

**АНАЛИЗ УЧЕТА НЕОДНОРОДНОСТИ ТОКОВЕДУЩИХ ЖИЛ
САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ**

Бубенчиков Антон Анатольевич

*кандидат технических наук, доцент,
Омский государственный технический университет
Омск, Россия
E-mail: privetomsk@mail.ru*

Бубенчикова Татьяна Валерьевна

*ассистент,
Омский государственный технический университет
Омск, Россия
E-mail: privetomsk@mail.ru*

Предмет исследования: в настоящей работе проводится анализ учета неоднородности токоведущих жил самонесущих изолированных проводов.

Цель исследования: рассмотрение необходимости учета конструктивного исполнения самонесущего изолированного провода, а именно – способа задания токоведущих жил в виде цельного сердечника или семейства проволок.

Методы и объекты исследования: моделирование тепловых процессов, происходящих в самонесущем изолированном проводе при задании в виде цельного сердечника и семейства проволок, осуществлено с помощью программного пакета ELCUT. При задании в виде семейства проволок также рассмотрены режимы несимметричной нагрузки провода.

Основные результаты исследования: анализ распределения температуры по сечению, изоляции и учет нагрева крайних проволок показал, что влияние соседних фаз проявляется в незначительной мере. Обнаружено, что учет реального конструктивного состояния проводника слабо влияет на распределение температуры по сечению провода на частоте 50 Гц.

Ключевые слова: потери, самонесущий изолированный провод, моделирование, неоднородность.

ANALYSIS OF THE INSULATED SELF-SUPPORTING CONDUCTOR OBSTACLE

Anton A. Bubenchikov

*Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor,
Omsk State Technical University,
Omsk, Russia
E-mail: privetomsk@mail.ru*

Tatyana V. Bubenchikova,

*Assistant,
Omsk State Technical University,
Omsk, Russia
E-mail: privetomsk@mail.ru*

Subject of research: In this paper, the analysis of the heterogeneity of current-conducting wires is carried out.

Purpose of research: consideration of the need to take into account the design of a self-supporting insulated wire, namely the method of setting current-conducting cores in the form of a single core or a family of wires.

Methods and objects of research: simulation of thermal processes occurring in a self-supporting insulated wire in the form of a single core and a wire family is carried out with the help of the software package ELCUT. When set in the form of a wire family, the modes of asymmetric load of the wire are also considered.

Main results of research: analysis of cross-section temperature distribution, insulation and consideration of the heating of the outer wires showed that the influence of the adjacent phases is negligible. It is found that taking into account the real constructive state of the conductor has little influence on the temperature distribution along the cross section of the wire at a frequency of 50 Hz.

Keywords: losses, self-supporting insulated wire, simulation, heterogeneity.

Введение

Современная электроэнергетика растёт огромными темпами. Происходит постоянный рост электропотребления. При значительном росте электропотребления необходимо учитывать и увеличивающиеся потери. Для более точного определения потерь требуется учитывать температуру проводников и различные климатические факторы, в том числе и при процедуре расчёта установившихся режимов [1–5]. Температура проводника зависит от величины протекающего тока; температуры окружающей среды; силы и угла атаки ветра; интенсивности солнечного излучения, влажности и т. д.

В настоящее время повсеместное распространение получают самонесущие изолированные провода, которые состоят из токоведущих жил и нулевой жилы, покрытых изоляцией из сшитого полиэтилена. Расчет потерь в таких проводах осложняется тепловыми процессами в изоляции и теплообменом между фазами. В работах [6, 7] были рассмотрены метод расчета потерь и процесс задания провода, в котором токоведущая жила задавалась как цельный однородный проводник. Представляет интерес влияние геометрии токоведущей и нулевой жилы на процессы тепловыделения и потери в проводе.

Для учета влияния геометрии были созданы модели токоведущей и нулевой жилы в соответствии с ГОСТ [8], где они представлены в виде семейства проволок различного диаметра и количества (рисунок 1).

