

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ И СРАВНЕНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В НЕСТАЦИОНАРНОМ И СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОМ РЕЖИМЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В статье рассмотрено распределение температуры с повышенными токами в нестационарном тепловом режиме воздушных линий электропередачи. Построено распределение температуры по длине линии для проводов марок АС-240/32 и G(Z)TACSR 240. Построены зависимости температуры от времени. Практическая ценность рассматриваемой в статье математической модели заключается в определении максимальных температур воздушных линий разных сечений в нормальном или послеаварийном режиме провода. Проведен сравнительный анализ потерь активной мощности в стационарном тепловом режиме с учетом и без учета осевой передачи тепла. Сравнение показало, что учет осевой передачи тепла уточняет потери активной мощности, что позволяет с большей точностью ввести мероприятия по уменьшению этих потерь.

Ключевые слова: потери мощности, неизолированный провод, нестационарный тепловой режим, стационарный тепловой режим, температура провода, уравнение теплопроводности, осевая передача тепла, метод конечных разностей.

На данный момент актуальным направлением в электроэнергетике является учет тепловых процессов в воздушных линиях электропередачи. Подтверждается этот факт множеством научных статей. В публикациях описаны способы повышения точности расчета потерь активной мощности с учетом тепловых процессов как для стационарного режима неизолированных [1, 2] и изолированных проводов [1, 3, 4], так и для нестационарного режима неизолированных [5, 6] и изолированных [7] проводов. В научной статье [8] подробно описывается метод, основанный на динамическом тепловом расчете линии с учетом погодных условий в реальном времени, рассмотрено повышение пропускной способности линии на примере реальной распределительной сети. Однако все вышеперечисленные научные труды обладают недостатком, а именно они не учитывают осевую передачу тепла. Также расчет температуры производится в нормальном режиме работы провода. Если математическая модель, представленная в [9] с учетом радиальной передачи тепла, решает данный недостаток, то для учета осевой передачи тепла область изучения не полностью. Поэтому произведем тепловую оценку повышенных токов при распределении их по длине линии для нестационарного теплового режима провода.

Уравнение теплопроводности неизолированного провода для осевой передачи тепла. Запишем частный случай уравнения теплопроводности тонкого стержня, приведенного в [9], в котором конкретизированы способы охлаждения и учтена температурная зависимость активного сопротивления провода. Как и в предыдущем источнике [9], ввиду излишней громоздкости, не будем учитывать солнечную радиацию. С учетом вышесказанного, уравнение теплопроводности примет следующий вид

$$\lambda F \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + I^2 r_0 (1 + \alpha \Theta) - 2\pi g a_{mn} (\Theta - \Theta_{окр}) = C_n \frac{\partial \Theta}{\partial t}, \quad (1)$$

где λ — коэффициент теплопроводности провода; F и r — сечение и радиус провода; Θ и $\Theta_{окр}$ — температуры провода и окружающей среды, °С; I — сила электрического тока; r_0 — погонное активное сопротивление провода при 0 °С; α — температурный коэффициент сопротивления; a_{mn} — коэффициент теплопередачи (формула для его расчета представлена в [9]); C_n — погонная теплоемкость провода (теплоемкость на единицу длины); t — время.

Метод конечных разностей для решения уравнения теплопроводности для нестационарного режи-

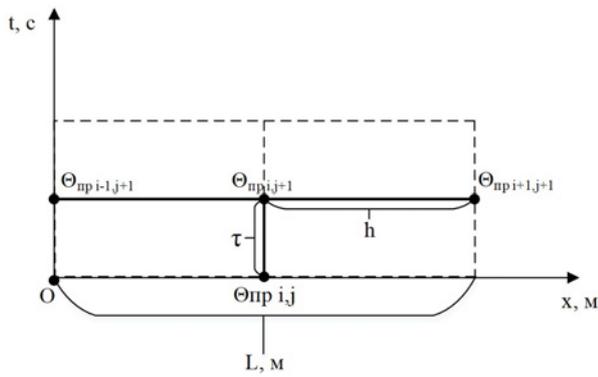


Рис. 1. Шаблон четырехточечной неявной конечно-разностной схемы

ма провода. Уравнение (1) в общем случае можно решить только численными методами. Сперва для решения этой задачи был рассмотрен и метод пристрелки (метод стрельб), он позволяет задать граничные условия по концам провода, но решение все равно расходится, из-за большой длины провода. Поэтому прибегнем к методу конечных разностей. Этот метод, в отличие от метода конечных элементов, выбран по причине достаточно быстрой сходимости решения и малозатратности ресурсов при вычислении на ЭВМ. У метода конечных разностей существует два подхода для решения уравнения теплопроводности (1) [10]. Первый основан на составлении явной конечно-разностной схемы, но так как эта схема считается условно-устойчивой [10] из-за строгого задания шага конечно-разностной сетки, то в дальнейшем будем использовать неявную конечно-разностную схему (рис. 1).

