

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ожанов М. А., Зубков А. А., Ключев А. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность настоящей работы обусловлена важнейшим значением систем электропитания для любого государства и значительными изменениями этой области в мире. Так как системы электропитания прямо или косвенно используются во всех сферах человеческой деятельности.

Цель работы – создание математической модели кабельно-проводниковой продукции с использованием программного продукта ELCUT.

Данная цель обусловила необходимость решения следующих задач:

- 1) Проведение испытаний в лаборатории;
- 2) Сравнение с нормативами;
- 3) Моделирование в среде ELCUT.

При формировании магистральных цеховых сетей, а также питания мощных сварочных машин и электропечей применяются кабели большого сечения, рассчитанные на высокие токи. Такие кабели применяются на напряжениях до 1000 В, расстояния между токоведущими частями весьма малы, что приводит к резкому проявлению эффекта близости, увеличивающему активное сопротивление кабеля.

В данной работе использованы данные при проектировании цеха по производству кабельной продукции до 10 кВ ООО «Томсккабель». Анализ оборудования показал преобладание асинхронных двигателей с частотным приводом, причем большее количество электрического оборудования работает в продолжительном режиме S1 (71%), кратковременном режиме S2 (17%) и повторно-кратковременном режиме S3 (12%) (рис.1). Это говорит о том, что силовые кабели, запитывающие оборудование цеха, подвержены нагреву разных степеней, что может негативно влиять на эксплуатационные характеристики оборудования.

С целью оптимизации режимов работы электротехнического оборудования и, соответственно, кабельной продукции, проводится математическое моделирование системы электропитания с использованием программного продукта ELCUT. В качестве объекта модернизации выбран кабель марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1, наиболее подходящий для нагрузок, характерных для ООО «Томсккабель».

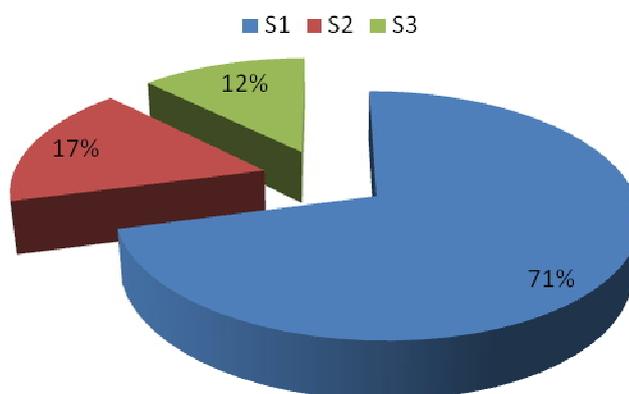
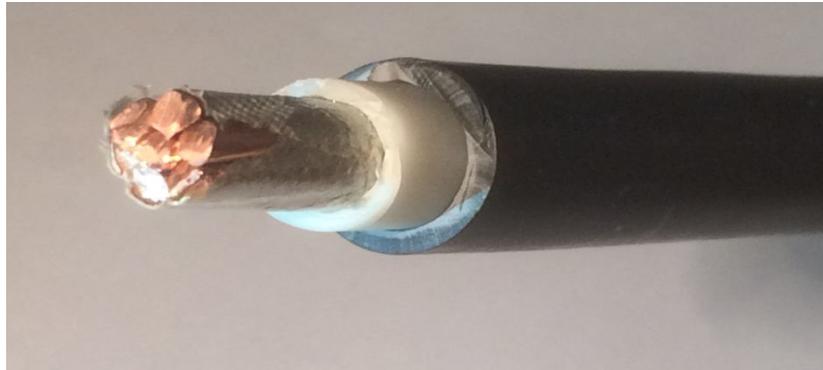


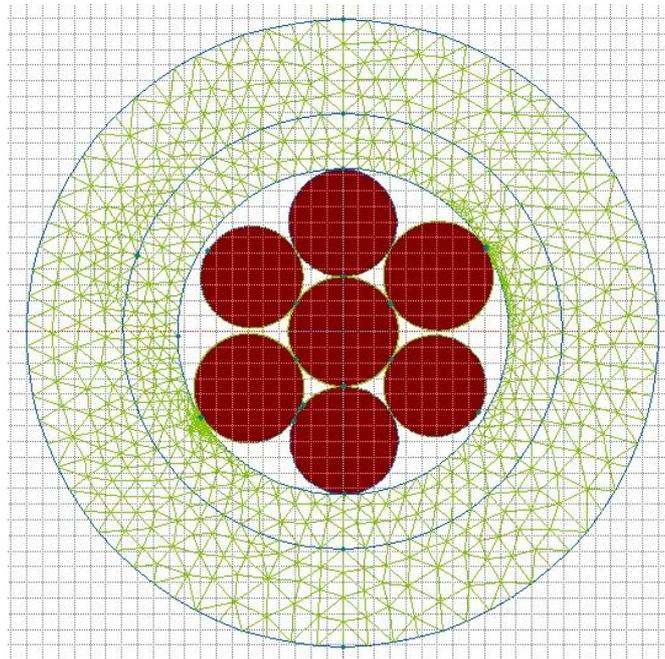
Рис. 1. Диаграмма распределения оборудования по режимам работы

ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF – кабель с медными жилами, с термическим барьером по токопроводящим жилам, с изоляцией из этиленпропиленовой резины, в оболочке из полимерных композиций не содержащих галогенов (рис. 2) .