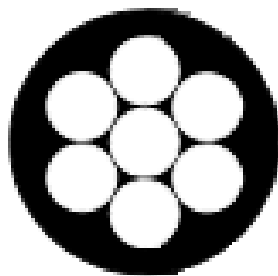


Рисунок 1 – Исполнение токоведущей жилы в соответствии с ГОСТ

Результаты и обсуждение

Для моделирования процесса теплообмена между окружающей средой и проводником был выбран провод СИП 2 3x120-1x95. Каждая токоведущая жила провода состоит из 19 ($d=3$ мм), а нулевая жила из 7 ($d=4,5$ мм) проволок. Токоведущие и нулевая жилы покрыты изоляцией. При моделировании СИП в программе ELCUT [9] были введены следующие допущения:

1. Воздушное пространство вокруг проводов не задавалось. Наличие ветра учитывалось коэффициентами теплоотдачи конвекцией.
 2. Угол соприкосновения проволок составляет 43° , что наиболее точно соответствует реальной геометрии провода.
 3. Угол соприкосновения фазных проводов составляет 9° [10].
 4. Скорость ветра 1 м/с.
 5. Атмосферное давление 101 кПа.
 6. Коэффициент, характеризующий угол атаки ветра – 0,5.
 7. Коэффициент черноты поверхности провода – 0,8.
- Для моделирования тепловых процессов были определены следующие параметры (таблица 1).

Таблица 1

Параметры материалов провода СИП-2 $3 \times 120 \ 1 \times 95$

Наименование	Материал исполнения	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м °С)
Токопроводящая жила	алюминий	244
Несущий провод	сплав алюминиевый	143
Изоляция	светостабилизированный сшитый полиэтилен	0,38
Воздух	-	0,0253

На первом этапе были рассмотрены токоведущая и нулевая жилы без учета взаимного влияния. Параметры заданного режима представлены в таблице 2. На основе метода конечных элементов в программном комплексе ELCUT были получены следующие картины распределения температуры и градиент температуры провода (рисунки 1 и 2).

Объемные плотности тепловыделения для токоведущей жилы и нулевого провода определялись по формуле (1). Расчет проводился без учета зависимости электрического сопротивления от температуры.

$$Q_v = \frac{I^2 \cdot r_{20,ж}}{S_{ж}}, \quad (1)$$

где I – ток, протекающий по проводнику;

$r_{20,ж}$ – сопротивление проводника при температуре 20°C ;

$S_{ж}$ – площадь поперечного сечения токоведущей жилы или нулевого провода.

Конвективный теплообмен может быть двух видов – естественный и искусственный (вынужденный). Коэффициент конвективного теплообмена на границе воздушного пространства и изоляции провода рассчитывается по формуле (2)

$$\alpha_k = 0.044 \cdot \frac{k_g \cdot (P_g)^{0.6}}{(T_{окр} \cdot d)^{0.4}} \quad (2)$$

где k_g – коэффициент, учитывающий угол атаки ветра

P_g – атмосферное давление;

$T_{окр}$ – абсолютная температура окружающей среды;

d – внешний диаметр провода.

Первый расчет произведем для случая вынужденной конвекции. Для фазного провода при скорости ветра 1 м/с:

$$\alpha_k = 0.044 \cdot \frac{0.75 \cdot (10^5)^{0.6}}{(293 \cdot 0.015761)^{0.4}} = 19.088 \text{ Вт/К} \cdot \text{м}^2$$

Для фазного нулевого провода при скорости ветра 1 м/с:

$$\alpha_k = 0.044 \cdot \frac{0.75 \cdot (10^5)^{0.6}}{(293 \cdot 0.014398)^{0.4}} = 19.791 \text{ Вт/К} \cdot \text{м}^2$$

Таблица 2

Параметры фазного проводника

Ток, А	Объемная плотность тепловыделения, Вт/м ³ ·10 ⁴	Количество проволок, шт
300	34,389	19

Результаты моделирования фазного проводника приведены на рисунках 2 и 3.

