



- мирования мультимодальных транспортных коридоров малоосвоенных районов Дальневосточного Федерального округа // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. Вып. 3. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2015. С. 223–229.
4. Нагорная Н.В., Нестерова Н.С., Гончарук С.М. Концепция формирования области эффективных альтернатив для решения проблемы этапного развития облика и мощности мультимодальных транспортных коридоров малоосвоенных районов Дальнего Востока // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. Вып. 3. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2015. С. 230–235.
  5. Научно-обоснованная концепция вариантов развития сети железных дорог для транспортного обеспечения комплексного освоения природных ресурсов Восточного и Дальневосточного экономических регионов : отчет о НИР. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 1993. 98 с.
  6. Байкало-Амурская магистраль и её роль в освоении природных ресурсов Дальневосточного региона : отчет о НИР. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 1995. 67 с.
  7. Гончарук С.М., Лебедева Н.А. Особенности и методология проектирования этапного развития облика и мощности мультимодальной транспортной сети : метод. пособие. Хабаровск, 2012. 108 с.
  8. Лебедева Н.А. Формирование области эффективных альтернатив изменения облика и мощности мультимодальных транспортных узлов на основе системного подхода : дис ... канд. тех. наук. Хабаровск, 2009. 179 с.
  9. Гончарук С.М., Гавриленков А.В., Шварцфельд В.С. Принятие решений при проектировании облика и мощности сети железных дорог (системный подход). Ч. 1. Методология формирования альтернатив облика и мощности сети железных дорог с учетом надежности ее функционирования. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. 178 с.
  10. Методологические основы проектирования этапного развития облика и мощности мультимодальной транспортной сети / С.М. Гончарук и др. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. 227 с.
  11. Предпосылки и перспективы развития транспортной системы Дальнего Востока и Забайкалья [Электронный ресурс]. URL: <http://www.myshared.ru/slide/641373/> (дата обращения 18.03.2017).
  12. Гончарук С.М. Вопросы развития и проектирования опорных и местных транспортных сетей малоосвоенных районов : дисс. ... канд. техн. наук. М., 1975. 194 с.
  13. Едигарян А.Р., Нестерова Н.С., Гончарук С.М. Методика экономической оценки элементов мультимодальной транспортной сети // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 3 (39). С. 210–214.
  14. Нестерова Н.С., Гончарук С.М. Методика формирования региональных мультимодальных транспортных коридоров как элементов мультимодальной транспортной сети (на примере малоосвоенных районов Дальнего Востока и северо-востока) // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. Вып. 1. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2013. С. 52–65.
  15. Быков Ю.А., Гончарук С.М. Проблемы проектирование облика и мощности новых железных дорог и пути их решения (системный подход). Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2004. 239 с.
  16. Сопоставимые издержки разных видов транспорта при перевозке грузов / под ред. В. И. Дмитриева, К.Н. Шимко. М. : Транспорт, 1972. 488 с.

УДК 621.311: 621.321

*Закарюкин Василий Пантелеймонович,*

*д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 8(395)2638399 доб. 0118, e-mail: zakar49@mail.ru*

*Крюков Андрей Васильевич,*

*д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 8(395)2638399 доб. 0118, e-mail: and\_kryukov@mail.ru*

*Лагунова Наталья Сергеевна,*

*аспирантка, Иркутский государственный университет путей сообщения, тел. 8(395)2638399 доб. 0118, e-mail: nata.lagunova2015@yandex.ru*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА В ТЯГОВЫХ СЕТЯХ

*V. P. Zakaryukin, A. V. Kryukov, N. S. Lagunova*

### MODELLING OF ICE MELTING MODES IN TRACTION NETWORKS

**Аннотация.** Отложения гололеда, изморози и мокрого снега на проводах тяговой сети могут приводить к следующим негативным последствиям: разрегулировке и сближению проводов; интенсивной пляске проводов, в результате которой



возникают короткие замыкания, повреждения линейной арматуры и креплений; механической перегрузке и обрыву проводов, поломке траверс и кронштейнов; разрушению опор при сильном ветре и наличии гололедных отложений. Для борьбы с гололедом применяются тепловые, механические и химические способы. К тепловым относятся профилактический подогрев проводов и плавка гололеда.

Эффективность тепловых способов борьбы с гололедом может быть повышена путем создания методик планирования режимов подогрева и плавки, основанных на компьютерном моделировании. Такое моделирование можно реализовать с использованием методов определения режимов систем тягового электроснабжения в фазных координатах, разработанных в Иркутском государственном университете путей сообщения.

В статье приведены результаты исследований, направленных на создание технологий компьютерного моделирования режимов борьбы с гололедными отложениями путем подогрева проводов токами, возникающими при питании участка контактной сети от разных фаз тяговой подстанции.

