

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЛИЯНИЕ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ НА ТРУБОПРОВОДЫ В РЕЖИМАХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Аннотация. Вдоль трасс магистральных железных дорог переменного тока, электрифицированных по системам 25 и 2х25 кВ могут прокладываться стальные трубопроводы. В результате электромагнитного влияния тяговых сетей на трубах, имеющих изоляционные покрытия, могут наводиться напряжения, опасные для персонала, который эксплуатирует трубопровод. Значительные наведенные напряжения могут кратковременно возникать в режимах короткого замыкания (КЗ) контактного провода на рельс. Для определения уровней наведенных напряжений проведено моделирование системы тягового электроснабжения 25 кВ, параллельно трассе тяговой сети которой на расстоянии в 100 м проложен трубопровод с диаметром трубы в 250 мм, заземленный с двух сторон. Результаты моделирования показали, что в режимах КЗ тяговой сети 25 кВ в отдельных точках труб величина наведенного напряжения может превышать 500 В.

В тяговых сетях 2х25 кВ могут иметь место следующие виды КЗ: замыкание контактного провода на рельс; замыкание питающего провода на рельс; замыкание между контактной подвеской и питающим проводом. Моделирование показало, что максимальные наведенные напряжения, достигающие 503...512 В имеют место при КЗ контактной подвески или питающего провода на рельс. При замыкании между контактной подвеской и питающим проводом максимум наведенных напряжений не превышает 22 В.

Таким образом, в режимах КЗ тяговых сетей 25 и 2х25 кВ наведенные напряжения на трубопроводе при ширине сближения в 100 м не превышают допустимого значения в 1000 В, установленных нормативным документом ТРЛ-71.

Ключевые слова: тяговые сети 25 и 2х25 кВ, электромагнитное влияние на трубопровод, моделирование.

ELECTROMAGNETIC INFLUENCE OF TRACTION NETWORKS ON PIPELINES IN SHORT CIRCUIT MODES

Abstract. Steel pipelines can be laid along the routes of AC main railways electrified through 25 and 2x25 kV systems. As a result of the electromagnetic influence of traction networks on pipes having insulating coatings, voltages that are dangerous to personnel who operate the pipeline can be induced. Important induced voltages can occur briefly in short-circuit modes of the contact wire to the rail. To determine the induced voltage levels, a traction power supply system of 25 kV was simulated, in parallel with the traction network of which a pipeline was laid at a distance of 100 m with a pipe diameter of 250 mm, grounded on both sides. The simulation results showed that in the short circuit modes of the traction network of 25 kV at individual points of the pipes, the magnitude of the induced voltage can exceed 500 V.

In traction networks of 2x25 kV, the following types of short circuit can take place: short circuit of a contact wire to a rail; short circuit of the supply wire to the rail; short circuit between the contact suspension and the supply wire. Modeling showed that the maximum induced voltages, reaching 503 ... 512, have a place with short-circuit contact suspension or supply wire to the rail. With a short circuit between the contact suspension and the supply wire, the maximum induced voltage does not exceed 22 V.

Thus, in the short circuit modes of traction networks of 25 and 2x25 kV, the induced voltages on the pipeline with an approach width of 100 m do not exceed the permissible value of 1000 V established by the regulatory document TRL-71.

Key words: traction networks 25 and 2x25 kV, electromagnetic effect on the pipeline, modelling.

Введение. Трубопроводы, предназначенные для транспорта жидких и газообразных продуктов, могут сближаться с трассами железных дорог, электрифицированных на переменном токе [1]. При высоком качестве изоляционных покрытий труб и прохождении их параллельно тяговым сетям (ТС) 25 и 2х25 кВ на металлических деталях сооружения возможно возникновение опасных напряжений по отношению к земле [2, 3].

Ниже приведены результаты компьютерного моделирования, выполненного с целью определения наведенных напряжений на трубопроводе наземной прокладки в режимах короткого замыкания тяговых сетей 25 и 2х25 кВ.

Методика моделирования. Определение электромагнитных влияний ТС на трубопроводы выполнено с помощью программного комплекса Fazonord [4, 5], принципы применения которого для решения задачи расчета наведенных напряжений рассмотрены в работах [6 – 8]. Сопротивления взаимоиндукции и собственные сопротивления контуров «провод – земля» вычислялись по формулам Карсона [9], обеспечивающим корректный учет возврата токов через землю. Для расчетов режимов в ПК Fazonord используются решетчатые схемы замещения, а для учета распределенности параметров применяются цепочечные схемы.

Рассматриваемая в статье методика характеризуется следующими отличительными особенностями:

1. Учитываются соединения трубопровода с землей, включая распределенное заземление, которое задается удельным сопротивлением R_S , Ом·км.
2. Возможен учет высших гармоник, генерируемых выпрямительными электровозами [10].
3. Доступно моделирование тяговых сетей различного конструктивного исполнения:
 - традиционных 25 и 2х25 кВ;
 - ТС, которые оборудованы экранирующими и усиливающими проводами [11];
 - ТС, оснащенных средствами снижения наведенных напряжений, например, отсасывающими трансформаторами [12];
 - ТС с повышенным напряжением контактной подвески [13].
4. Корректное моделирование питающих сетей 110-200 кВ, которые могут оказывать заметное влияние на режимы ТС.
6. Возможность определения аварийных режимов, вызванных короткими замыканиями (КЗ) [14], а также искусственными замыканиями, которые применяются в схемах плавки гололеда [15].