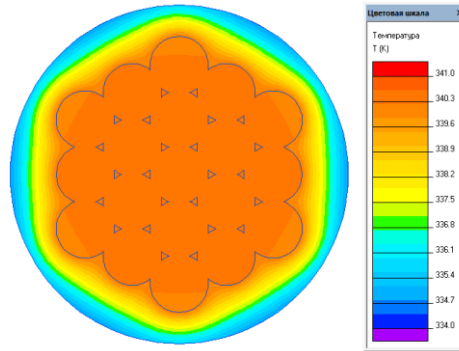


Рисунок 2 – Распределение температуры по сечению провода

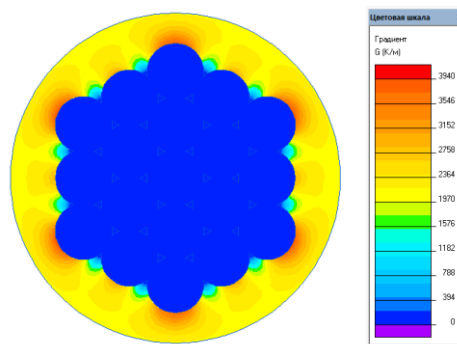


Рисунок 3 – Градиент температуры по сечению провода

Аналогичные операции были проведены и с нулевым проводом при следующих параметрах (таблица 3).

Таблица 3

Параметры нулевого провода

Ток, А	Объемная плотность тепловыделения, Вт/м ³ ·10 ⁴	Количество проволок, шт
300	34,389	7

Результаты моделирования нулевого провода приведены на рисунках 4 и 5.

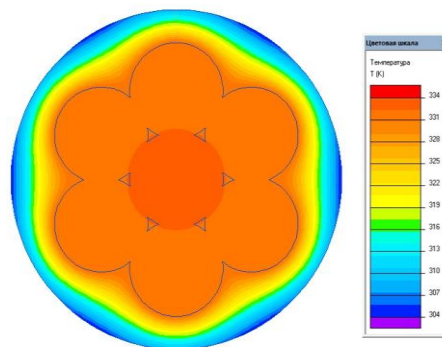


Рисунок 4 – Распределение температуры по сечению нулевой жилы

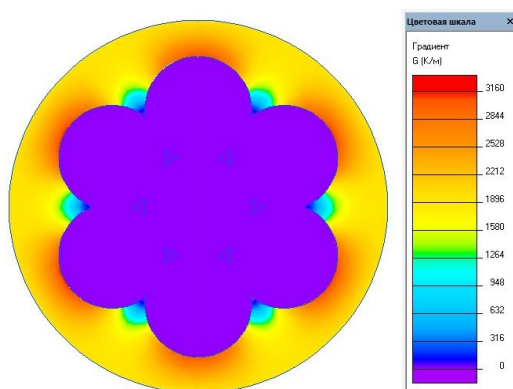


Рисунок 5 – Градиент температуры по сечению нулевой жилы

Распределение температуры по сечению провода и градиент температуры в проводе совпадает с аналитическими расчетами, произведёнными в работе [6]. Откуда можно сделать вывод, что при расчете температуры провода жилы можно считать цельнометаллическими и не учитывать число проволок.

На втором этапе важно было определить влияние токоведущих жил друг на друга и на распределение температуры по проволокам жил провода. Для этого была выбрана четырехпроводная система СИП-2 3×120 1×95 и определены картины распределения температуры и градиента. Неравномерность нагрузки задавалась следующими параметрами (таблица 4).

Таблица 4

Параметры несимметричного режима

Ток в жилах, А			
Фаза А	Фаза В	Фаза С	нулевой провод
100	200	400	300

Объемная плотность тепловыделения фаз определялась по формуле (1). Результаты расчета представлены в (таблица 5).

Таблица 5

Объемные плотности тепловыделения

Объемная плотность тепловыделения, Вт/м ³ ·10 ⁴			
Фаза А	Фаза В	Фаза С	нулевой провод
2,1083	8,4333	33,733	34,389

Результаты расчета конвекции для фазного и нулевого провода сведены в таблице 6.

Таблица 6

Коэффициент теплоотдачи конвекцией α_k , Вт/К· м²

	α_k , Вт/К· м ²
Токоведущие жилы	19,088
Нулевой провод	19,791

В результате моделирования была получена картина поля. Для анализа взаимного влияния температурных полей при заданной нагрузке были выбраны плоскости А-О, В-О и С-О (рисунок 6).

