

# Автоматизация расчёта кабеля в программе ELCUT

Кокцинская Е.М.

*Научный журнал "Видеонаука"*

**Аннотация.** Разработана программа, которая позволяет строить сечение одно- и трёхжильных силовых кабелей различных конструкций для дальнейшего их расчета в среде ELCUT. После построения сечений с помощью разработанной программы проведен тепловой расчет силового одножильного кабеля.

**Ключевые слова:** силовой, кабель, конструкция, сечение, программа, расчёт, тепловой, ELCUT

Выпуск	Год	Ссылка на статью
№1(1)	2016	Кокцинская Е.М. Автоматизация расчёта кабеля в программе ELCUT // Видеонаука: сетевой журн. 2016. №1(1). URL: <a href="https://videonauka.ru/stati/13-tekhnicheskie-nauki/39-avtomatizatsiya-raschjota-kabelya-v-programme-elcut">https://videonauka.ru/stati/13-tekhnicheskie-nauki/39-avtomatizatsiya-raschjota-kabelya-v-programme-elcut</a> (дата обращения 19.06.2016).

## Расчёт силового кабеля в программе ELCUT

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электроэнергии и повсеместно используются в электроэнергетике. Основными элементами силовых кабелей являются токопроводящие жилы, изоляция, электрические экраны и защитные покровы, в том числе влагозащитные оболочки [1].

**Токопроводящие жилы** (ТПЖ) предназначены для направления потока электромагнитной энергии. Для ТПЖ используется медная, алюминиевая и стальная проволока, а также проволока из сплавов низкого и высокого сопротивления.

**Полупроводящие экраны по жиле и изоляции** применяются для выравнивания скачка напряженности электрического поля на границе изоляции с ТПЖ или металлическим экраном и слоя изоляции с помощью создания промежуточного полупроводящего слоя.

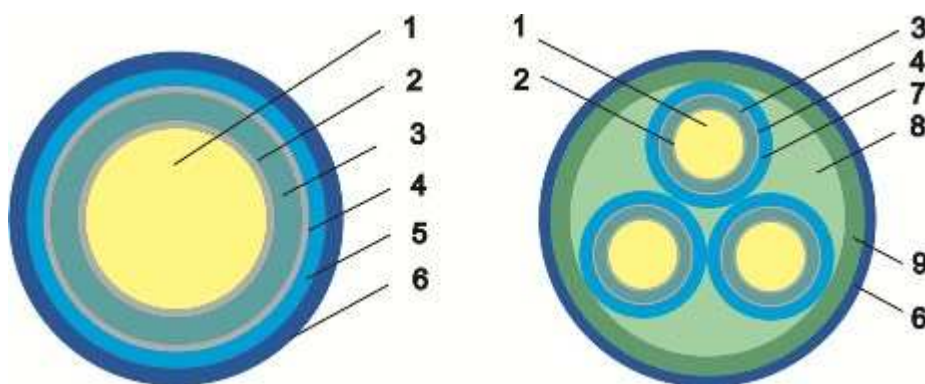
металлическим экраном и слоя изоляции с помощью создания промежуточного полупроводящего слоя.

**Изоляция** предназначена для создания электрически прочного диэлектрического промежутка между ТПЖ и другими заземленными элементами (экранами, металлическими оболочками). Материал, толщина и форма изоляции определяют максимальное значение рабочего напряжения данного кабельного изделия.

**Металлические экраны** применяются для создания в изоляции радиального электрического поля.

**Защитные покровы**, обычно состоящие из влагозащитной оболочки и наружных защитных покровов, предназначены для защиты всех элементов кабелей от механических, климатических и химических воздействий.

На Рисунке 1 а, б представлены примеры конструкций силовых кабелей в одножильном и трехжильном исполнении.



А – одножильный силовой кабель

Б - Силовой кабель с отдельно свинцованными жилами

1 – токопроводящая жила;

2 – экран по токопроводящей жиле;

3 – электрическая изоляция;

4 – экран по поверхности изоляции;

5 – металлический экран;

6 – наружный защитный покров;

7 – свинцовая оболочка;

8 – междуфазное заполнение;

9 – броня.