Сопротивления взаимоиндукции и собственные сопротивления контуров «провод – земля» рассчитываются по формулам [9]:

$$\underline{Z}_{ik} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{r_{ik}'}{r_{ik}} + \underline{F}_{ik} \right) = j 1.2566 \cdot 10^{-6} f \left(\ln \frac{r_{ik}'}{r_{ik}} + \underline{F}_{ik} \right), \text{ Ом/м,}$$

где ω – круговая частота; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; r_{ik}' – расстояние между проводом i и зеркальным изображением провода k , м (рис. 1); r_{ik} – расстояние между проводами i и k , м; \underline{F}_{ik} – добавка за счет конечной проводимости земли.

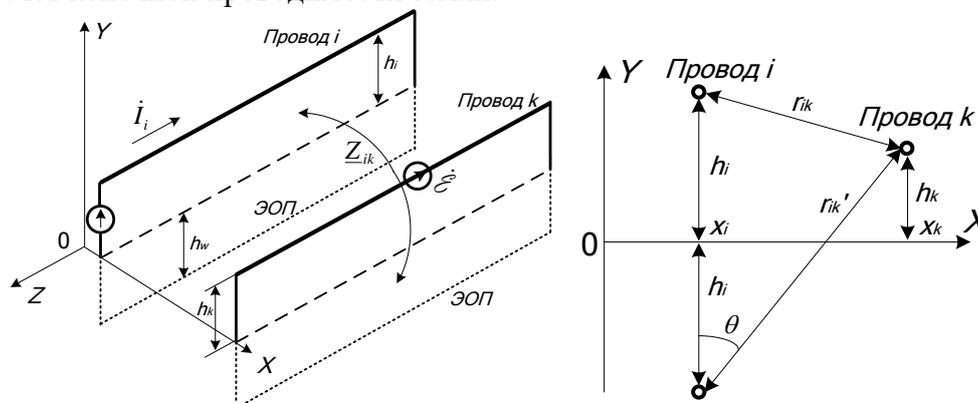


Рис. 1. К определению сопротивлений взаимоиндукции: ЭОП – эквивалентный обратный провод

В ближних и дальних зонах Карсона применяются аппроксимирующие выражения [16], а для промежуточной [17] зоны добавка \underline{F}_{ik} определяется по преобразованной формуле из работы [16]

$$F_{ik} = 0.5 - \ln(\lambda r) - j \frac{\pi}{4} - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{(r/2)^{2n}}{n!(n+1)!} \left[\cos\left(\frac{n\pi}{2}\right) + j \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \right] \times$$

$$\times \left[\left[\ln(\lambda r) - m_n \right] \cos(2n\theta) - \theta \sin(2n\theta) + j \frac{\pi}{4} \cos(2n\theta) \right] -$$

$$- 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{r^{2n-1} \cos[(2n-1)\theta]}{1^2 \cdot 3^2 \cdot \dots \cdot (2n-1)^2 \cdot (2n+1)} \left\{ \cos\left[\frac{(2n-1)\pi}{4}\right] + j \sin\left[\frac{(2n-1)\pi}{4}\right] \right\},$$

где $m_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n+1} - \frac{1}{2(n+1)}$; $r = r_{ik}' \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{\rho}} = 2,8099 \cdot 10^{-3} \cdot r_{ik}' \sqrt{\frac{f}{\rho}}$; f – циклическая частота, Гц; $r_{ik}' = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i + y_k)^2}$; ρ – удельное сопротивление земли, Ом·м; $\lambda = 0,890536209$; $\theta = \arctg \frac{|x_i - x_k|}{y_i + y_k}$.

Результаты моделирования ТС 25 кВ. Моделирование выполнено на основе программного комплекса Fazonord [4] для системы тягового электроснабжения с межподстанционными зонами (МПЗ) протяженностью 50 км. В состав модели ТС включен проводник, отвечающий трубопроводу с диаметром трубы 250 мм. Фрагмент схемы сети представлен на рис. 2. Анализируемая МПЗ, в модель которой добавлен элемент, отвечающий трубопроводу, была разбита на пять участков протяженностью по 10 км. Ширина сближения, т. е. расстояние от трубопровода до оси дороги принята равной 100 м.