На основе полученных результатов сформулированы следующие выводы: при питании контактной сети от разных фаз тяговой подстанции токи проводов значительно возрастают и вызывают существенный нагрев проводов, достаточный для эффективной плавки гололеда; в режиме питания участка контактной сети от разных фаз тяговой подстанции напряжения на токоприемниках электровозов находились в допустимых пределах; коэффициенты несимметрии по обратной последовательности на шинах первичного напряжения тяговых подстанций не выходили за нормально допустимые диапазоны; рост токов, протекающих по проводам, привел к увеличению уровней напряженности магнитного поля.

Предложенная методика моделирования режимов питания участков контактной сети от разных фаз тяговой подстанции может применяться для планирования режимов борьбы с гололедом.

**Ключевые слова:** система тягового электроснабжения, плавка гололеда, фазные координаты.

**Abstract.** Ice, hoarfrost and sleet on wires of a tractive network can lead to the following negative consequences: to whipping and approach of wires; to intensive dancing of wires leading to short circuits, damages of the linear accessories and fixings result; to a mechanical overload and wire breakage, breakage traverse and brackets; to corrupting of support in case of the strong wind and existence of ice cover. Thermal, mechanical and chemical methods are applied to fight against ice. Preventive heating of wires and melting of ice belong to thermal methods.

Efficiency of thermal methods of fight against ice can be increased by methods of planning of heating and melting modes based on computer simulation. Such simulation can be realized with use of methods of determination of tractive electrical power supply system's modes in phase coordinates developed at the Irkutsk state transport university.

Results of the researches aiming to create computer simulation technologies of fight against ice cover by wires heating by currents arising in case of contact network supply from different phases of tractive substation are given in the article.

On the basis of received results the following outputs are formulated: in case of contact network supply from different phases of tractive substation wires currents increase significantly; these currents cause the essential wires heating sufficient for effective ice melting; in a contact network supply from different phases of tractive substations electric locomotives current collectors voltages were in tolerable limits; asymmetry coefficients on the reverse sequence on primary buses of tractive substations didn't quit from normally tolerance ranges; growth of the currents proceeding on wires led to increase in magnetic field strength.

The offered technique of modelling contact network supply from different phases of tractive substations can be applied to planning of modes of fight against ice.

**Keywords:** tractive power supply system, ice melting, phase coordinates.

## Введение

При эксплуатации тяговых сетей (ТС) в ряде регионов возникает обледенение проводов контактных подвесок в зимний период [1, 2]. Отложение гололеда существенно затрудняет нормальную эксплуатацию систем тягового электроснабжения (СТЭ). За последние десятилетия произошли заметные изменения в динамике и географии образования гололеда, который зарождается по причине соприкосновения двух масс воздуха: холодного и теплого повышенной влажности [3]. В условиях относительно мягкой зимы при понижении температуры воздуха от положительной к отрицательной на проводах контактной подвески оседают капли воды и начинается лавинообразный процесс образования ледяной корки, толщина которой может достигать нескольких десятков миллиметров. Отложения гололеда, изморози и мокрого снега на проводах могут приводить к следующим негативным последствиям [1]:

– разрегулировке и сближению проводов;

– интенсивной пляске проводов, в результате которой возникают короткие замыкания, повреждения линейной арматуры и креплений;

– механической перегрузке и обрыву проводов, поломке траверс и кронштейнов;

– разрушению опор при сильным ветре и наличии гололедных отложений.

Для борьбы с гололедом применяются тепловые, механические и химические способы [1]. К тепловым относятся профилактический подогрев проводов и плавка гололеда.

Эффективность тепловых способов борьбы с гололедом на проводах ТС может быть повышена на основе создания методов планирования режимов подогрева и плавки, основанных на компьютерном моделировании. Такое моделирование можно реализовать с использованием методов определения режимов СТЭ в фазных координатах, разработанных в ИрГУПСе [4, 5]. Ниже приведены результаты исследований, направленных на создание технологий компьютерного моделирования режимов борьбы с гололедными отложениями



путем подогрева проводов токами, возникающими при питании участка контактной сети (КС) от разных фаз тяговой подстанции [2].

### Методика моделирования режимов СТЭ

Наиболее приемлемый метод, обеспечивающий адекватное моделирование режимов СТЭ, может быть реализован на основе использования фазных координат [4–14], которые являются наиболее естественным описанием трехфазно-однофазных электрических сетей. С помощью такого подхода могут быть составлены уравнения, обеспечивающие адекватное описание реальных режимов СТЭ, характеризующихся значительной продольной и поперечной несимметрией. В ИрГУПСе разработаны методы моделирования СТЭ в фазных координатах, базирующиеся на применении решетчатых схем замещения (РСЗ), которые представляют собой RLC – элементы, соединенные в схемы полных графов. Для РСЗ можно записать следующее формализованное определение:

$$TEC: hub \cup con, \forall i, j \subset hub \rightarrow con_{i,j} \subset con,$$

где  $TEC$  – обозначение РСЗ;  $hub$  – множество узлов РСЗ;  $con$  – множество ветвей РСЗ.