*Рисунок 1 - Примеры конструкции силовых кабелей в одножильном и трехжильном исполнении.*

Рисунок 1 - Примеры конструкции силовых кабелей в одножильном и трехжильном исполнении.

Массовое использование силовых кабелей обуславливает постоянно актуальную задачу расчета их электромагнитных, тепловых и механических параметров.

В современных инженерных и научных расчетах очень часто используются компьютерные программы расчета полей. Такие программы как Ansys, Comsol широко известны. Они позволяют производить расчеты как для 2D- так и 3D-моделей конструкций.

Поскольку кабель можно представить в виде аксиальной конструкции (если пренебречь скруткой жил при её наличии), то для его расчета прекрасно подойдет и двумерная модель сечения. Поэтому для расчета кабелей очень удобно пользоваться отечественной программой расчета ELCUT (сайт разработчиков elcut.ru), которая позволяет решать очень многие типы полевых задач. В данной работе была решена задача автоматизированного построения сечения кабеля для его последующего расчета в программе ELCUT.

Для написания программы автоматизированного построения сечения кабеля в среде ELCUT использовался язык программирования Visual Basic. В программу была включена опция чертежа сечения как одно-, так и трёхжильного кабеля с круглыми жилами. При необходимости изменения конструкции кабелей в программу легко внести изменения.

Алгоритм программы приведен на Рисунке 2.

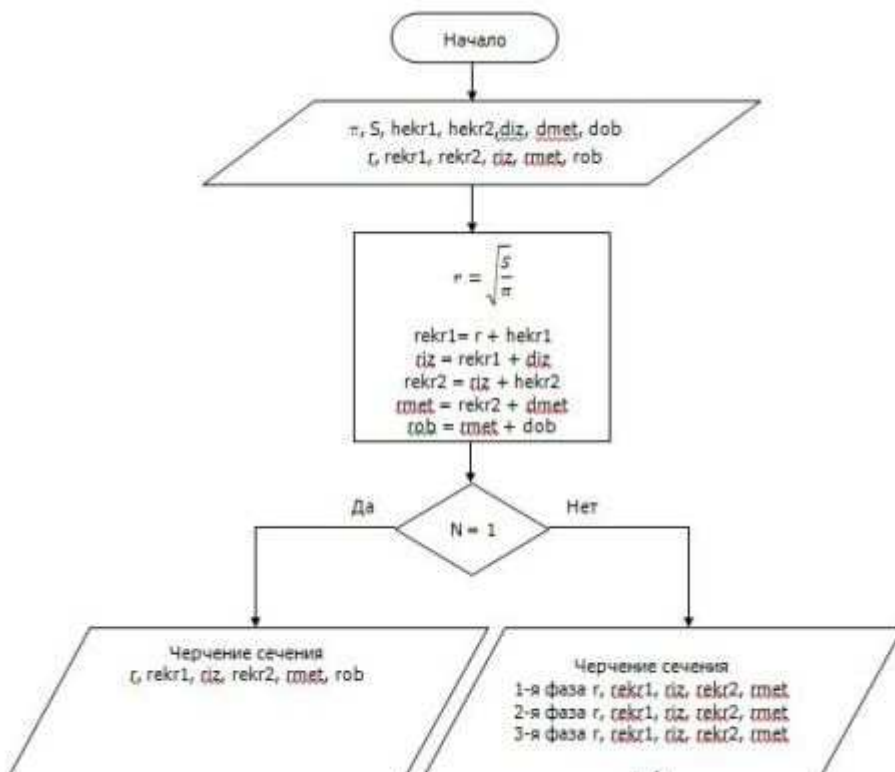




Рисунок 2 - Алгоритм программы черчения сечения кабеля.

Интерфейс готовой программы приведен на Рисунке 3. По умолчанию предполагается расчет одиночно проложенного кабеля с однопроволочной ТПЖ.