Граничные условия приведены ниже:

$$\begin{cases} t = 0 : \Theta_{np} = \Theta_0 = \Theta_{окр}, 0 \leq x \leq L \\ x = [0, L] : \Theta_0 = \Theta_{r1} = \Theta_{r2}, [0, t] \end{cases} \quad (2)$$

Пространственный шаг представлен в следующем виде

— по оси Ox h

$$h = \frac{L}{N}, \quad (3)$$

— по времени τ

$$\tau = \frac{t}{J}, \quad (4)$$

где L — длина провода, м; N — число отрезков при разбиении по координате x ; t — расчетное время, с; J — число отрезков при разбиении по расчетному времени t .

Заменим дифференциальное уравнение в частных производных (1) его разностным аналогом для всех слагаемых, содержащих переменную Θ_{np} .

Получим следующие выражения (5–6):

$$\frac{\partial \Theta_{np}}{\partial t} = \frac{\Theta_{np, i, j+1} - \Theta_{np, j}}{\tau}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 \Theta_{np}}{\partial x^2} = \frac{\Theta_{np, i+1, j+1} - 2\Theta_{np, i, j+1} + \Theta_{np, i-1, j+1}}{h^2}. \quad (6)$$

Подставим их в уравнение (1), и после преобразований относительно Θ_{np} , получим уравнение (7)

$$\begin{aligned} \frac{\lambda F}{h^2} \Theta_{np, i+1, j+1} - \left(\frac{2\lambda F}{h^2} + \frac{c\rho F}{\tau} + 2\pi r a_{mn} - I^2 r_0 \alpha \right) \Theta_{np, i, j+1} + \\ + \frac{\lambda F}{h^2} \Theta_{np, i-1, j+1} = \\ = -\frac{c\rho F}{\tau} \Theta_{np, j} - I^2 r_0 - 2\pi r a_{mn} \Theta_{окр}. \end{aligned} \quad (7)$$

После чего заменим свободные члены уравнения (7) следующими коэффициентами:

$$\begin{cases} A = \frac{\lambda F}{h^2} \\ B = \frac{2\lambda F}{h^2} + \frac{c\rho F}{\tau} + 2\pi r a_{mn} - I^2 r_0 \alpha \\ Y_i = -\frac{c\rho F}{\tau} \Theta_{np, j} - I^2 r_0 - 2\pi r a_{mn} \Theta_{окр}. \end{cases} \quad (8)$$

Получим следующее уравнение (9):

$$A(\Theta_{np, i+1, j+1} + \Theta_{np, i-1, j+1}) - B\Theta_{np, i, j+1} = Y_i. \quad (9)$$

Далее, чтобы избавиться от $\Theta_{np, i-1, j+1}$, введем прогоночные коэффициенты α_{i-1} и β_{i-1} , при которых можно получить следующее значение $\Theta_{np, i-1, j+1}$, т.е.

$$\Theta_{np, i-1, j+1} = \alpha_{i-1} \Theta_{np, i, j+1} + \beta_{i-1}, \quad (10)$$

$$\Theta_{np, i, j+1} = \alpha_i \Theta_{np, i+1, j+1} + \beta_i. \quad (11)$$

Из уравнения (10) подставим $\Theta_{np, i-1, j+1}$ в уравнение (9) и выразим $\Theta_{np, i, j+1}$.

Тогда

$$\Theta_{np, i, j+1} = \frac{A}{B - A\alpha_{i-1}} \Theta_{np, i+1, j+1} + \frac{A\beta_{i-1} - Y_i}{B - A\alpha_{i-1}}, \quad (12)$$

где коэффициенты $\frac{A}{B - A\alpha_{i-1}}$ и $\frac{A\beta_{i-1} - Y_i}{B - A\alpha_{i-1}}$ не что иное, как α_i и β_i уравнения (11), т.е.

$$\alpha_i = \frac{A}{B - A\alpha_{i-1}}, \quad (13)$$

$$\beta_i = \frac{A\beta_{i-1} - Y_i}{B - A\alpha_{i-1}}. \quad (14)$$

На следующем этапе, чтобы определить α_i и β_i , необходимо найти начальные значения α_1 и β_1 , которые мы сможем определить исходя из граничных условий, таких как

$$\Theta_{np1} = \alpha_1 \Theta_{np2} + \beta_1, \text{ т.к. } \Theta_{np1} = \Theta_{np} = \Theta_{r1},$$