Основные элементы, образующие СТЭ, могут быть разделены на две группы:

- элементы для транспорта электроэнергии: воздушные и кабельные линии электропередачи, тяговые сети;
- преобразовательные элементы: трансформаторы различных конструкций.

Указанные устройства можно обобщенно рассматривать как статические многопроводные элементы, представляющие собой набор проводов или обмоток, имеющих электромагнитные связи [4, 5].

Параметры матрицы проводимостей, отвечающей РСЗ с числом узлов, равным  $n = 2r$ , определяются по следующим выражениям [4, 5].

Матрица ЛЭП

$$\underline{Y}_C = \underline{Y}_{PC} + j\omega \underline{C}_Y,$$

$$\text{где } \underline{Y}_{PC} = -\underline{M}_0 \underline{Z}^{-1} \underline{M}_0^T = \begin{bmatrix} -\underline{D} & \underline{D} \\ \underline{D} & -\underline{D} \end{bmatrix};$$

$\underline{Y}_{PC}$  – матрица размерностью  $2r \times 2r$ ;  $\underline{D} = \underline{Z}^{-1}$ ;  $\underline{Z}$  – исходная матрица сопротивлений элемента размерностью  $r \times r$ , учитывающая взаимные индуктивные связи между проводами;  $z_{ik} = z_{ki}$ ;  $r$  – исходное число проводов ЛЭП без учета их соединения;  $\underline{M}_0$  – матрица, определяемая

$$\text{на основе соотношения } \underline{M}_0 = \begin{bmatrix} \underline{E}_r \\ -\underline{E}_r \end{bmatrix}, \quad \underline{E}_r -$$

единичная матрица размерностью  $r \times r$ ;

$$\underline{C}_Y = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \underline{B} & 0 \\ 0 & \underline{B} \end{bmatrix};$$

$\omega = 314$  рад/с;  $\underline{B} = \underline{A}^{-1}$ ;  $\underline{A}$  – матрица потенциальных коэффициентов, размерностью  $r \times r$ .

Матрица трансформаторов

$$\underline{Y}_C = \begin{bmatrix} -\underline{Z}_E^{-1} & \underline{Z}_E^{-1} \\ \underline{Z}_E^{-1} & -\underline{Z}_E^{-1} \end{bmatrix},$$

где  $\underline{Z}_E = \underline{Z} - j\omega \underline{W}_1 \underline{R}_M^{-1} \underline{W}_2$ ;  $\underline{Z}$  – матрица электрических сопротивлений обмоток трансформатора;  $\underline{R}_M$  – матрица магнитных сопротивлений;  $\underline{W}_1$ ,  $\underline{W}_2$  – матрицы, составленные из чисел витков обмоток трансформатора в соответствии с выражениями, приведенными в работах [4, 5].

При моделировании режимов плавки гололеда СТЭ одной из основных задач является расчет температур токоведущих частей [2]. Наиболее полная информация о тепловых процессах может быть получена путем определения динамики изменения температуры  $\tau = \tau(t)$ , где  $t$  – время;  $\tau = \vartheta - \vartheta_0$  – разница между температурой провода  $\vartheta$  и температурой окружающей среды  $\vartheta_0$ .

Для того чтобы решить сформулированную задачу построения зависимости  $\tau = \tau(t)$ , можно использовать уравнение теплового баланса провода:

$$I^2 R [1 + \alpha(\tau + \Delta\vartheta)] dt = G C_0 d\tau + F k_r \tau dt, \quad (1)$$

где  $I$  – ток, который протекает по анализируемому проводу, А;  $R$  – сопротивление провода при условии, что его температура равна  $20^\circ\text{C}$ , Ом;  $\alpha$  – коэффициент, определяющий изменение сопротивления  $R$  при вариации температуры,  $1/^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\vartheta = \vartheta_0 - 20^\circ$ ;  $G$  – масса провода, кг;  $C_0$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C);  $F$  – площадь поверхности провода,  $\text{м}^2$ ;  $k_r$  – коэффициент теплоотдачи, вызванной излучением и конвективным теплообменом, Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{K}$ ).