Рисунок 3 - Интерфейс разработанной программы построения сечения кабеля.

Проведем тепловой расчет силового кабеля в стационарном режиме в программе ELCUT с использованием разработанной программы.

Тепловой расчет силового кабеля позволяет определить максимально допустимый ток нагрузки, при котором температура нагрева ТПЖ не будет превышать величины, установленной для данного типа кабеля. Длительно допустимая температура нагрева кабеля (см. табл. 1) выбирается в зависимости от применяемых материалов, в первую очередь, электротехнических, а также материалов длительно и надежно

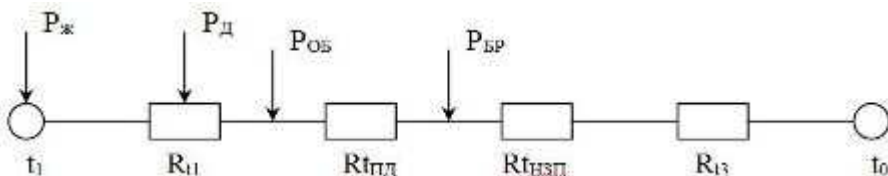
температура нагрева кабеля (см. табл. 1) выбирается в зависимости от применяемых материалов, в первую очередь, электроизоляционных, а также условий длительной и надежной эксплуатации кабелей [2].

Таблица 1

Допустимая температура жил кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией

Материал изоляции	Длительная температура, °С	Предельно допустимая температура при коротком замыкании, °С
ПЭ	70	150
Сшитый ПЭ	90	250
ПВХ	70	160
Этиленпропиленовая резина	90	250

Эквивалентная тепловая схема замещения одножильного кабеля представлена на рис. 4. Для трехжильного кабеля соответственно потери в жилах и изоляции будут в 3 раза больше.



$P_{ж}$ ,  $P_{д}$ ,  $P_{ОБ}$ ,  $P_{БР}$  – тепловые потоки, эквивалентные потерям энергии в ТПЖ, электрической изоляции, оболочке, броне кабеля соответственно

$t_1$  – максимально допустимая величина нагрева кабеля данного типа;

$t_0$  – расчетная температура окружающей среды;

$R_{т1}$  – тепловое сопротивление электрической изоляции;

$R_{тПД}$  – тепловое сопротивление подушки кабеля;

$R_{тНЗП}$  – тепловое сопротивление наружного защитного покрова;

$R_{тЗ}$  – тепловое сопротивление, эквивалентное переходу от нагретой поверхности кабеля к земле.

Рисунок 4 - Тепловая схема одножильного кабеля.

Рисунок 4 - Тепловая схема одножильного кабеля.

Первым шагом является построение геометрической модели рассчитываемой конструкции. Для этого в окне нашей вспомогательной программы необходимо задать величину сечения и количество ТПЖ, ввести значения толщины изоляции, полупроводящих экранов по ТПЖ и изоляции, металлического экрана, оболочки.

При нажатии кнопки **Начертить** программа чертит сечение рассчитываемого кабеля (Рисунок 5).