то отсюда следует, что

$$\alpha_1 = 0, \beta_1 = \Theta_{r1}. \quad (15)$$

Согласно [10], для достаточных условий корректности и устойчивости прогонки уравнений (9) должны выполняться следующие условия

$$|B| > |A| + |A|, \forall i = 1..N + 1 \text{ и } |\alpha_i| < 1 \Rightarrow |\alpha_i| < 1. \quad (16)$$

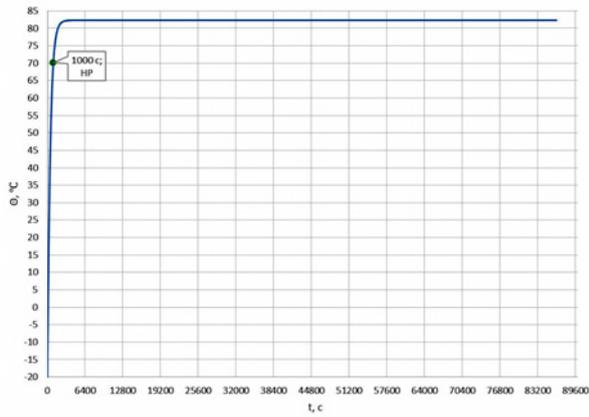


Рис. 2. Зависимость $\Theta(t)$ для АС-240/32 при $1,2 I_{Aоп}$ и длине линии $L = 1$ м, температура взята при $x = 0,5$ м (НР), $x = 0,5$ м (ПАР)

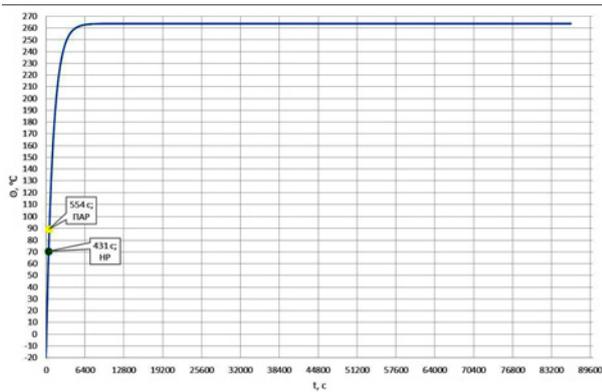


Рис. 3. Зависимость $\Theta(t)$ для АС-240/32 при $1,4 I_{Aоп}$ и длине линии $L = 10$ м, температура взята при $x = 9,6$ м (НР), $x = 9,5$ м (ПАР)

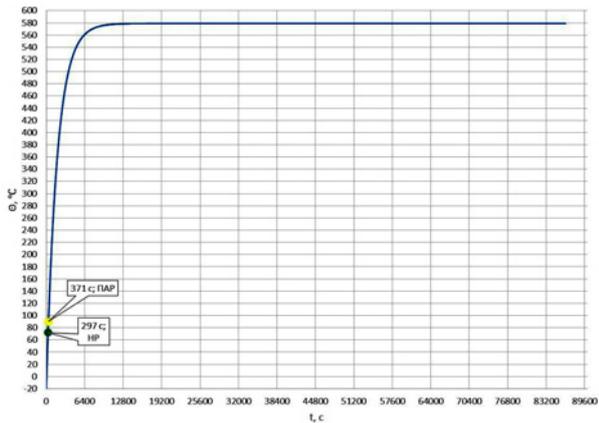


Рис. 4. Зависимость $\Theta(t)$ для АС-240/32 при $1,6 I_{Aоп}$ и длине линии $L = 100$ м, температура взята при $x = 99,9$ м (НР), $x = 99,9$ м (ПАР)

Пример численного решения уравнения теплопроводности для нестационарного режима провода. Проведем тепловую оценку повышенных токов с учетом времени для провода АС-240/32 и высокотемпературного провода G(Z)TACSR 240 напряжением 220 кВ, при различных длинах 1 м, 10 м, 100 м, 10 км с граничными условиями $\Theta_0 = \Theta_{r1} = \Theta_{r2} = -20$ °С и температуре окружающей среды $\Theta_{окр} = -20$ °С (рис. 2–9). Исходные данные для расчета приведены в табл. 1. Здесь повышенный

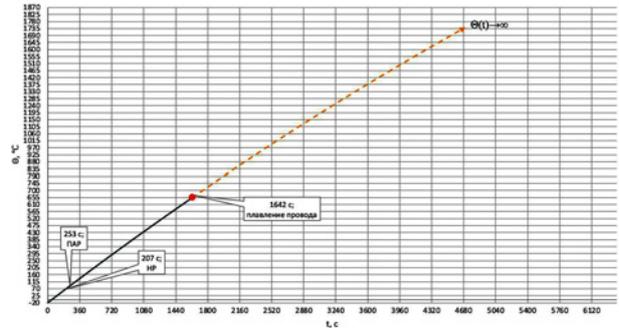


Рис. 5. Зависимость $\Theta(t)$ для АС-240/32 при $1,848 I_{Aоп}$ и длине линии $L = 10000$ м, где пунктирной линией показана формальная область решения уравнения, не имеющая отношения к реальному объекту, температура взята при $x = 9,99$ км (НР), $x = 9,99$ км (ПАР)