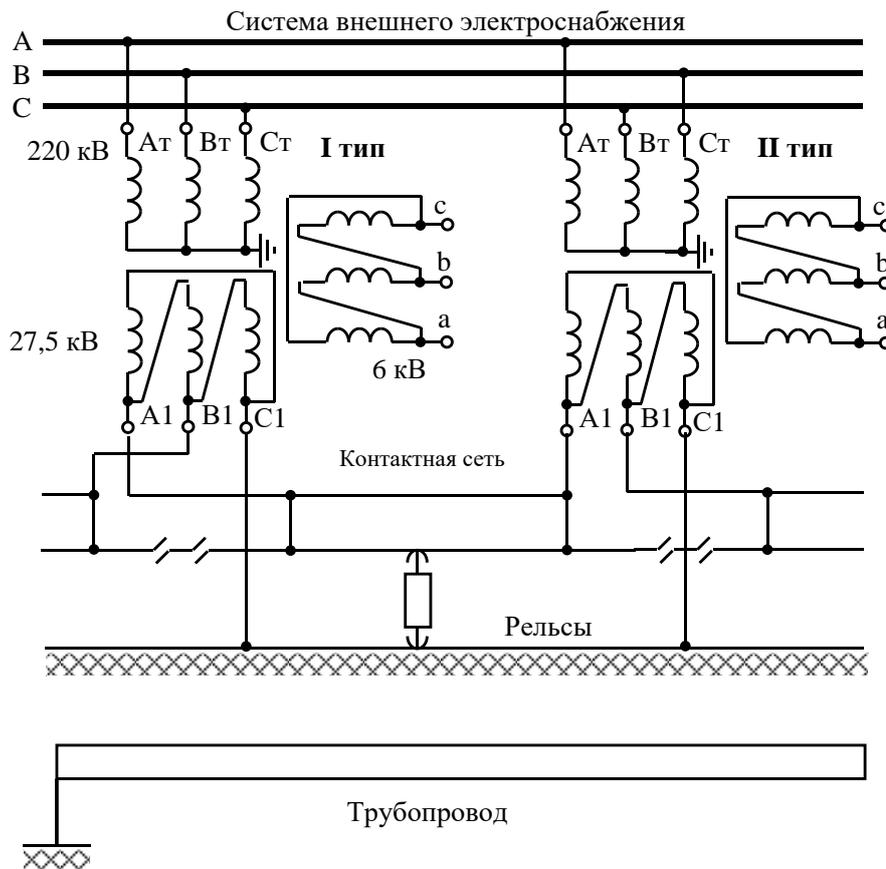


Рис. 2. Фрагмент схемы СТЭ: А, В, С – фазы питающей ЛЭП

Фрагмент схемы расчетной модели, реализованной в программном комплексе Fazonord, показан на рис. 3.

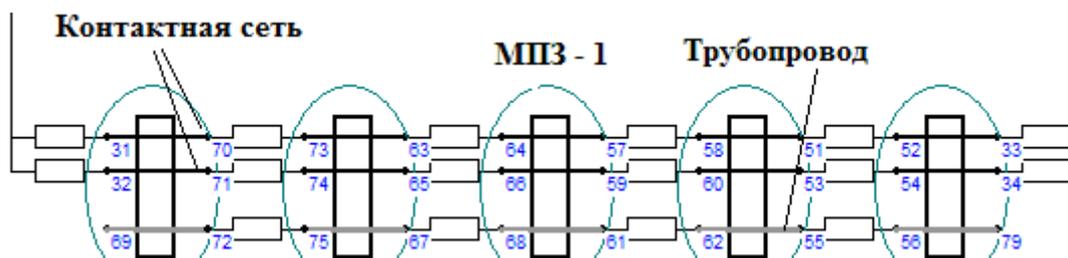


Рис. 3. Фрагмент схемы расчетной модели

Моделирование в программном комплексе Fazonord выполнено в двух вариантах:

- замыкание контактного провода на рельс в точках, отвечающих выводам 27,5 кВ тяговых подстанций (узлы 32 и 34 на рис. 3);
- замыкание контактного провода на рельс в узлах 71, 65, 59 и 53 по рис. 3;

Предполагалось, что распределенное заземление труб характеризуется сопротивлением 20 Ом·км. По краям моделируемого участка сооружения были включены стационарные заземлители с сопротивлением 1 Ом.

Моделирование ТС проводилось на основе цепочечной схемы для учета распределенности параметров. Ввиду практического отсутствия гармонических искажений в режимах КЗ расчеты наведенных напряжений проводились на основной частоте. Результаты моделирования представлены в табл. 1 и на рис. 4, 5.

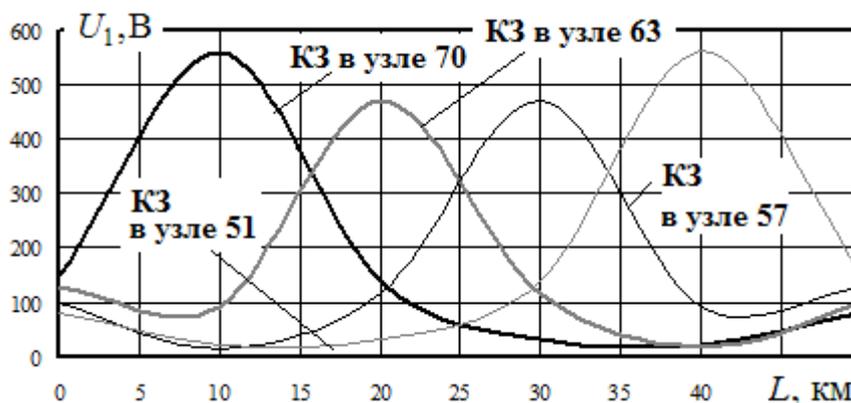


Рис. 4. Распределение наведенных напряжений в режимах КЗ ТС по длине трубопровода: L – расстояние от левой ТП до точки наблюдения; U_1 – наведенное напряжение основной частоты