Если не учитывать температурное расширение провода, то после некоторых преобразований можно записать уравнение (1) в следующем виде:

$$I^2 \frac{\rho}{S} (1 + \alpha \Delta\vartheta) = S \gamma C_0 \frac{d\tau}{dt} + \left( \pi D k_r - I^2 \frac{\rho}{S} \alpha \right) \tau \quad (2)$$

или

$$\frac{d\tau}{dt} + \frac{\tau}{T_0} (1 - \alpha B) = A, \quad (3)$$

где  $\rho$  – электрическое удельное сопротивление, Ом·м;  $S$  – поперечное сечение провода,  $\text{м}^2$ ;  $\gamma$  –



плотность материала, из которого выполнен провод, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  – диаметр выбранного провода, м;

$T_0 = \frac{S\gamma C_0}{\pi D k_T}$  – тепловая постоянная времени при

$\alpha = 0$ , с;  $B = \frac{I^2 \rho}{S\pi D k_T}$  – величина, которая зависит

от мощности нагрева и определяет возможность неограниченного увеличения температуры;

$A = \frac{I^2 \rho (1 + \alpha \Delta \vartheta)}{S^2 \gamma C_0}$  – первоначальная скорость

нарастания температуры при условии отсутствия начального перегрева.

Уравнение (3) можно представить в конечных приращениях:

$$\Delta \tau = \left[ A - \frac{\tau}{T_0} (1 - \alpha B) \right] \Delta t.$$

Для неизменного во времени тока, который протекает по проводу, решение уравнения (3) может быть записано так:

$$\tau(t) = \tau_0 e^{-\frac{t}{T_i}} + \tau_\infty \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_i}} \right),$$

где  $\tau_0$  – первоначальное превышение температуры, °С;

$\tau_\infty = \frac{AT_0}{1 - \alpha B}$  – значение  $\tau$  при  $t = \infty$ , °С;

$T_i = \frac{T_0}{1 - \alpha B}$  – постоянная времени нагревания, с.

Для того чтобы определить параметры  $T_0$  и  $k_T$ , можно воспользоваться нормативно установленными значениями допустимого превышения температуры нагрева  $\tau_D = \vartheta_D - \vartheta_0$  и допустимого тока  $I_D$ . Тогда можно получить

$$\vartheta_D - \vartheta_0 = \frac{A_D T_0}{1 - \alpha B_D}$$

$$\text{где } A_D = \frac{I_D^2 \rho (1 + \alpha \Delta \vartheta)}{S^2 \gamma C_0}, \quad B_D = \frac{I_D^2 \rho}{S\pi D k_T}.$$

После некоторых преобразований можно записать

$$\vartheta_D - \vartheta_0 = \left[ A_D \frac{S\gamma C_0}{\pi D} + (\vartheta_D - \vartheta_0) \alpha \frac{I_D^2 \rho}{S\pi D} \right] \frac{1}{k_T};$$

$$k_T = \frac{I_D^2 \rho}{S\pi D} \cdot \frac{1 + \alpha \Delta \vartheta + \alpha (\vartheta_D - \vartheta_0)}{\vartheta_D - \vartheta_0}.$$

$$\text{Тогда } T_0 = \frac{S\gamma C_0}{\pi D k_T}.$$

### Результаты моделирования

Представленная методика расчета нагрева проводов апробирована на схеме СТЭ, включающей три тяговых подстанции с двумя межподстанционными зонами. Рассматривался режим питания участка КС от разных фаз тяговой подстанции. Моделировалось движение двух грузовых поездов массой 4084 тонны в нечетном направлении. График движения представлен на рис. 1. Токковый профиль поезда показан рис. 2. Координаты проводов в поперечном сечении ТС приведены на рис. 3. Схема, обеспечивающая дополнительный подогрев участка контактной сети, выполненной проводом МФ-100 и тросом ПБСМ-95, показана на рис. 4.

Моделирование проведено с помощью комплекса программ Fazonord, разработанного в ИРГУПСе [15]. Схема расчетной модели представлена на рис. 5. Результаты моделирования сведены в табл. 1, 2 и проиллюстрированы на рис. 6-11.