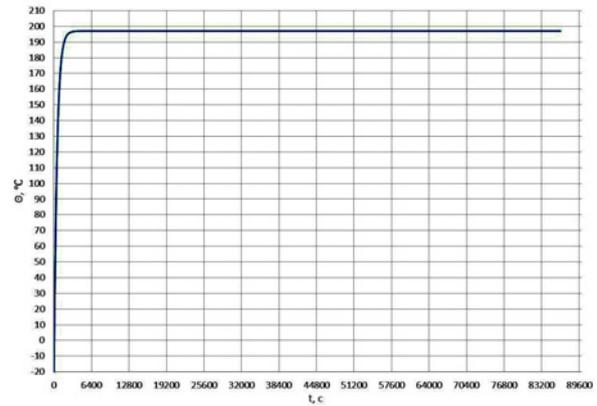


Рис. 6. Зависимость $\Theta(t)$ для G(Z)TACSR 240 при $1,1 I_{Aоп}$ и длине линии $L = 1$ м

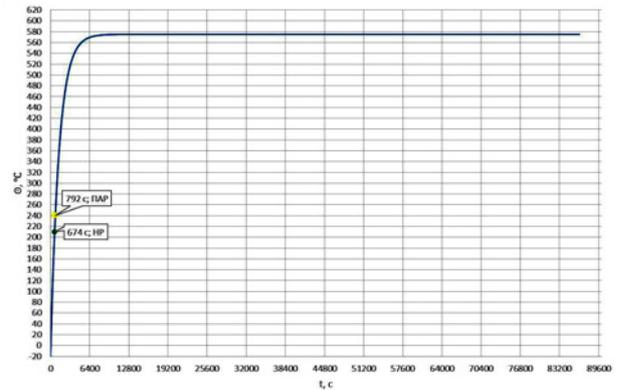


Рис. 7. Зависимость $\Theta(t)$ для G(Z)TACSR 240 при $1,2 I_{Aоп}$ и длине линии $L = 10$ м, температура взята при $x = 9,6$ м (НР), $x = 9,5$ м (ПАР)

ток был рассчитан исходя из уравнения в [9]. Он соответствует температуре неограниченно длинного провода, равного $\Theta_g = +\infty$, в целях показать неограниченный рост теплового масштаба длины.

Выводы и заключение. Как доказано ранее в [9], влияние граничных условий зависит от теплового масштаба длины, и если длина линии для стационарного режима провода превышает (200...500) LT, то граничные условия перестают влиять на ее температурный режим, что и показано на рис. 10

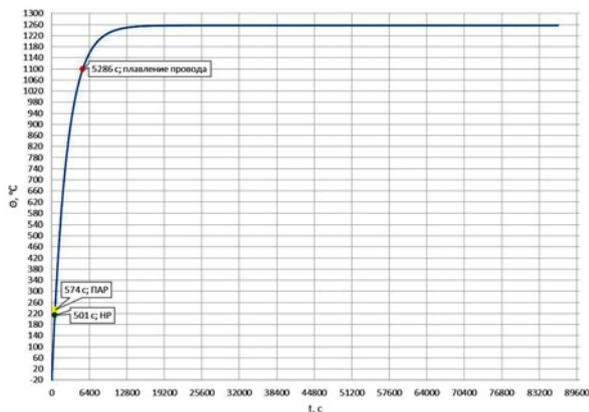


Рис. 8. Зависимость $\Theta(t)$ для G(Z)TACSR 240 при $1,3 I_{Aоп}$ и длине линии $L = 100$ м, температура взята при $x = 99,9$ м (НР), $x = 99,9$ м (ПАР)

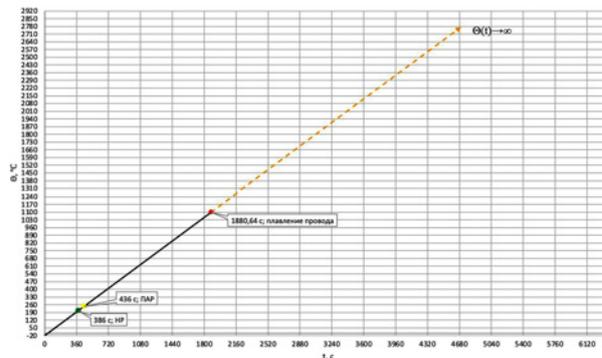


Рис. 9. Зависимость $\Theta(t)$ для G(Z)TACSR 240 при $1,411 I_{Aоп}$ и длине линии $L = 10000$ м, где пунктирной линией показана формальная область решения уравнения, не имеющая отношения к реальному объекту, температура взята при $x = 9,99$ км (НР), $x = 9,99$ км (ПАР)