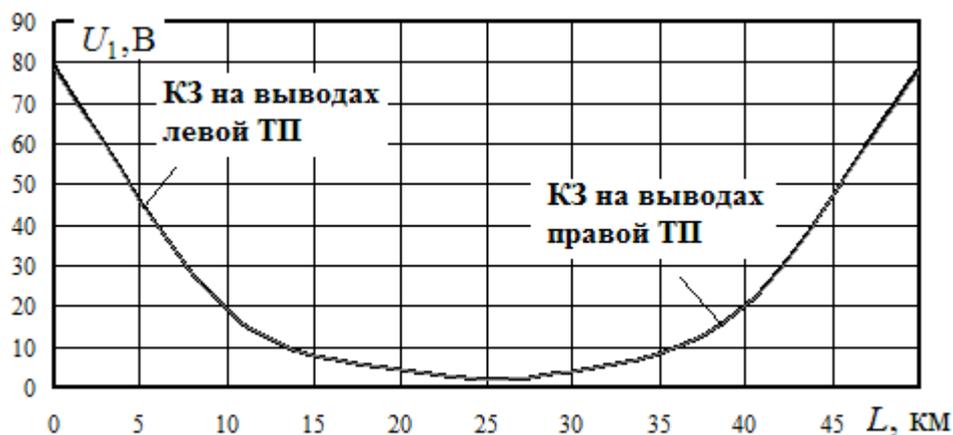


Рис. 5. Распределение наведенных напряжений в режимах КЗ на выводах ТП по длине трубопровода

Результаты расчетов наведенных напряжений

Узел с КЗ	L, км					
	0	10	20	30	40	50
31	79	19	4.4	4.2	20	79
70	150	558	137	29	22	81
63	126	92	470	115	16	97
57	96	14	116	471	91	127
51	80	21	30	138	561	153
33	78	19	4.3	4.1	20	78

Результаты моделирования дают возможность сформулировать следующие выводы:

1. В режимах КЗ в тяговой сети наведенные напряжения на трубопроводе могут кратковременно превышать 500 В. Наибольшие напряжения наблюдаются в точках, расположенных вблизи места КЗ.

2. При замыканиях на выводах тяговых подстанций величины наведенных напряжений снижаются до 75 В.

3. В режимах КЗ тяговой сети 25 кВ при ширине сближения в 100 м наведенные напряжения не превышают допустимых значений в 1000 В, установленных нормативным документом [18].

Результаты моделирования ТС 2х25 кВ. В программном комплексе Fazonord проведено моделирование режимов работы системы электроснабжения железной дороги, электрифицированной на переменном токе напряжением 2х25 кВ (рис. 6).

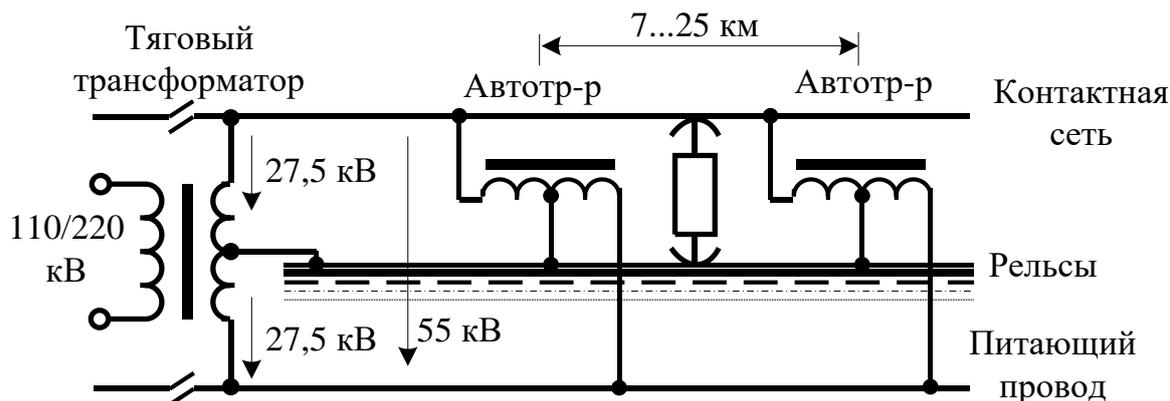


Рис. 6. Фрагмент схемы СТЭ 2×25 кВ

При моделировании детально рассмотрена типичная МПЗ протяженностью 50 км, в состав которой входит много элементов. Для учета распределенности параметров ТС ее модель формировалась в виде цепочечной схемы.

Значительные наведенные напряжения на трубопроводах могут возникать в режимах коротких замыканий (КЗ) в ТС. Для исследования этого вопроса проведено моделирование режимов для следующих вариантов:

- замыкание контактного провода (КП) на рельс в точках, отвечающих узлам 17, 32, 42, 52, 62, 72 на рис. 6);
- замыкание питающего провода (ПП) на рельс в узлах 28, 33, 43, 53, 63, 73;
- замыкание между контактной подвеской и питающим проводом (замыкание между узлами 17-28, 32-33, 42-43, 52-53, 62-63 и 72-73).

В расчетной схеме СТЭ, фрагмент которой показан на рис. 2, были представлены модели следующих элементов: трех тяговых трансформаторов и двух межподстанционных зон. Для анализа распределения наведенных напряжений по длине участка трубы МПЗ была разбита на пять сегментов с протяженностями по 10 км. Также в расчетную схему были включены модели трех линий электропередачи 220 кВ.