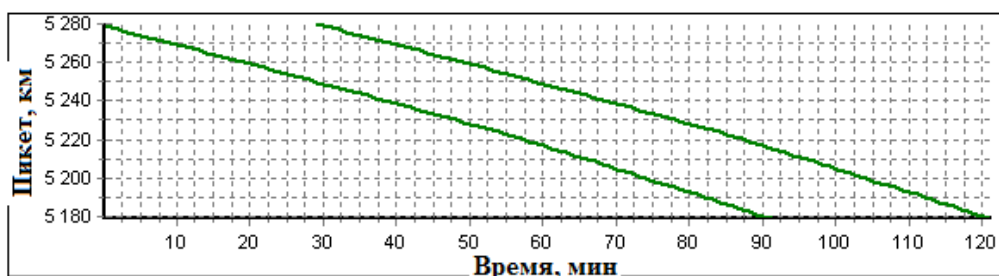


Рис. 1. График движения поездов

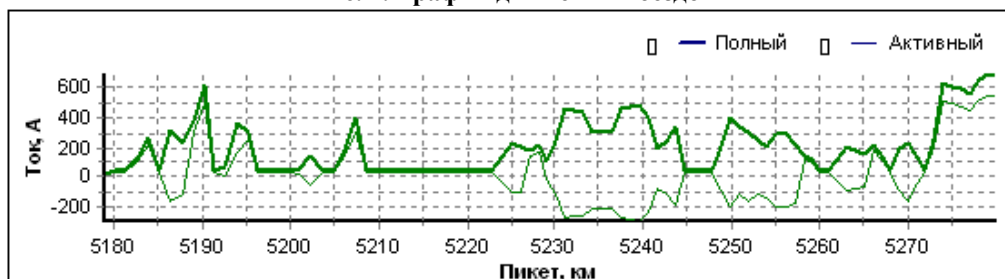


Рис. 2. Токковый профиль поезда массой 4084 т

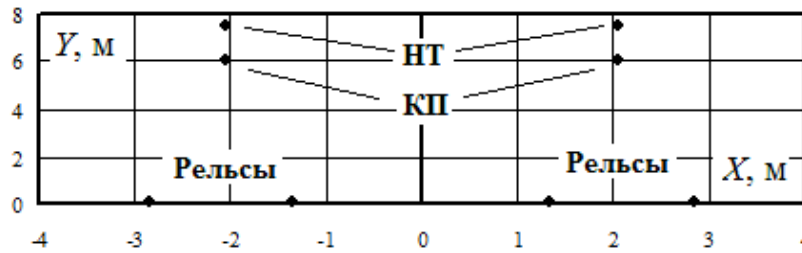


Рис. 3. Координаты проводов: КП – контактный провод; НТ – несущий трос

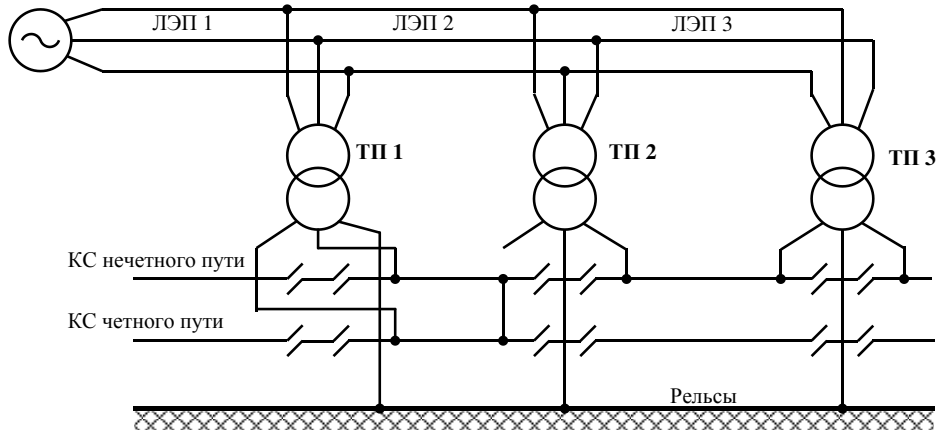


Рис. 4. Схема плавки гололеда

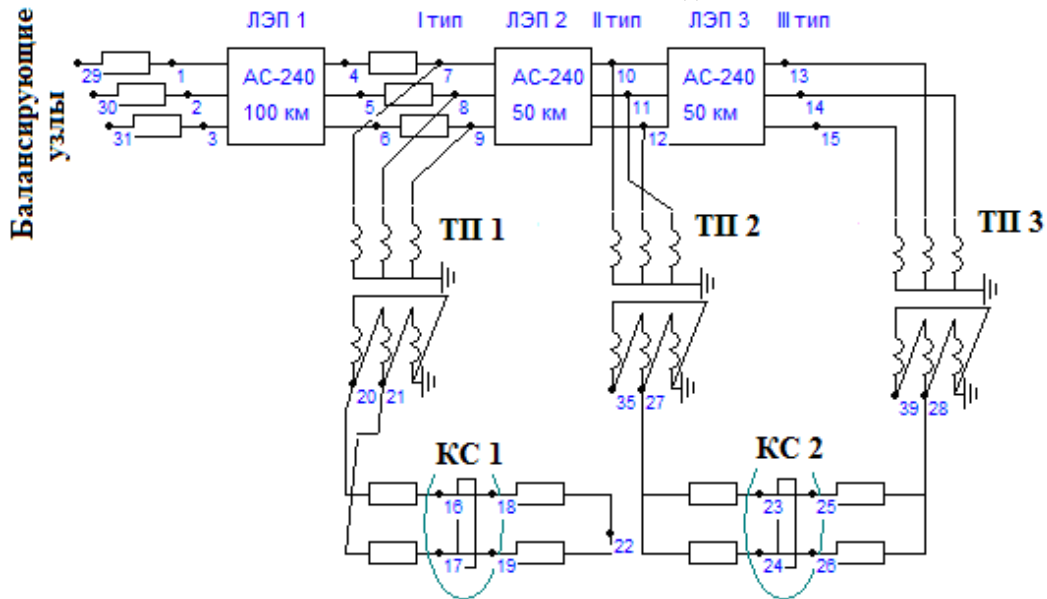


Рис. 5. Схема расчетной модели

Таблица 1

Максимумы токов проводов КС 1, А

Тип	Место измерения	Мгновенное значение	Интервал осреднения		
			1 мин	3 мин	20 мин
КП	Начало провода	796	796	692	580
	Конец провода	593	593	578	533
НТ	Начало провода	440	440	384	323
	Конец провода	331	331	323	298
КП	Начало провода	591	591	576	531
	Конец провода	593	593	578	533
НТ	Начало провода	330	330	322	297
	Конец провода	332	332	323	298

Примечание: КП – контактный провод; НТ – несущий трос

Нагревы проводов КС 1, град

Тип	Место измерения	Мгновенное значение	Интервал осреднения		
			1 мин	3 мин	20 мин
КП	Начало провода	65	65	61	51
	Конец провода	44	44	44	41
НТ	Начало провода	18	18	17	14
	Конец провода	13	13	12	12
КП	Начало провода	44	44	44	41
	Конец провода	44	44	44	41
НТ	Начало провода	12	12	12	12
	Конец провода	13	13	12	12