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Наименование и обозначение параметра	AC-240/32	G(Z)TACSR 240
Погонное активное сопротивление при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ r_0 , Ом/км	0,1094	0,1101
Сечение токоведущей части провода F , мм ²	240	248,4
Радиус металлической части провода r , мм	10,8	10,3
Допустимый ток $I_{Aоп}$, А	605	1190
Ток, при котором $\Theta_{\Delta} = +\infty$, кА	1,5812	1,872
Допустимая температура $\Theta_{Aоп}$, $^{\circ}\text{C}$	70	210

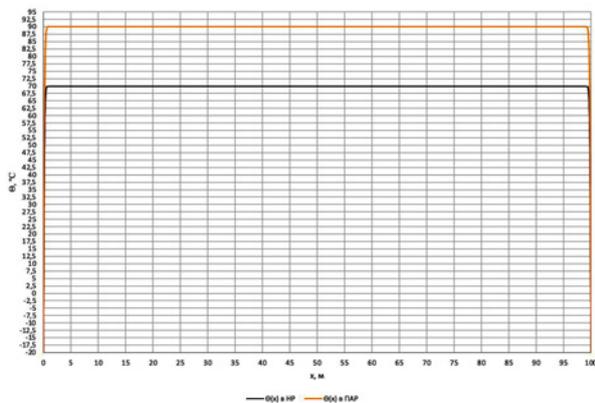


Рис. 10. Распределение температуры по длине линии (100 м) в разных режимах провода AC-240/32 для $t = 297$ с (НР), $t = 371$ с (ПАР)

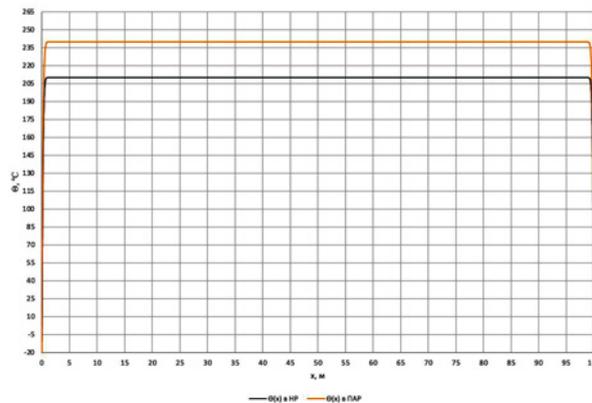


Рис. 11. Распределение температуры по длине линии (100 м) в разных режимах провода G(Z)TACSR 240 для $t = 501$ с (НР), $t = 574$ с (ПАР)

и рис. 11. В остальных же случаях (рис. 12–15) наблюдается существенное влияние граничных условий, например, максимум температуры при длине линии в 1 м для изолированных проводов AC-240/32 и G(Z)TACSR 240 приходится ровно на половину от всей длины воздушной линии электропередачи. Можно сказать, что рассматриваемая математическая модель при осевой передаче тепла имеет практическую ценность.

К примеру, по рис. 10–14 можно определить максимальную температуру провода для нормального и послеаварийного режима. А по рис. 5 (AC-240/32) и рис. 9 (G(Z)TACSR 240) — при повышенных токах, когда $\Theta_{\Delta} = +\infty$ при достижении

времени 1642 с ($\Theta_{пл.пр. AC} = 660\text{ }^{\circ}\text{C}$) и соответственно 1881 с ($\Theta_{пл.пр. G(Z)TACSR} = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) наблюдается плавление токоведущих частей провода. К тому же для стационарного теплового режима с учетом осевой передачи тепла (формула (1)) и без учета (расчетные формулы приведены в [6]), максимальная относительная погрешность потерь мощности при $t = \infty$ (табл. 2) составила 4,05 %. Отсюда можно сделать следующий вывод, что учет осевой передачи тепла уточняет потери активной мощности, что позволяет с большей точностью ввести мероприятия по уменьшению этих потерь. Также представленные на рис. 10–15 результаты численного расчета в дальнейшем позволят применить данную матема-