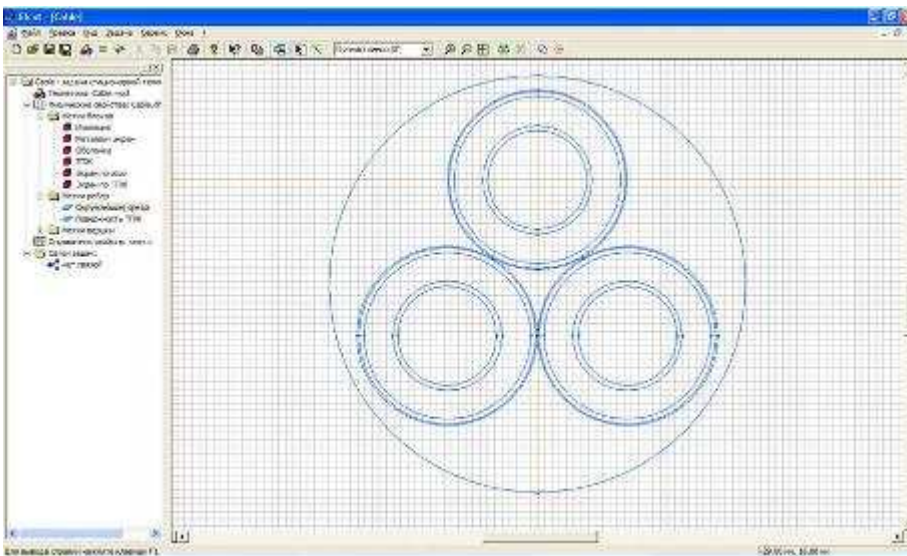


Рисунок 5 - Сечение рассчитываемого кабеля.

По формуле (1) рассчитывается величина электрического сопротивления ТПЖ [3].

Электрическое сопротивление ТПЖ (Ом):

$$R = K_{\Pi} \cdot R_0 [1 + \alpha(T - 20)] = K_{\Pi} \cdot \frac{\rho}{q_{\Pi}} [1 + \alpha(T - 20)], \quad (1)$$

где  $R_0$  - сопротивление жилы при постоянном токе и температуре  $20^{\circ}\text{C}$ ;  $\rho$  - удельное электрическое сопротивление материала жилы при  $20^{\circ}\text{C}$ ;  $K_{\Pi}$  - коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления при переменном токе за счет поверхностного эффекта (табл. 2) при 50 Гц,  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления металла жилы (табл. 3),  $T$  - рабочая температура ТПЖ.

Таблица 2

Значения коэффициента, учитывающего увеличение сопротивления при переменном токе за счет поверхностного эффекта

значения коэффициента, учитывающего увеличение сопротивления при переменном токе за счет поверхностного эффекта

$qH, \text{мм}^2$	150	185	240	300	400	500	625	800	1000
$K_{\text{п}}$	1,005	1,008	1,0105	1,025	1,05	1,08	1,125	1,17	1,22

Таблица 3

Значения  $\rho$  и температурного коэффициента сопротивления материалов токопроводящих жил и оболочек

Материал	$\rho, \text{Ом}\times\text{м}$	$\alpha, 1/^\circ\text{C}$
Медь	$1,724\times 10^{-8}$	0,00393
Алюминий	$2,826\times 10^{-8}$	0,00403
Сталь	$13,8\times 10^{-8}$	0,0045
Свинец	$21,4\times 10^{-8}$	0,004

Объёмная плотность тепловыделения определяется потерями в жиле и рассчитывается по формуле:  $Q = P_{\text{ж}} / V$  [ $\text{Вт}/\text{м}^3$ ], где  $V$  – объём рассматриваемого участка ТПЖ (длина ТПЖ вдоль оси в программе ELCUT по умолчанию равна 1 м). Варьируя объёмную плотность тепловыделения, подбирается температура на ТПЖ, не превышающая максимально допустимую для используемой в конструкции кабеля изоляции.

В программе ELCUT необходимо задать физические свойства задачи - свойства материалов, источники поля и граничные условия. Величины теплового сопротивления материалов элементов конструкции рассчитываемого кабеля приведены в табл. 4.

Таблица 4.

Величины удельных тепловых сопротивлений и теплоемкости материалов кабеля с пластмассовой изоляцией.

Материал	Удельное тепловое сопротивление $\rho_t, ^\circ\text{C}\times\text{м}/\text{Вт}$
ПВХ пластикат	5-6
Резина изоляционная и шланговая	5
Алюминий	$4,8\times 10^{-3}$
Медь	$2,7\times 10^{-3}$
Свинец	$29\times 10^{-3}$
Сталь	$(14,4-12,3)\times 10^{-2}$

В данном случае расчетными блоками будут являться (в

В данном случае расчетными блоками будут являться (в зависимости от марки кабеля): ТПЖ; полупроводящие экраны по изоляции и ТПЖ; изоляция; междуфазное заполнение; оболочки; защитные покрытия.

