., Черепанов А.В., Чан З.Х. Управление режимами систем электроснабжения железных дорог на основе технологий интеллектуальных сетей (smart grid) Иркутск.: ИрГУПС, 2019. С. 412

REFERENCES

1. Kutsiy A P Reduction of asymmetry and nonsinusoidality in power lines supplying traction substations // Transport infrastructure of the Siberian region. 2018. Т. 1. pp. 692-696.

2. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation // International Russian Automation Conference RusAutoCon, 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501734

3. Kriukov A V Kutsiy A P Cherepanov A V Improving the quality of electricity in 110-220 kV networks feeding traction substations // In the collection: Electricity through the eyes of young people - 2017 Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference. 2017. pp. 318-321.

4. Arsentev G O Bulatov IU N Kriukov A V Kutsiy A P Nguen V KH Cherepanov A V CHan Z KH Management of modes of railway power supply systems based on smart grid technologies Irkutsk .: IrGUPS, 2019. P. 412

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

Пятова Кристина Сергеевна - 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

Piatova Kristina Sergeevna - student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Для цитирования

Черепанов А.В. Анализ влияния наведенного напряжения на линии продольного электроснабжения с разработкой мероприятий по его снижению [Электронный ресурс] / А.В. Черепанов, К.С. Пятова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — №2. Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/212-2021>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: _____)

For citation

A.V. Cherepanov, K.S. Piatova Analysis of the influence of induced voltage on longitudinal power supply line with development of measures to reduce it [Electronic resource] // Young science of Siberia: electron. scientific. zhurn. - 2021. - No. 2. Access mode: <http://mnv.irkups.ru/toma/212-2021>, free. - Title from the screen. - Yaz. Russian, English (date of access: _____)