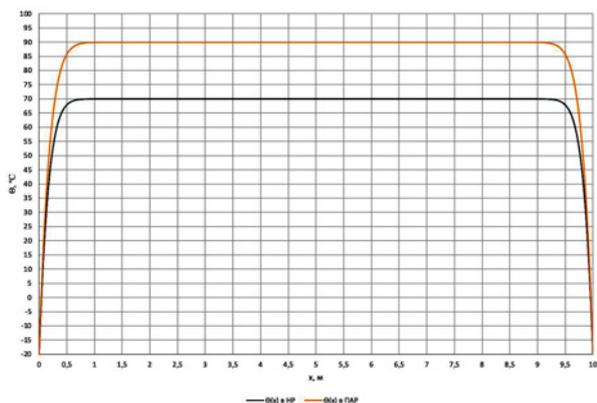


Рис. 12. Распределение температуры по длине линии (10 м) в разных режимах провода АС-240/32 для $t = 431$ с (НР), $t = 554$ с (ПАР)

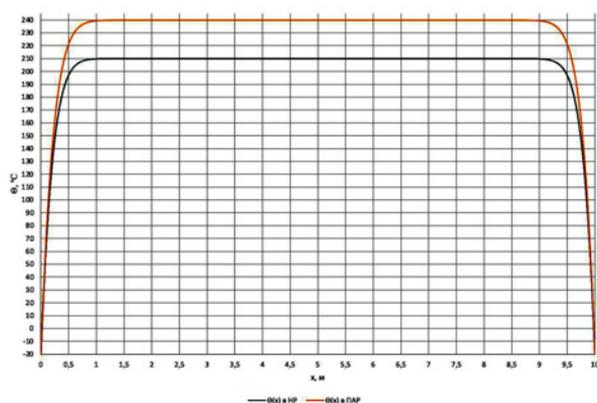


Рис. 14. Распределение температуры по длине линии (10 м) в разных режимах провода G(Z)TACSR 240 для $t = 674$ с (НР), $t = 792$ с (ПАР)

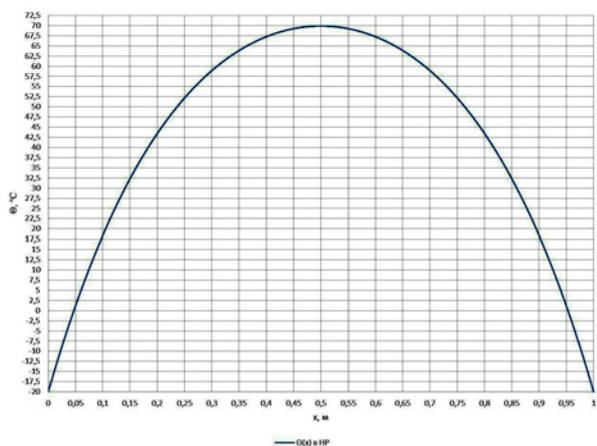


Рис. 13. Распределение температуры по длине линии (1 м) в разных режимах провода АС-240/32 для $t = 1000$ с (НР)

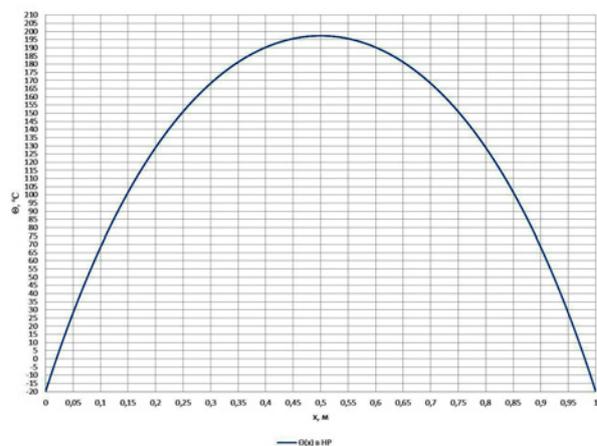


Рис. 15. Распределение температуры по длине линии (1 м) в разных режимах провода G(Z)TACSR 240

Таблица 2

Максимальные температуры и потери активной мощности в линиях

Марка провода	Длина ВЛ, м	Повышенный ток $I_{пов}'$, А	$\alpha_{вын}$ [4]	$\Theta_{пр}$ [4], °C	$a_{тп}$ [9]	Метод конечных разностей		Аналитическое решение по [6]		погрешность $\epsilon_{\Delta P1}'$, %
						Θ_{max}' °C	$\Delta P1$ при $t = \infty$, кВт	Θ_{max}' °C	$\Delta P2$ при $t = \infty$, кВт	
АС-240/32	5	1027	22,3	62,28	25,837	62,28	2,164	62,358	2,165	0,05
	10	1198		102,45	26,689	102,45	6,65	103,33	6,67	0,3
	100	1369		155,11	28,038	155,11	99,95	160,1	101,2	1,25
G(Z)TACSR 240	5	1459	22,73	199,1	29,813	199,1	6,34	200,82	6,36	0,32
	10	1592		254,52	31,826	254,52	16,96	262,52	17,23	1,59
	100	1725		313,1	34,371	313,1	222,3	335,99	231,3	4,05

тическую модель для определения температуры нагрева контактных соединений.