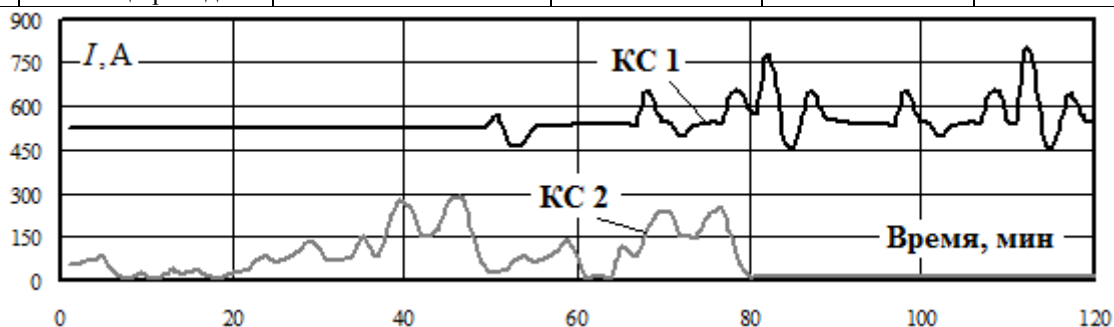


Рис. 6. Токи контактных проводов нечетного пути

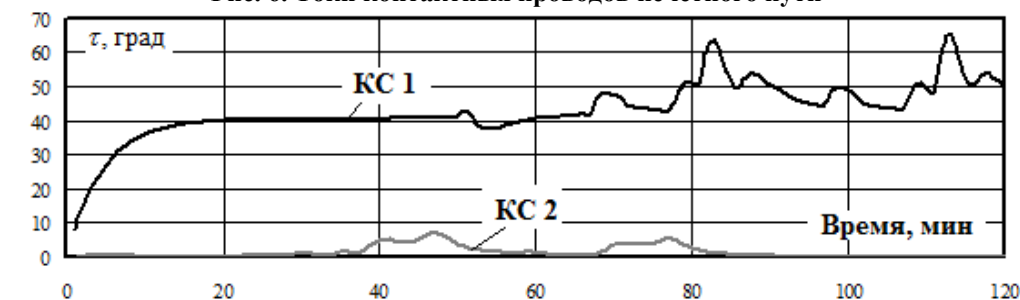


Рис. 7. Нагревы контактных проводов

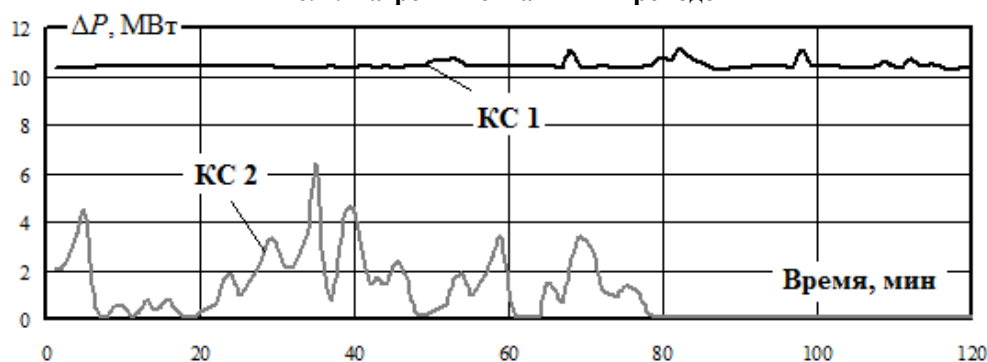


Рис. 8. Потери в контактной сети



Рис. 9. Изменение напряжений на токоприемниках

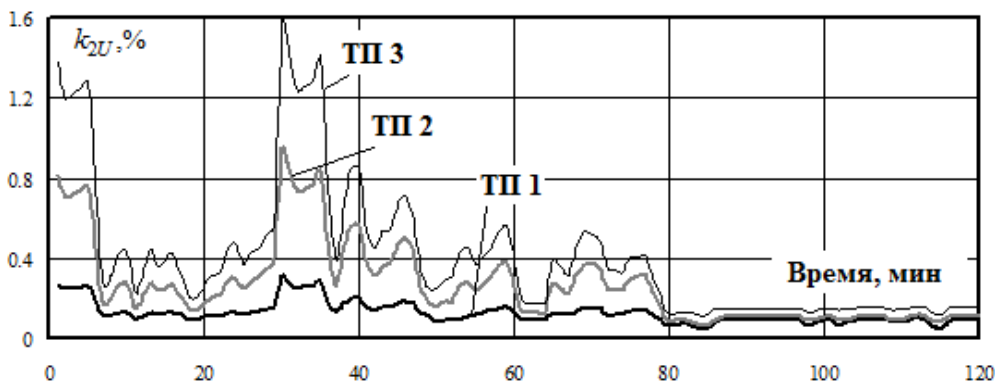


Рис. 10. Несимметрия на шинах питающего напряжения ТП:  
 $k_{2U}$  – коэффициент несимметрии по обратной последовательности

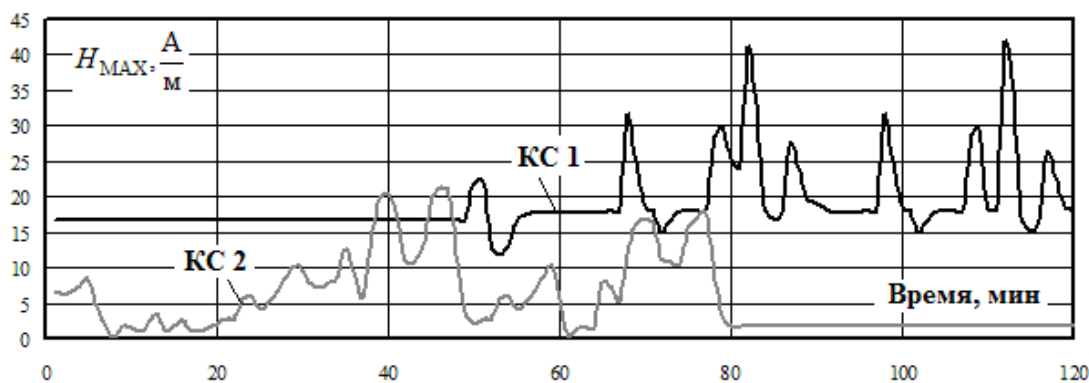


Рис. 11. Напряженность магнитного поля в точке с координатами:  $X = 5$  м;  $Y = 1,8$  м

На основе полученных результатов могут быть сформулированы следующие выводы.

1. При питании КС от разных фаз ТП токи проводов КС значительно возрастают: в расчетном примере 20 минутные греющие максимумы токов контактного провода и несущего троса нечетного пути достигали, соответственно: 580 и 320 А; для четного пути, по которому движение поездов не осуществлялось, аналогичные показатели составляли: 530 и 300 А.

2. Протекающие по проводам токи вызывают существенный рост потерь и нагрев проводов, достаточный для эффективной плавки гололеда.

3. В режиме питания участка КС от разных фаз ТП напряжение на токоприемниках электровозов изменялось в допустимых пределах; коэффициенты несимметрии по обратной последовательности на шинах высокого напряжения тяговых подстанций не выходили за нормально допустимые диапазоны.

4. Рост токов, протекающих по проводам контактной сети в режиме подогрева, привел к увеличению уровней напряженности магнитного поля примерно вдвое по сравнению с режимом отсутствия подогрева.