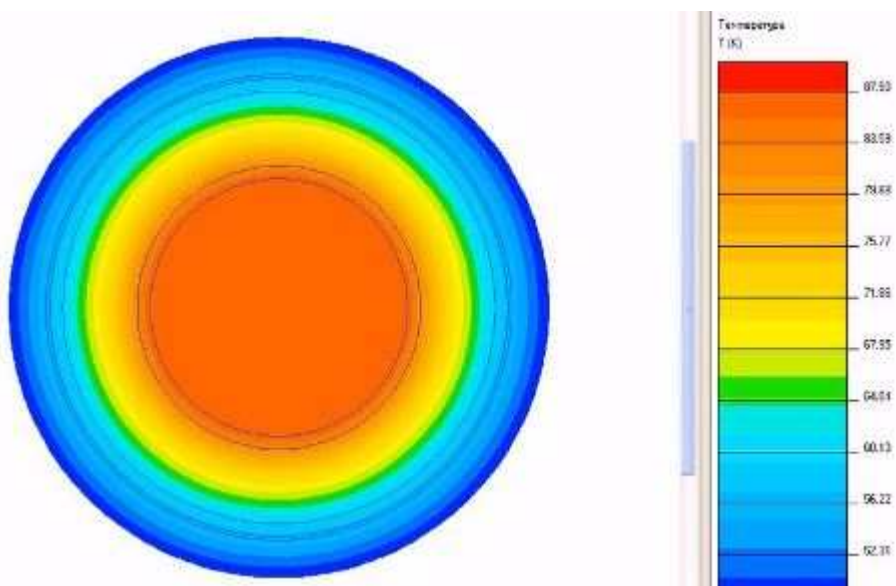
В задаче теплопередачи в свойствах метки блока задаются значения теплопроводности и объемной плотности тепловыделения (если есть).

Зависимость теплофизических свойств полимерных материалов (теплопроводности и теплоемкости) от температуры носит сложный характер [2]. При расчете допустимых нагрузок в кабелях с пластмассовой изоляцией необходимо это учитывать. Для описания теплопроводности как функции от температуры (для полупроводящих экранов и изоляции), следует отметить флажок Нелинейный материал. Появится окно редактора кривой для задания зависимости  $\lambda = \lambda(T)$ .

Далее задаем граничные условия. Для ребра по поверхности ТПЖ можно отметить условие равной температуры ( $T = \text{const}$ ), для ребра по наружной оболочке (кабель, проложенный в воздухе) задана расчетная температура окружающей среды, и коэффициент теплоотдачи.

Подробно процесс расчета можно посмотреть в представленном выше видео.

После построения сетки конечных элементов и решения задачи можно посмотреть результат (Рисунок 6). Рассчитанная температура на поверхности ТПЖ будет соответствовать стационарному протеканию тока величиной  $I$ . Если она выше допустимой или значительно ниже, то расчет повторяется для другой величины  $I$ .







*Рисунок 6 - Картина теплового поля в силовом кабеле.*

Разработанная в ходе данной работы программа построения сечения кабеля позволяет значительно сократить время при проведении расчетов в среде ELCUT. Также данная программа может использоваться при проведении лабораторных работ и при курсовом проектировании студентами электротехнических специальностей.

### **Список литературы:**

1. Основы кабельной техники / под ред. И.Б. Пешкова. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.
2. Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 464 с.
3. Канискин В.А., Кокцинская Е.М. Конструирование и расчет силовых кабелей низкого напряжения: Метод. указания к курсовому проектированию. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 41 с.

**Abstract.** A program that allows to draw a cross-section of single-core and three-core power cables of various designs for further calculation in ELCUT. After the construction of cross-sections with the developed program thermal analysis of single- and three-core power cable was done.

**Key words:** cable, design, cross-section, program, thermal, analysis, ELCUT