Библиографический список

1. Горюнов В. Н., Кропотин О. В., Шепелев А. О., Ткаченко В. А., Гиршин С. С., Троценко В. М. Упрощенная формула для нагрузочных потерь активной мощности в линиях электропередачи с учетом температуры // Омский научный

вестник. 2018. № 6 (162). С. 41–49. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-41-49. EDN: YSWODB.

2. Гиршин С. С., Шепелев А. О. Разработка усовершенствованных методов расчёта установившихся режимов электроэнергетических систем с учётом температурной зависимости активных сопротивлений ВЛ // Электрические станции. 2019. № 11 (1060). С. 44–54. EDN: LWEVHS.

3. Гиршин С. С., Горюнов В. Н., Бигун А. Я. [и др.]. Расчет динамических процессов нагрева воздушных линий электро-

передачи на основе квадратичной модели теплообмена // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 2. С. 60–67. EDN: XBFJKL.

4. Петрова Е. В., Гиршин С. С., Ляшков А. А. [и др.]. Аналитическое решение уравнения теплового баланса провода воздушной линии в условиях вынужденной конвекции // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 218.

5. Girshin S. S., Goryunov V. N., Kuznetsov E. A. [et al.]. Comparative analysis of insulation-covered and bare conductors of overhead lines with variation of load currents considering weather conditions // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819012.

6. Гиршин С. С., Горюнов В. Н., Бигун А. Я. Расчет нестационарных температурных режимов воздушных линий электропередачи с учетом нелинейности процессов теплообмена // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 287. EDN: SZVMIP.

7. Bigun A. Y., Girshin S. S., Goryunov V. N. [et al.]. Assessment of climatic factors influence on the time to reach maximum wire temperature of overhead power lines // Przeglad Elektrotechniczny. 2020. № 96 (8). P. 39–42. DOI: 10.15199/48.2020.08.08.

8. Bhattarai B. P., Gentle J. P., McJunkin T. [et al.]. Improvement of transmission line ampacity utilization by weather-based dynamic line rating // IEEE Transactions on Power Delivery. 2018. № 33 (4). P. 1853–1863. DOI:10.1109/TPWRD.2018.2798411.

9. Троценко В. М., Гиршин С. С., Петрова Е. В. [и др.]. Математическая модель теплового режима воздушной ли-

нии электропередачи с учетом изменения температуры по длине // iPolytech Journal. 2022. № 26 (3). С. 519–531. DOI: 10.21285/1814-3520-2022-3-519-531.

10. Самарский А. А. Теория разностных схем. Москва: Наука, 1977. 656 с. ISBN 5-02-014576-9.

ТРОЦЕНКО Владислав Михайлович, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Омского государственного технического университета, г. Омск.
SPIN-код: 3958-5882
AuthorID (РИНЦ): 889516
ORCID: 0000-0002-4250-371X
AuthorID (SCOPUS): 57210208434
Адрес для переписки: troch_93@mail.ru

Для цитирования

Троценко В. М. Анализ температуры и сравнение потерь активной мощности в нестационарном и стационарном тепловом режиме воздушных линий электропередачи // Омский научный вестник. 2023. № 4 (188). С. 93–99. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-188-93-99.

Статья поступила в редакцию 15.05.2023 г.
© В. М. Троценко

UDC 621.315
DOI: 10.25206/1813-8225-2023-188-93-99
EDN: WIGOVE

V. M. TROTSSENKO

Omsk State
Technical University,
Omsk, Russia

TEMPERATURE ANALYSIS AND COMPARISON OF ACTIVE POWER LOSSES IN NON-STATIONARY AND STATIONARY THERMAL CONDITIONS OF OVERHEAD POWER LINES

The article considers the temperature distribution with increased currents in the non-stationary thermal regime of overhead power lines. The temperature distribution along the length of the line for wires of AC-240/32 and G(Z)TACSR 240 grades is constructed. Temperature dependences on time are plotted. The practical value of the mathematical model considered in the article lies in determining the maximum temperatures of overhead lines of different sections in normal or post-emergency wire mode. A comparative analysis of active power losses in a stationary thermal regime is carried out with and without taking into account axial heat transfer. The comparison showed that taking into account the axial heat transfer refines the active power losses, which allows introducing measures to reduce these losses with greater accuracy.

Keywords: power loss, bare wire, non-stationary thermal regime, stationary thermal regime, wire temperature, heat equation, axial heat transfer, finite difference method.