#### Заключение

Предложенная методика моделирования режимов питания участков контактной сети от раз-

ных фаз тяговой подстанции может применяться для планирования режимов борьбы с гололедом.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по борьбе с гололедом и автоколебаниями на контактной сети, линиях ДПР, автоблокировки и продольного электропитания. Кн. 1. М., 2004. 105 с.
2. Григорьев В.Л., Игнатъев В.В. Тепловые процессы в устройствах тягового электроснабжения. М.: УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2007. 182 с.
3. Никитина И.Э., Абдархманова Н.Х., Никитина С.А. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи // Нефтегазовое дело. 2015. № 3. С. 794–823.
4. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Сложнонесимметричные режимы электрических систем. Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 2005. 273 с.
5. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Методы совместного моделирования систем тягового и внешнего электроснабжения железных дорог переменного тока. Иркутск : изд-во Иркут. гос. ун-та путей сообщения. 2011. 160 с.
6. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Электромагнитная обстановка на объектах же-



- лезнодорожного транспорта. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2011. 130 с.
7. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Буякова Н.В. Управление электромагнитной обстановкой в тяговых сетях железных дорог. Ангарск: Изд-во АГТА, 2014. 158 с.
  8. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Multifunctional mathematical models of railway electric systems // Innovation and Sustainability of modern railway proceeding of ISMR 2008. China railway publishing house. Beijing, 2008. P. 504–508.
  9. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Intelligent Traction Power Supply System // The power grid of the future/ Proceeding № 2. Otto-von-Guericke University Magdeburg. Magdeburg. 2013. pp. 44–48.
  10. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Mathematical Model of Multiphase Power Transmission Line // The power grid of the future. Proceeding № 3. Otto-von-Guericke University Magdeburg. Magdeburg. 2013. pp. 70–74.
  11. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Multifunzionale modellazione di sistemi di energia elettrica-energia // Italian science Review. 2014. 3(12). pp. 267–272.
  12. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Abramov N.A. Electro energetic technological control in Eastern Siberia Railway // JEPE Journal of energy and power engineering. v.6. # 2. 2012. pp. 293–299. (USA).
  13. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Buiakova N.V. Management of electromagnetic environment in railway electro traction systems. // Smart grid for efficient energy power system for the future. Proceeding. Vol. 1. Otto-von-Guericke University Magdeburg. Magdeburg. 2012. pp. 31–35.
  14. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Buyakova N.V. Improvement of Electromagnetic Environment in Traction Power Supply Systems // The power grid of the future. Proceeding № 2. Otto-von-Guericke University Magdeburg. Magdeburg. 2013. pp. 39–44.
  15. Свидетельство №2007612771 Рос. Федерация. «Fazonord-Качество – Расчеты показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения в фазных координатах с учетом движения поездов» / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков. Федер. служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Зарегистр. 28.06.2007.

УДК 621.331:625.1

*Худогозов Игорь Анатольевич,*  
д. т. н., профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта»,  
Иркутский государственный университет путей сообщения,  
тел. 8 (3952) 638342, e-mail: [Hudonogovi@mail.ru](mailto:Hudonogovi@mail.ru)

*Туйгунова Альбина Григорьевна,*  
к. т. н., доцент кафедры «Системы обеспечения движения поездов»,  
КрИЖТ, Иркутский государственный университет путей сообщения,  
тел 8(391) 2437306, e-mail: [tuigunova@krsk.irgups.ru](mailto:tuigunova@krsk.irgups.ru)

*Балагура Анна Александровна*  
к. ф.-м. н., доцент,  
Иркутский государственный университет,  
тел 8(3952) 242214, e-mail: [irk25@rambler.ru](mailto:irk25@rambler.ru)

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ДИАГНОСТИКЕ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

*I. A. Khudonogov, A. G. Tuigunova, A. A. Balagura*

## STATISTICAL DATA FOR THE DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS AT THE EAST-SIBERIAN RAILWAY

**Аннотация.** В статье представлены и проанализированы статистические данные по силовым маслонаполненным трансформаторам тяговых подстанций Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД), предложены методы диагностики технического состояния посредством внедрения систем мониторинга поскольку, проведение планово-предупредительного ремонта (ППР) без предварительного комплексного обследования трансформатора себя не оправдывает, так как приводит не только к существенным материальным затратам, но и в значительном ряде случаев к ухудшению характеристик изоляции.

Приведены средние сроки эксплуатации силовых трансформаторов ВСЖД с расположением в границах дистанций электроснабжения, проанализирован срок их службы и выявленные дефекты в процессе эксплуатации.

Показано, что в настоящее время на тяговых подстанциях отсутствуют системы мониторинга, осуществляющие непрерывное измерение и регистрацию основных параметров трансформаторного оборудования в процессе эксплуатации, в том числе в предаварийном и аварийном режимах, а также не проводят анализ полученной информации с выдачей рекомендаций персоналу для осуществления оптимальной стратегии обслуживания и ремонтов.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, система мониторинга, диагностика, автоматизированная система контроля.