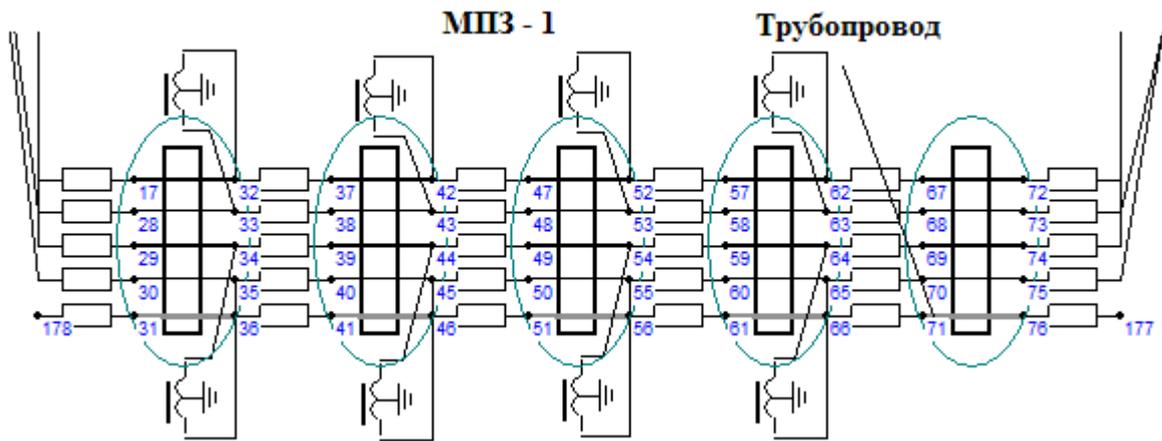


Рис. 7. Фрагмент схемы расчетной модели

Результаты моделирования наведенных напряжений в аварийных режимах представленные в табл. 2 и на рис. 8–10.

Таблица 2

Результаты расчета наведенных напряжений в режимах КЗ

Вид повреждения	x, км	L, км					
		0	10	20	30	40	50
Замыкание КП на рельс	0	223	503	147	36	5	3.7
	10	3	68	51	20	15	5
	20	5.5	61	101	41	28	6
	30	6	28	4	100	60	6
	40	5	16	20	50	68	3
	50	3	5	36	145	497	221
Замыкание ПП на рельс	0	222	512	148	36	21	3
	10	20	107	53	20	18	4
	20	11	29	100	45	14	5
	30	5	14	45	100	29	11
	40	4	19	12	52	106	20
	50	3	21	35	146	507	221
Замыкание между КП и ПП	0	5	19	5	5	19	5
	10	10	23	7	4	18	5
	20	7	17	9	5	18	5
	30	6	18	5	9	16	7
	40	5	18	4	7	22	11
	50	5	19	5	5	19	5

Примечание: x – расстояние от точки КЗ до левой ТП

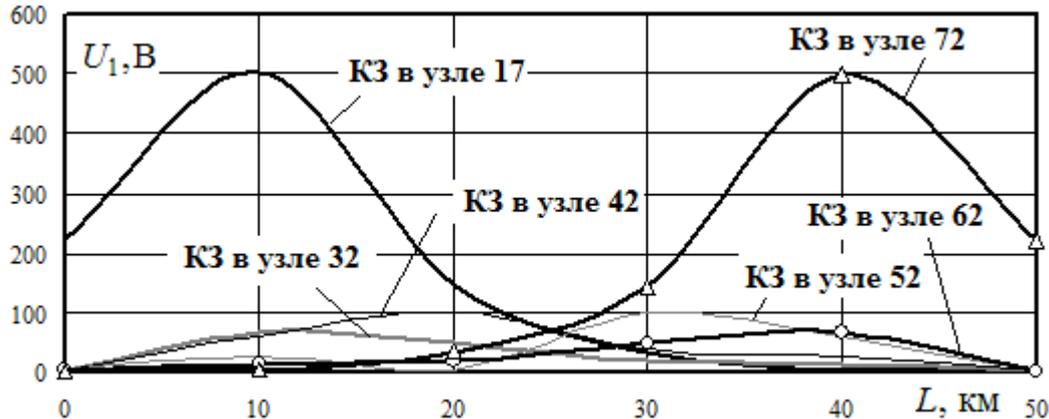


Рис. 8. Распределение наведенных напряжений по длине трубопровода при замыкании контактного провода на рельс

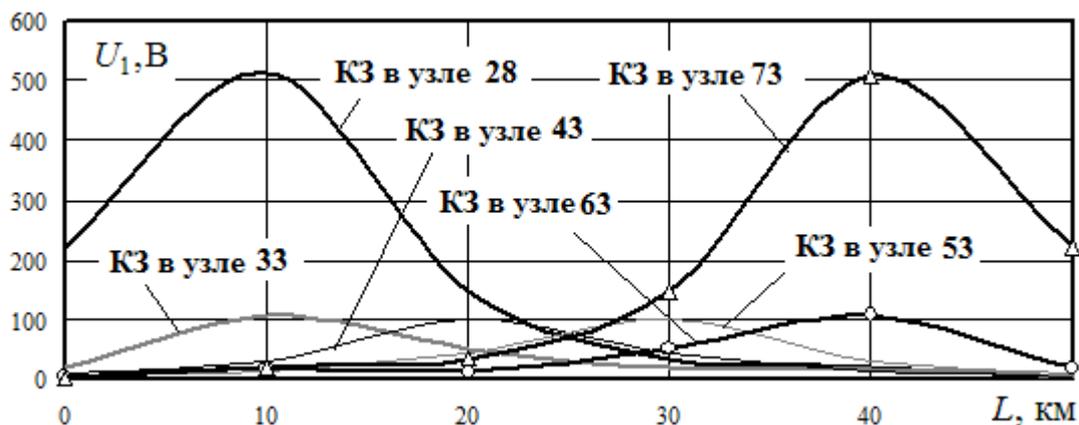


Рис. 9. Распределение наведенных напряжений по длине трубопровода при замыкании питающего провода на рельс