**Рис. 2.** ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50mk-1

Создание математической модели на программе ELCUT начинается с проектирования геометрических параметров, представленных на рис. 3, и ввода данных по конкретной кабельной продукции. Ниже представлено продольное сечение кабеля в месте разделки наружной оболочки. Линия синего цвета представляет собой след плоскости разделки. Она прерывает наружную оболочку кабеля и экран, нанесенный поверх изоляции токопроводящей жилы. Жила представлена красным цветом.



**Рис. 3.** Конструкция исследуемого кабеля

Картина электрического поля при потенциале внешнего проводника  $U = 1$  кВ частоты 50 Гц представлена на рис. 4, причем цветной заливкой показано распределение электрического потенциала.

Система дифференциальных уравнений, описывающая электромагнитное поле, имеет следующий вид:

Уравнения векторного магнитного потенциала и плотности тока для проводника:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) - j\omega\sigma_c A_z + J_{iz}^s = 0, \quad (1)$$

$$-j\omega\sigma_c A_z + J_{iz}^s = J_{iz}, \quad (2)$$

$$\iint_{S_c} J_{iz} = I_i, i = a, b, c. \quad (3)$$

Уравнения векторного магнитного потенциала и плотности тока для экранов кабеля:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) - j\omega\sigma_s A_z + J_{sz}^s = 0, \quad (4)$$

