

**Computer simulation of the heating of single-core cables with PVC insulation
Shleinikov V.¹, Bazlov D.², Baykasenov D.³, Suleev M.⁴ (Russian Federation)
Компьютерное моделирование нагрева одножильных кабелей с ПВХ изоляцией
Шлейников В. Б.¹, Базлов Д. А.², Байкашенов Д. К.³, Сулеев М. А.⁴
(Российская Федерация)**

¹Шлейников Вячеслав Борисович / Shleinikov Vyacheslav – кандидат технических наук, доцент;

²Базлов Дмитрий Александрович / Bazlov Dmitriy – студент;

³Байкашенов Дамир Куандыкович / Baykasenov Damir – студент;

⁴Сулеев Муса Айратович / Suleev Musa – студент,
кафедра электро- и теплоэнергетики, электроэнергетический факультет,
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Аннотация: в статье приводятся описание компьютерной модели нагрева одножильных ВВГ кабелей, методика расчёта постоянной времени нагрева и износа изоляции кабеля.

Abstract: the article describes a computer model of the heating of single-core cable with PVC insulation, the method of calculating the heating time constant and insulation deprecation of the cable.

Ключевые слова: методика расчёта постоянной времени нагрева, определение износа изоляции кабеля.

Keywords: method of calculating the heating time constant, insulation deprecation of the cable.

Опираясь на теоретические сведения и результаты проведенных экспериментов по определению тепловых характеристик [1], разработана кроссплатформенная прикладная программа, предназначенная для математического моделирования процесса нагрева и охлаждения одножильных ВВГ кабелей. Программное обеспечение (ПО) выполнено на языке программирования Object Pascal в среде программирования Lazarus.

После запуска ПО необходимо на титульном окне (Рисунок 1) нажать на кнопку «Выполнить расчёт», откроется окно ввода исходных данных (Рисунок 2).

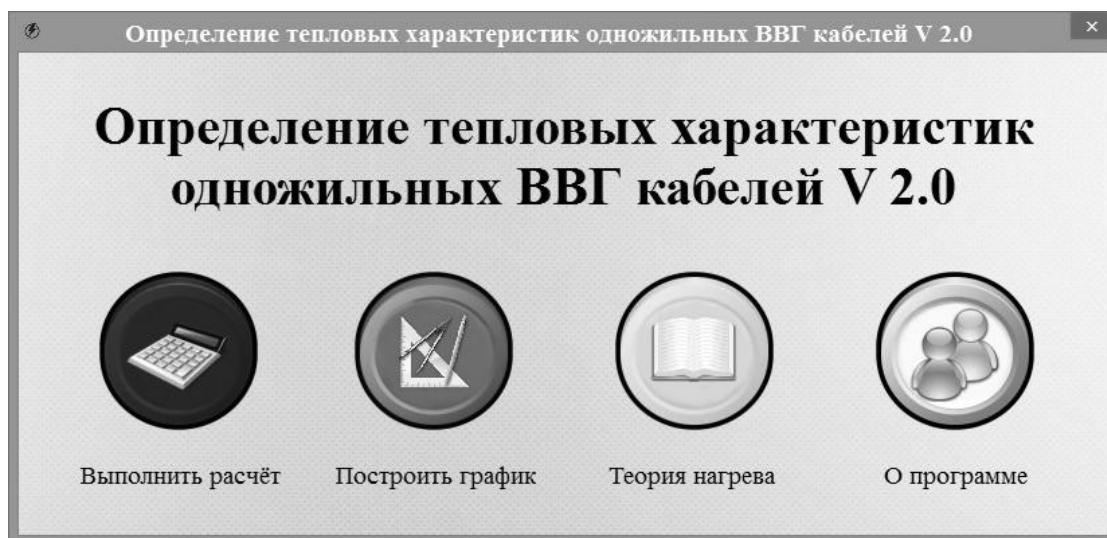


Рис. 1. Титульное окно программы

Исходные данные (сечение токопроводящей жилы, момент отключения нагрузки и величина измеренного тока, протекающего по кабелю) могут быть получены с помощью лабораторного стенда для экспериментального исследования процесса нагрева проводников [2]. Например, необходимо определить тепловые характеристики для электрического кабеля ВВГ 1x4 (Рисунок 3) при моменте отключения нагрузки = 165 с и величине измеренного тока – 65 А.