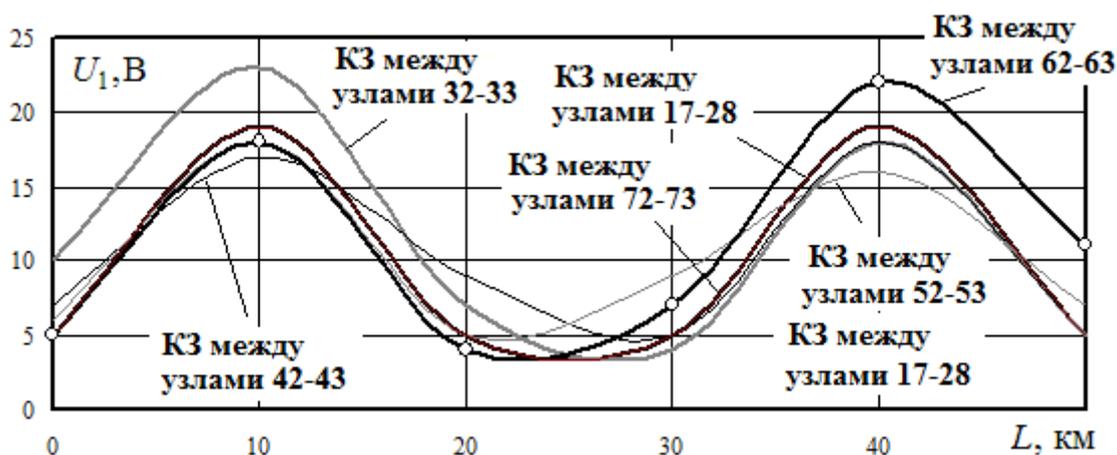
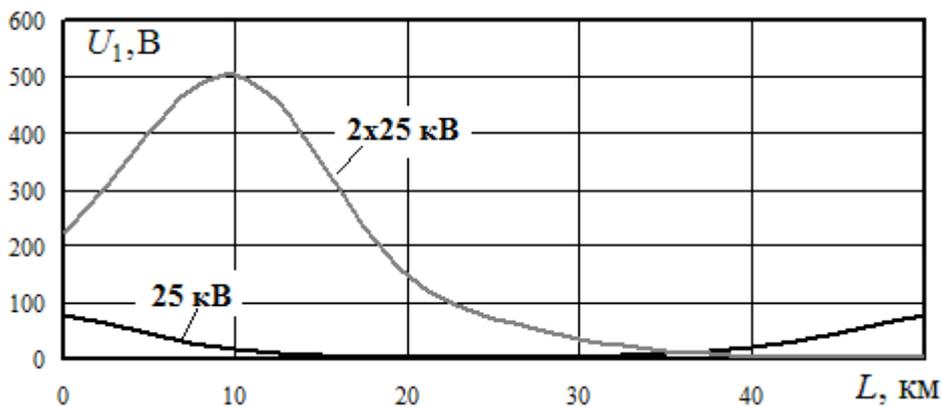


Рис. 10. Распределение наведенных напряжений по длине трубопровода при замыкании между контактной подвеской и питающим проводом

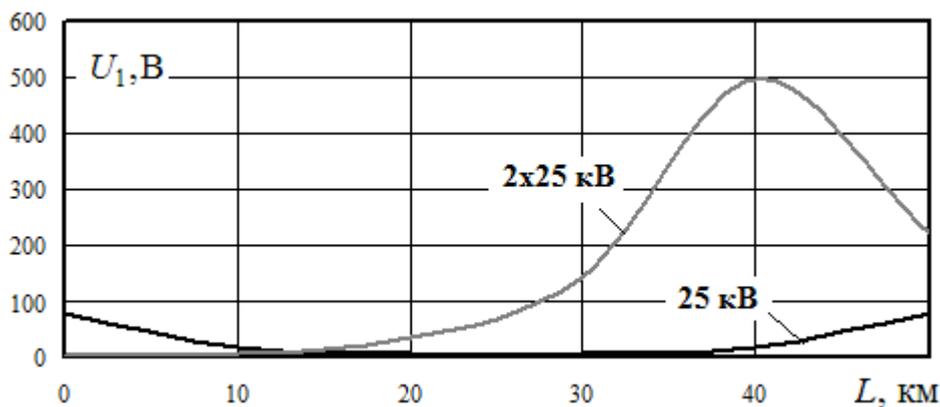
Максимальные наведенные напряжения, достигающие 503...512 В имеют место при КЗ контактной подвески или питающего провода на рельс. При замыкании между контактной подвеской и ПП максимум наведенных напряжений не превышает 22 В. Таким образом, в режимах КЗ наведенные напряжения не превышают допустимых значений в 1000 В, установленных нормативным документом [18].