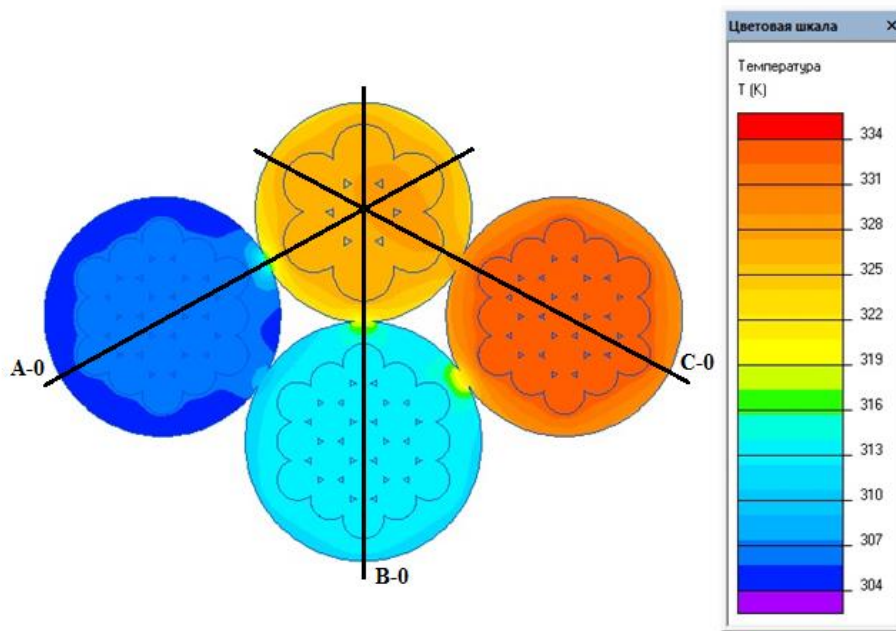


Рисунок 6 – Картина поля и плоскости распределения температуры

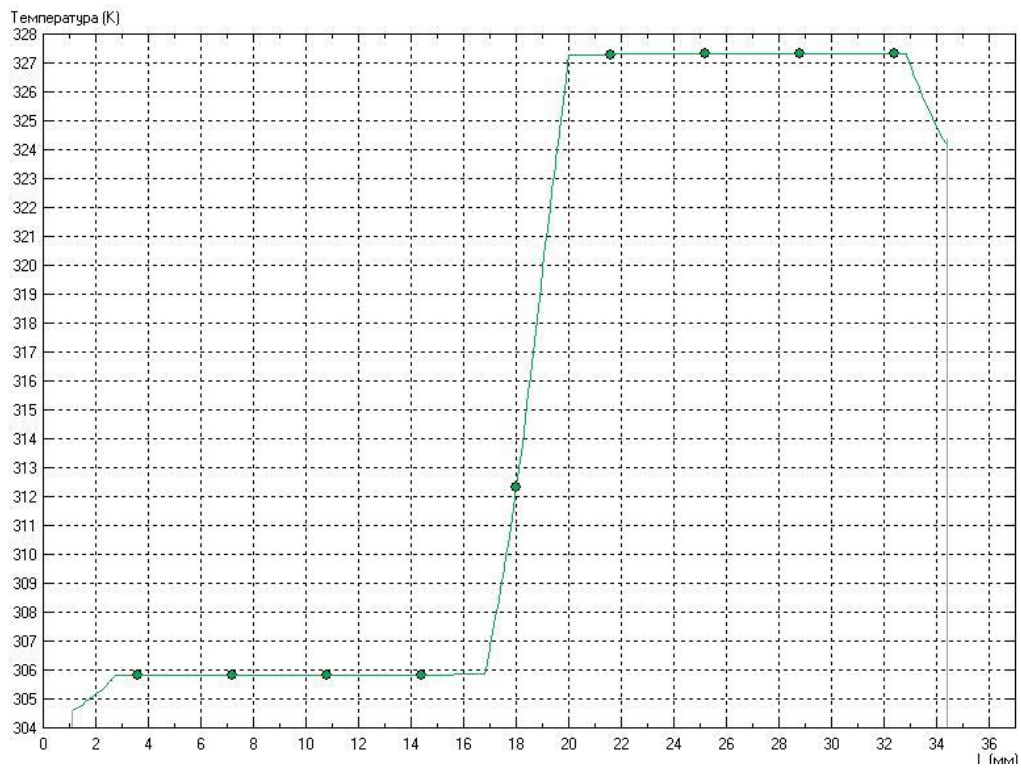


Рисунок 7 – Распределение температуры по сечению А-0

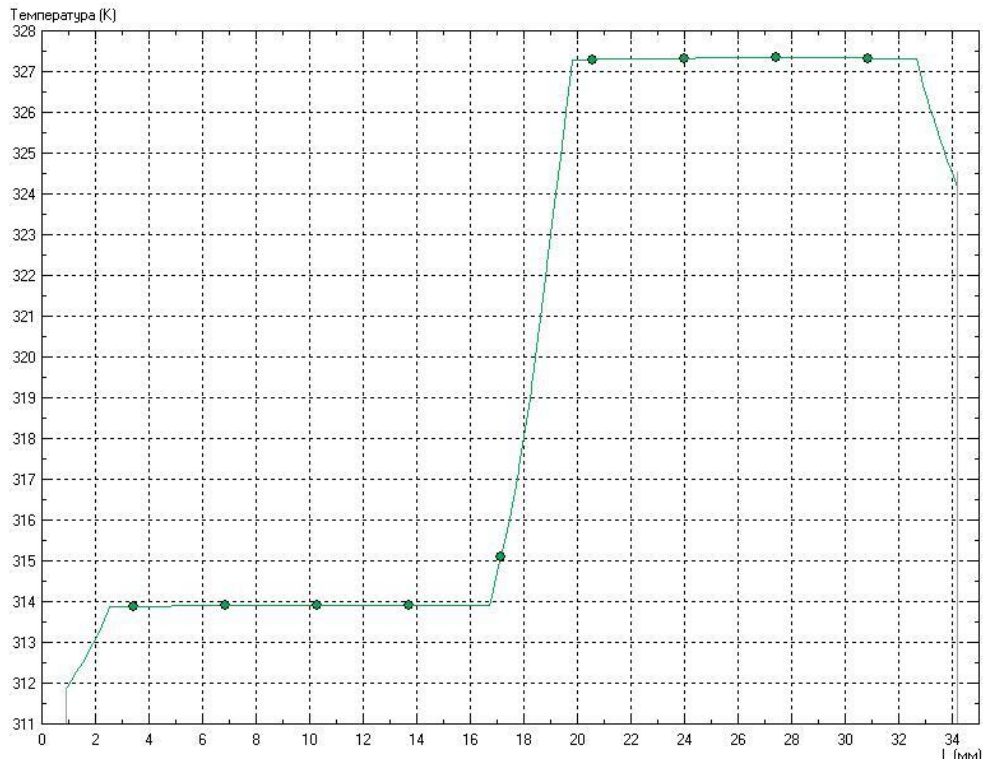


Рисунок 8 – Распределение температуры по сечению В-0

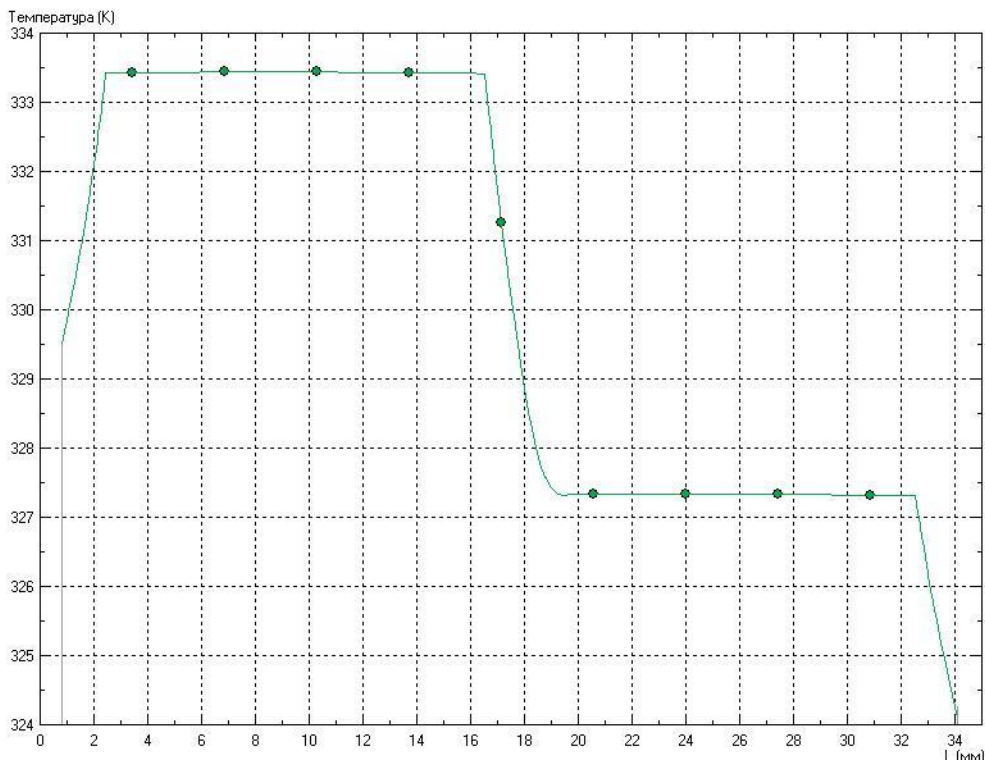


Рисунок 9 – Распределение температуры по сечению С-0

Заключение и выводы

Анализ распределения температуры по сечению, изоляции и учет нагрева крайних проволок показали, что влияние соседних фаз проявляется в незначительной мере. Нагрев токоведущей жилы и градиент температуры в сечении провода отличается от расчета [6] всего на 7 %, и не вносит в расчеты температуры значительной погрешности.

Литература

1. Васьковская, А. В. Определение максимально допустимого перетока активной мощности в сечении с учетом тепловых режимов линий электропередачи / А. В. Васьковская, А. О. Шепелев, Е. Ю. Шепелева. – Текст : непосредственный // Вестник Югорского государственного университета. – 2023. – № 1(68). – С. 131–138. – DOI 10.18822/byusu202301131-138