$$-j\omega\sigma_s A_z + J_{sz}^s = J_{sz}, \quad (5)$$

$$\iint_{S_s} J_{sz} ds = I_s. \quad (6)$$

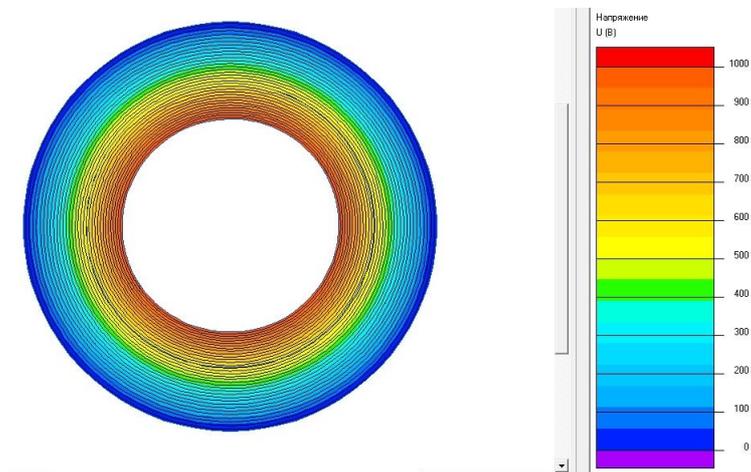


Рис. 4. Картина электрического поля

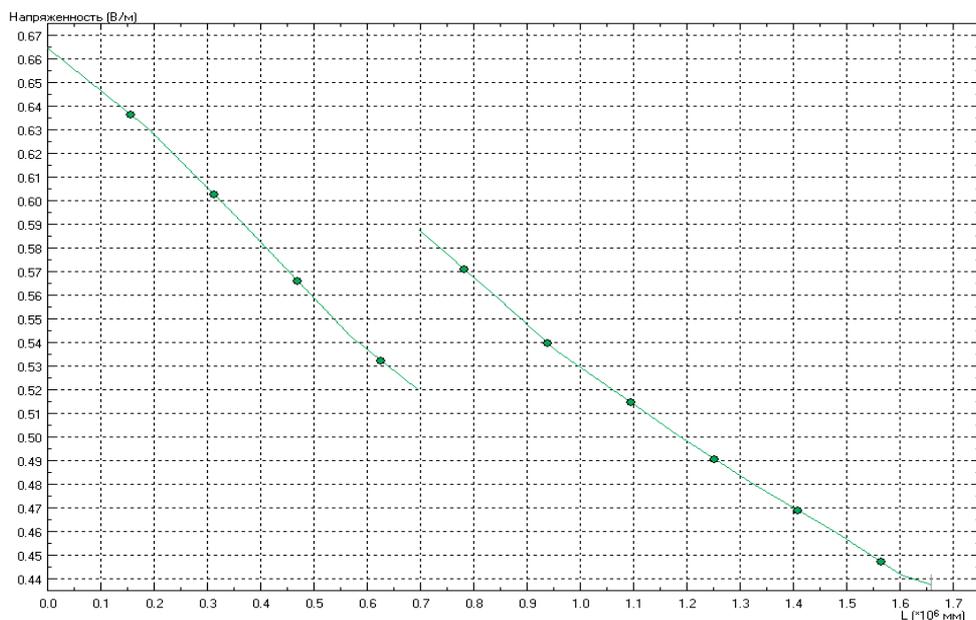


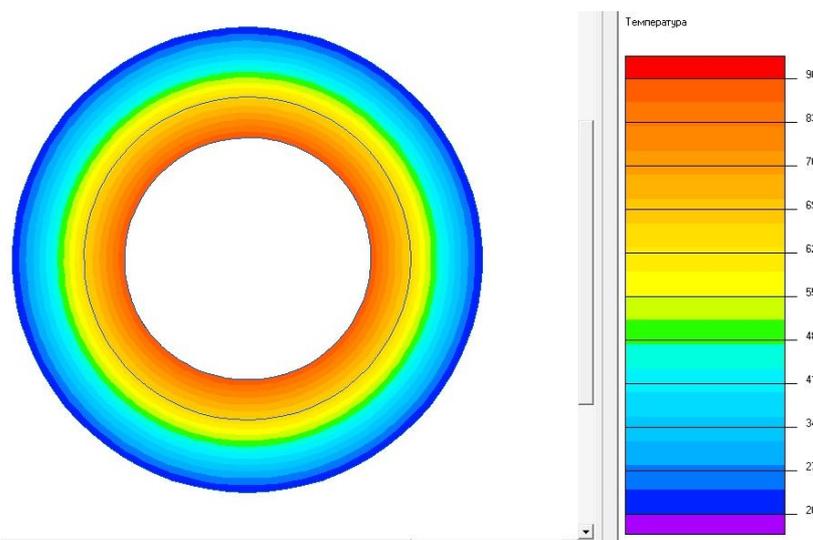
Рис. 5. Электрическое поле E (В/м)

В таблице 1 приведены результаты расчетов электрического поля при изменении толщины изоляции.

**Таблица 1.** Расчет электрического поля

<b>L (мм)*10<sup>-6</sup></b>	<b>x (мм)</b>	<b>y (мм)</b>	<b>U (В)</b>	<b>E (В/м)</b>
0.00000	148112.	2074570.	1000.00	0.664721
82982.2	147340.	2157550.	945.656	0.649673
165964.	146569.	2240530.	891.340	0.634597
248946.	145797.	2323510.	840.058	0.616902
331929.	145026.	2406490.	789.858	0.598287
414911.	144255.	2489470.	741.273	0.578653
497893.	143483.	2572450.	694.977	0.559046
580875.	142712.	2655420.	648.892	0.540299
663857.	141940.	2738400.	603.850	0.525744
746839.	141169.	2821380.	558.210	0.577876
829822.	140397.	2904360.	512.150	0.561773
912804.	139626.	2987340.	465.854	0.545118
995786.	138854.	3070320.	421.174	0.530164
1078770.	138083.	3153300.	378.321	0.517175
1161750.	137312.	3236270.	336.049	0.504149
1244730.	136540.	3319250.	294.705	0.491691
1327340.	135772.	3401860.	253.773	0.479496
1410700.	134997.	3485210.	215.277	0.468521
1493680.	134226.	3568190.	176.923	0.457428
1576660.	133454.	3651170.	138.418	0.445492
1659640.	132683.	3734150.	102.524	0.437633

Далее рассматривалось тепловое поле, распределение температуры показано на рис.6. Были произведены аналогичные расчеты теплового поля.



**Рис. 6.** Распределение температуры

На рис. 6 видно, что запас температуры изоляции составляет приблизительно  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  для данной конструкции кабельной линии, что говорит о возможности снижения толщины изоляции, приводящей к улучшению технологичности изоляции, улучшению массо-габаритных показателей и уменьшению финансовой компоненты, что является практической ценностью данной работы. Расчеты допустимы при температуре окружающей среды, равной  $(20\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Естественно было бы предположить, что при понижении температуры окружающей среды появляется возможность увеличить номинальную токовую нагрузку кабельных линий.

С целью изучения влияния асинхронных двигателей на свойства кабелей создана математическая модель кабеля в среде ELCUT. В ходе математического моделирования получена картина электрического и теплового полей кабеля марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложена математическая модель, учитывающая электростатические и тепловые процессы, происходящие в кабельных линиях, для определения токовых нагрузок, способствующих выбору оборудования с определенными режимами работы.