Распределение наведенных напряжений по длине трубопровода для ТС 25 и 2x25 кВ существенно различаются (рис. 11 и 12).

Для тяговой сети 25 кВ наибольшие уровни наведенных напряжений имеют место при КЗ в промежуточных точках МПЗ, а для ТС 2x25 кВ при КЗ в точках, расположенных вблизи тяговых подстанций.



а)



б)

Рис. 11. Распределение наведенных напряжений по длине трубопровода при замыкании контактного провода на рельс вблизи ТП: а – правая ТП; б – левая ТП

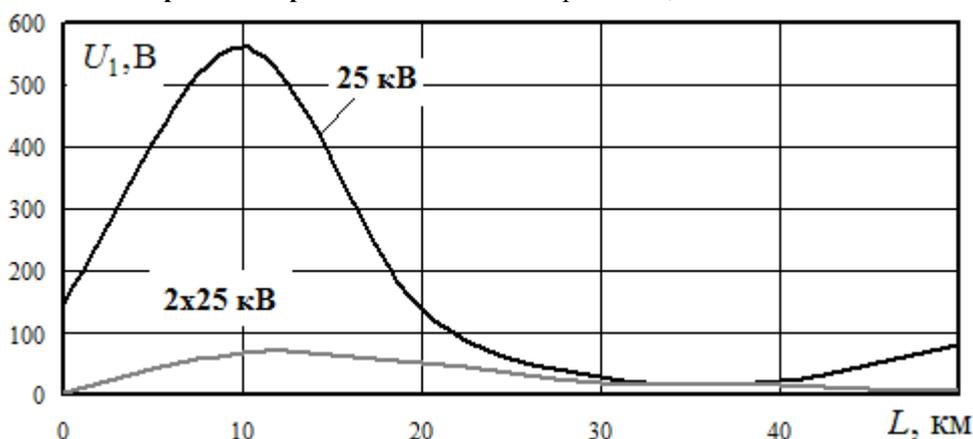


Рис. 12. Распределение наведенных напряжений по длине трубопровода при замыкании контактного провода на рельс на расстоянии 10 км от правой ТП

Заключение. Предложена методика компьютерного моделирования, позволяющая адекватно определять наведенные напряжения при коротких замыканиях в тяговых сетях 25 и 2x25 кВ. Результаты моделирования, выполненного применительно к типовым схемам тяговых сетей 25 и 2x25 кВ, показали, что при ширине сближения трубопровода и ТС в 100 м уровни наведенных напряжений при КЗ не превышают допустимой величины в 1000 В, установленной нормативным документом [18].

При уменьшении ширины сближения, что возможно в некоторых особых ситуациях величины наведенных напряжений могут превышать установленный предел.

Предложенная методика может использоваться для анализа условий электробезопасности при проектировании трасс сближения трубопроводов и железных дорог переменного тока. Также методика может применяться в эксплуатации магистральных трубопроводов, имеющих участки сближения с тяговыми сетями 25 и 2x25 кВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крапивский Е.И., Яблучанский П.А. Алгоритм расчета электромагнитного влияния линии электропередачи переменного тока на подземный трубопровод // Горный информационно-аналитический бюллетень. №2. 2013. С. 213-224.
2. Яблучанский А.И. Оценка влияния высоковольтных ЛЭП переменного тока на проектируемый газопровод и технические решения по его устранению // Матер. отраслевого совещания по проблемам защиты от коррозии. М: ИРЦ Газпром, 2008. С. 48-56.

3. Закарюкин В.П., Крюков А. В., Иванова А.П. Компьютерное моделирование электромагнитного влияния тяговых сетей на трубопроводы // Вестник ИрГТУ. Т. 21. № 5. 2017. С. 104-114.
4. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск: Иркут. ун-т. 2005. 273 с.
5. Крюков А.В., Закарюкин В.П. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока. Иркутск: ИрГУПС, 2011. 170 с.
6. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Уточненная методика определения взаимных электромагнитных влияний смежных линий электропередачи // Известия вузов. Проблемы энергетики. № 3-4. 2015. С. 29-35.
7. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Определение наведенных напряжений при непараллельном сближении линий электропередачи // Электрические станции. № 5. 2015. С. 47-52.
8. V.P. Zakaryukin and A.V. Kryukov. Determination of the induced voltages when non-parallel power lines are adjacent to one another // Power Technology and Engineering. Vol. 49, No. 4, November, 2015. P. 304-309.
9. Carson, J.R. Wave propagation in overhead wires with ground return // Bell Syst. Tech. J. 1926. 5. P. 539-554.
10. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Черепанов А.В. Моделирование резонансных процессов на высших гармониках в тяговых сетях переменного тока // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 3(51). 2016. С. 214-221.
11. Закарюкин В. П., Крюков А. В., Нгуен Ты. Электромагнитное влияние тяговых сетей с экранирующими и усиливающими проводами // Электробезопасность. № 2. 2016. С. 22-30.
12. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Нгуен Ты. Моделирование систем тягового электроснабжения с коаксиальными кабелями и отсасывающими трансформаторами // Электроника и электрооборудование транспорта. С17-22.
13. Буюкова Н.В., Закарюкин В.П., Крюков А.В. Электромагнитная безопасность в перспективных системах электроснабжения магистральных железных дорог // Вестник Пермского национального исследовательского университета. Безопасность и управление рисками. № 5. С. 110-119.
14. Моделирование аварийных режимов в системах электроснабжения железных дорог : монография / Е. А. Алексеенко, Ю. Н. Булатов, В. П. Закарюкин, А. В. Крюков ; под общ. ред. А. В. Крюкова. М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2017. 169 с.
15. Электромагнитная безопасность тяговых сетей в режимах плавки гололеда // Н.В. Буюкова, В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, Н.С. Лагунова // Энергобезопасность и энергосбережение. № 5(83). 2018. С. 5-10.
16. Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. М.: Энергия, 1973. 272 с.
17. Наведенные продольные напряжения в параллельных воздушных линиях электропередачи / М.Ш. Мисриханов, С.Г. Мурзин, В.Н. Седунов, А.Ю. Токарский // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. № 5(3). Т. 14. С. 808-814.
18. Technische Richtlinien-71 (TRL-71). EMR-Technic Kathodischer Korrosionsschutz fur Erdgasfernleitungen. P. 80.