References

1. Goryunov V. N., Kropotin O. V., Shepelev A. O., Tkachenko V. A., Girshin S. S., Trotsenko V. M. Uprishchennaya formula dlya nagruzochnykh poter' aktivnoy moshchnosti v liniyakh elektroperedachi s uchetom temperatury [Simplified formula for active power load losses in transmission lines taking into account temperature dependence] // Omskiy Nauchnyy Vestnik. *Omsk Scientific Bulletin*. 2018. No. 6 (162). P. 41–49. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-41-49. EDN: YSWODB. (In Russ.).
2. Girshin S. S., Shepelev A. O. Razrabotka usovershenstvovannykh metodov rascheta ustanovivshikhsya rezhimov elektroenergeticheskikh sistem s uchetom temperaturnoy zavisimosti aktivnykh soprotivleniy VL [Development of improved methods for calculating steady-state modes of power systems taking into account the temperature dependence of the active resistances of overhead transmission lines] // Elektricheskiye Stantsii. *Electric Stations*. 2019. No. 11 (1060). P. 44–54. EDN: LWEVHS. (In Russ.).
3. Girshin S. S., Goryunov V. N., Bigun A. Y. [et al.]. Raschet dinamicheskikh protsessov nagreva vozdukhnykh liniy elektroperedachi na osnove kvadratichnoy modeli teploobmena [Calculation of dynamic processes of heating overhead transmission lines based on a quadratic heat transfer model] // Dinamika Sistem, Mekhanizmov i Mashin. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*. 2016. No. 2. P. 60–67. EDN: XBFJKL. (In Russ.).
4. Petrova E. V., Girshin S. S., Lyashkov A. A. [et al.]. Analiticheskoye resheniye uravneniya teplovogo balansa provoda vozdukhnoy linii v usloviyakh vyzhdennoy konveksii [Analytical solution of the heat balance equation for an overhead line wire under conditions of forced convection] // Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya. *Modern Problems of Science and Education*. 2015. № 1–1. P. 218. (In Russ.).
5. Girshin S. S., Goryunov V. N., Kuznetsov E. A. [et al.]. Comparative analysis of insulation-covered and bare conductors of overhead lines with variation of load currents considering weather conditions // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2016. P. 1–6. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819012. (In Engl.).
6. Girshin S. S., Goryunov V. N., Bigun A. Ya. Raschet nestatsionarnykh temperaturnykh rezhimov vozdukhnykh liniy elektroperedachi s uchetom nelineynosti protsessov teploobmena [Calculation of non-stationary temperature regimes of overhead

power lines, taking into account the nonlinearity of heat transfer processes] // Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya. *Modern Problems of Science and Education*. 2014. No. 5. P. 287. EDN: SZVMIP. (In Russ.).

7. Bigun A. Y., Girshin S. S., Goryunov V. N. [et al.]. Assessment of climatic factors influence on the time to reach maximum wire temperature of overhead power lines // Przeglad Elektrotechniczny. *Electrotechnical Review*. 2020. No. 96 (8). P. 39–42. DOI: 10.15199/48.2020.08.08. (In Engl.).

8. Bhattarai B. P., Gentle J. P., McJunkin T. [et al.]. Improvement of transmission line ampacity utilization by weather-based dynamic line rating // IEEE Transactions on Power Delivery. 2018. No. 33 (4). P. 1853–1863. DOI: 10.1109/TPWRD.2018.2798411. (In Engl.).

9. Trotsenko V. M., Girshin S. S., Petrova E. V. [et al.]. Matematicheskaya model' teplovogo rezhima vozdukhnoy linii elektroperedachi s uchetom izmeneniya temperatury po dline [Mathematical model of the thermal regime of an overhead power line, taking into account temperature changes along the length] // iPolytech Journal. *iPolytech Journal*. 2022. No. 26 (3). P. 519–531. DOI: 10.21285/1814-3520-2022-3-519-531. (In Russ.).

10. Samarskiy A. A. Teoriya raznostnykh skhem [Theory of difference schemes]. Moscow, 1977. 656 p. ISBN 5-02-014576-9. (In Russ.).

TROTSENKO Vladislav Mikhaylovich, Senior Lecturer of Power Supply for Industrial Enterprises Department, Omsk State Technical University, Omsk.
SPIN-code: 3958-5882
AuthorID (RSCI): 889516
ORCID: 0000-0002-4250-371X
AuthorID (SCOPUS): 57210208434
Correspondence address: troch_93@mail.ru

For citations

Trotsenko V. M. Temperature analysis and comparison of active power losses in non-stationary and stationary thermal conditions of overhead power lines // Omsk Scientific Bulletin. *Omsk Scientific Bulletin*. 2023. No. 4 (188). P. 93–99. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-188-93-99

Received May 15, 2023.

© V. M. Trotsenko