2. Петрова, Е. В. Оценка влияния солнечной радиации на нагрузочные потери активной мощности в высокотемпературных и самонесущих изолированных проводах линий электропередачи / Е. В. Петрова. – Текст : непосредственный // Известия Трансиба. – 2019. – № 3(39). – С. 134–145.
3. Воротницкий, В.Э. Оценка погрешностей расчета потерь электроэнергии анализ неучёта метеоусловий / В.Э. Воротницкий, О.В. Туркина // Электрические станции. – 2008. – № 210. – С. 42–49.
4. Герасименко, А. А. Комплексный учет режимно-атмосферных факторов в расчете активного сопротивления и потерь электроэнергии в ЛЭП / А. А. Герасименко, Г. С. Тимофеев, И. В. Шульгин. – Текст : непосредственный // Оптимизация режимов работы электрических систем. – Красноярск, 2008. – С. 232–245.
5. Левченко, И. И. Нагрузочная способность и мониторинг воздушных линий электропередачи в экстремальных погодных условиях / И. И. Левченко, Е. И. Сацук. – Текст : непосредственный // Электричество. – Москва, 2008. – С. 2–8.
6. Гиршин, С. С. Анализ распределения температуры по сечению самонесущих изолированных проводов / С. С. Гиршин, А. А. Бубенчиков, В. Н. Горюнов, А. А. Левченко, Е. В. Петрова. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. – Омск, 2009. – № 3 (83). – С. 171–175.
7. Бубенчиков, А. А. Исследование потерь электрической энергии в четырехпроводной системе самонесущих изолированных проводов на основе расчета тепловых полей методом конечных элементов // А. А. Бубенчиков, С. С. Гиршин, А. Г. Янишевская, В. Т. Черемисин. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. – 2012. – № 1 (107). – С. 189–191.
8. Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р 52373-2005. Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2005. – 23 с.
9. ELCUT Новый подход к моделированию полей. – URL: <http://elcut.ru> (дата обращения 22.03.2016). – Текст : электронный.
10. Бубенчиков, А. А. Расчет температуры и потерь электрической энергии в самонесущих изолированных проводах воздушных линий электропередачи электроэнергетических систем: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / А. А. Бубенчиков. – Текст : непосредственный // ОмГТУ. – М., 2012. – 20 с.