REFERENCES

1. Krapivsky E.I., Yabluchansky P.A. Algorithm for calculating the electromagnetic effect of an AC power line on an underground pipeline // Mountain informational and analytical bulletin. No. 2. 2013. P. 213-224.
2. Yabluchansky A.I. Evaluation of the influence of high-voltage AC power lines on the designed gas pipeline and technical solutions for its elimination // Industry Meeting on Corrosion Protection. M., 2008. P. 48-56.

3. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Ivanova A.P. Computer simulation of the electromagnetic influence of traction networks on pipelines // Proceedings of Irkutsk State Technical University. T. 21. No. 5. 2017.S. 104 -114.
4. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Complex asymmetric modes of electrical systems. Irkutsk, 2005. 273 p.
5. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P. Methods for joint modeling of traction and external power supply systems for AC railways. Irkutsk, 2011.170 p.
6. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. An updated methodology for determining the mutual electromagnetic effects of adjacent power lines // News of universities. Problems of energy. No. 3-4. 2015. P. 29-35.
7. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Determination of induced voltages during unparallelled rapprochement of power lines // Electric stations. No. 5. 2015. P. 47-52.
8. V.P. Zakaryukin and A.V. Kryukov. Determination of the induced voltages when non-parallel power lines are adjacent to one another // Power Technology and Engineering. Vol. 49, No. 4, November, 2015. P. 304-309.
9. Carson, J.R. Wave propagation in overhead wires with ground return // Bell Syst. Tech. J. 1926. 5. P. 539-554.
10. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Cherepanov A.V. Modeling of resonant processes at higher harmonics in traction AC networks // Modern Technologies. System analysis. Modeling. No. 3 (51). 2016. P. 214-221.
11. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Nguyen Tu. The electromagnetic effect of traction networks with shielding and reinforcing wires // Electrical Safety. No. 2. 2016. P. 22-30.
12. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Nguyen Tu. Modeling of traction electrical supply systems with coaxial cables and suction transformers // Electronics and electrical equipment of transport. P. 17-22.
13. Buyakova N.V., Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Electromagnetic safety in promising power supply systems of main railways // Bulletin of Perm National Research University. Security and risk management. No. 5. P. 110-119.
14. Modeling emergency conditions in power supply systems of railways: monograph / E. A. Alekseenko, Yu. N. Bulatov, V. P. Zakaryukin, A. V. Kryukov. M.; Berlin: Direct Media, 2017. 169 p.
15. Electromagnetic safety of traction networks in ice melting modes // N.V. Buyakova, V.P. Zakaryukin, A.V. Kryukov, N.S. Lagunova // Energy Security and Energy Saving. No. 5 (83). 2018. P. 5-10.
16. Kostenko M.V., Perelman L.S., Shkarin Yu.P. Wave processes and electrical interference in multi-wire high voltage lines. M.: Energy, 1973. 272 p.
17. Induced longitudinal voltages in parallel overhead power lines / M. Sh. Misrikhanov, S.G. Murzin, V.N. Sedunov, A.Yu. Tokarsky // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2012. No. 5 (3). T. 14. P. 808-814.
18. Technische Richtlinien-71 (TRL-71). EMR-Technic Kathodischer Korrosionsschutz fur Erdgasfernleitungen. P. 80.

Информация об авторах

Черепанов Александр Валерьевич – к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: dmitriy987@mail.ru

Крюков Александр Егорович – студент группы СОД 1-17-1, факультет «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: appleforevor@gmail.com.

Для цитирования

Черепанов А.В. Электромагнитное влияние тяговых сетей на трубопроводы в режимах коротких замыканий [Электронный ресурс] / А.В.Черепанов, А.Е. Крюков // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – № 2(8). – Режим доступа: <http://mnv.irknps.ru/toma/28-20>, свободный.– Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 23.09.2019)

For citation

Cherepanov A.V. Electromagnetic influence of traction networks on pipelines in short circuit modes [Electronic resource] / A.V. Cherepanov, A.E. Kryukov // Young science of Siberia: electron. scientific journal - 2020. - No. 2(8). - Access mode: <http://mnv.irknps.ru/toma/28-20>, free. - Zagl. from the screen. - Yaz. Russian, English (date of the application: 23.09.2019)