2. Необходимо исследовать процессы электростатики и теплопереноса, возникающих в кабельных линиях, для конкретных геометрических параметров кабелей, условий прокладки и эксплуатации.

3. Изменение климатических условий окружающей среды влияет на реализующееся температурное поле в кабельной продукции, что в свою очередь, позволяет увеличивать или уменьшать нагрузочную способность силовых кабелей, которое напрямую зависит от режимов работы электрических аппаратов.

4. Предложена методика моделирования системы электропитания, выполненной на основе кабеля с изоляцией из этиленпропиленовой резины (ЭПР). Математическое моделирование систем электропитания, выполненных на основе ЭПР кабелей, показало применимость предложенной методики моделирования для решения практических задач, возникающих при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Соколов В.Ю. Моделирование режимов систем электроснабжения с мощными токопроводами // Перспективы развития транспорта в XXI веке. Иркутск: ИрГУПС, 2007.
2. Дубицкий С. Д. Elcut 5.1 — платформа разработки приложений анализа полей // Exponenta Pro. 2004. № 1.
3. <http://www.tomskcable.ru>
4. Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М. Компьютерная модель процессов тепломассопереноса в кабельном канале при различных режимах работы кабельных линий // Фундаментальные исследования. –2014.
5. Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М. Численное исследование температурного поля в кабельных линиях для анализа возможности уплотнения кабельного канала // Электротехника. –2014.
6. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов. Справочник. М.: ФИЗМАТГИЗ. 1959. 356 с.
7. Технические свойства полимерных материалов: Учеб. -Справ. пособие // В.К. Крыжановский [и др.] –2-е изд., испр. и доп. –СПб.: Профессия, 2005.
8. Методическое пособие «Расчет электрических полей в программе ELCUT» // Программа Лидер-ЭнергоПроект-2
9. Кабельные линии URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2014/87/07.php>

10. Математическое моделирование электрического поля в муфтах силовых кабелей. URL: [http://www.power-e.ru/2010\\_3\\_88.php](http://www.power-e.ru/2010_3_88.php)
11. Асинхронные электродвигатели для частотного регулирования АДЧР URL: <http://privodavtomatika.ru/produkcija/adchr/>
12. Режимы работы электрических машин. URL: <http://elektrikam.com/rezhimy-raboty-elektricheskix-mashin/>

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ

Королев В. Е.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

**Светотехническая часть.** Освещение является одним из важнейших факторов, характеризующих комфортность жилища. Электрическое освещение обеспечивает возможность нормальной жизни и деятельности людей в быту при отсутствии или недостаточности естественного освещения [2].

Роль электрического освещения в создании экстерьера здания и интерьера помещений может в корне менять всю концепцию дизайна помещений по рисунку, архитектурному стилю, размещению мебели, типу и цветовому решению материалов. В настоящее время разнообразие типов источников света, которые можно использовать для освещения индивидуальных домов и квартир (функционального и декоративного), достаточно велико. Во внутренних помещениях кроме ламп накаливания для люстр и бра, а также широко распространенных галогенных ламп накаливания низкого напряжения могут использоваться компактные люминесцентные лампы. Для установки и подключения источников света, а также для перераспределения их светового потока с целью освещения объекта используются различные светильники.

Многие фирмы-производители разработали светильники с такими лампами, которые по дизайну не уступают светильникам с традиционными источниками света. К тому же компактные люминесцентные лампы могут давать свет от холодного белого до теплого желтого спектра, который может имитировать свет ламп накаливания. Применение линейных люминесцентных ламп оправдано в декоративных карнизах интерьеров, а также на кухне и других хозяйственных помещениях. В настоящее время популярны светодиоды, миниатюрные лампы накаливания и неоновая подсветка, которые незаменимы в праздничном и декоративном освещении.

В осветительных установках применяются системы общего и комбинированного освещения. Система общего освещения предназначена для обеспечения нормированной освещенности, т.е. необходимой в соответствии с нормами охраны здоровья. В системе комбинированного освещения кроме общего имеется местное, создающее необходимую повышенную освещенность в тех местах, где это требуется. Это могут быть рабочие поверхности кухни, письменный стол, общее освещение гостиной, подсветка картин или других предметов и пр.

Освещенность рабочих поверхностей в квартирах жилых домов при комбинированной системе освещения от любых источников света рекомендуется принимать: письменного стола, рабочей поверхности для шитья и прочих ручных работ – 300 лк; кухонного стола и мойки посуды – 200 лк.

Декоративное освещение относится к дизайнерским решениям и может функционировать как в системе общего освещения, так и в качестве самостоятельно