Ввод исходных данных

Введите исходные данные:

Сечение токопроводящей жилы мм²

Момент отключения нагрузки с

Величина измеренного тока А

Рис. 2. Окно ввод исходных данных

На основании теоретических сведений [4] постоянную времени нагрева для рассматриваемого кабеля вычисляют по формуле

$$T = R_T \cdot \left(c_{ж} \cdot m_{ж} + c_{из} \cdot \frac{m_{из}}{2} \right), \quad (1)$$

где $m_{ж} = \rho_{ж} \cdot V = \rho_{ж} \cdot F \cdot l$ – масса жилы, кг;

$$m_{из} = \rho_{из} \cdot V = \rho_{из} \cdot \pi \cdot \left[\left(\sqrt{\frac{F}{\pi}} + \delta_{из} \right)^2 - \frac{F}{\pi} \right] \cdot l \text{ – масса изоляции, кг;}$$

$\rho_{ж} = 8930$ – плотность меди, кг/м³;

$\rho_{ПВХ} = 1350$ – плотность поливинилхлорида, кг/м³ [7];

$l = 2$ – длина одножильного электрического кабеля ВВГ 1х4

Согласно [4], тепловое сопротивление изоляции кабеля вычисляют по формуле

$$R_T = R_{из} + R_{об} = \frac{\delta_{из}}{S_{нов.ж} \cdot \lambda_{ПВХ}} + \frac{\delta_{об}}{S_{нов.из} \cdot \lambda_{ПВХ}}, \quad (2)$$

где $S_{нов.ж} = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \sqrt{\frac{F_{ж}}{\pi}}$ – площадь поверхности жилы, м²;

$S_{нов.из} = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left(\sqrt{\frac{F_{ж}}{\pi}} + \delta_{из} \right)$ – площадь поверхности изоляции, м²

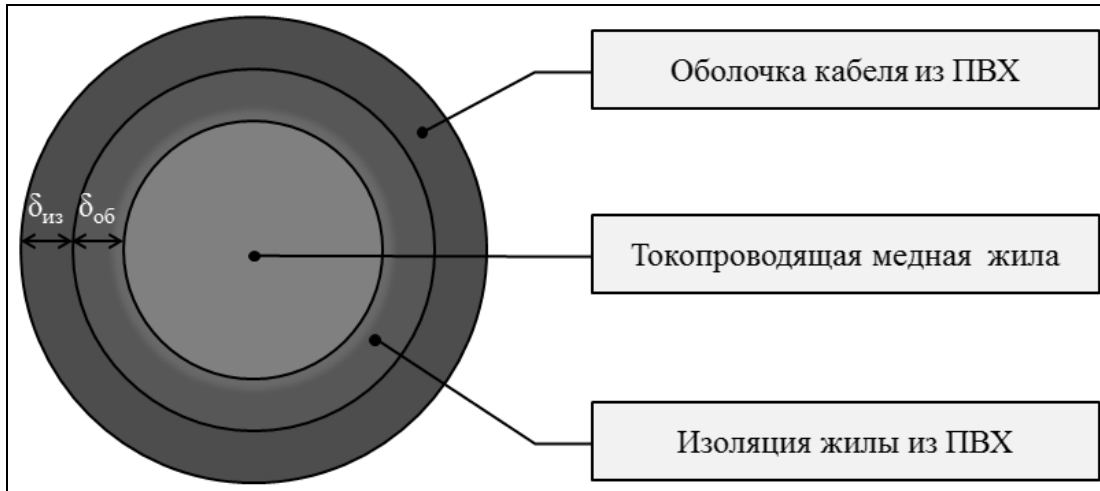


Рис. 3. Структура одножильного кабеля ВВГ 1х4

После выполнения математических преобразований, формула расчёта постоянной времени нагрева кабелей принимает следующий вид

$$T = \frac{\delta_{из} \cdot \left(\sqrt{\frac{F}{\pi}} + \delta_{из} \right) + \delta_{об} \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi}}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ПВХ} \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi}} \cdot \left(\sqrt{\frac{F}{\pi}} + \delta_{из} \right)} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot c_{ж} \cdot \rho_{ж} \cdot F + c_{из} \cdot \rho_{из} \cdot \pi \left[\left(\sqrt{\frac{F}{\pi}} + \delta_{из} + \delta_{об} \right)^2 - \frac{F}{\pi} \right]}{2} \quad (3)$$

где $\delta_{из}$ – толщина стенки изоляции, м [6];

$\delta_{об}$ – толщина стенки оболочки, м [6];

F – сечение жилы электрического кабеля, мм² [6];

$c_{ж}$ – теплоёмкость меди, Дж/кг·°С [6];

$c_{из}$ – теплоёмкость изоляции (ПВХ), Дж/кг·°С [4];

$\lambda_{ПВХ}$ – коэффициент теплопроводности ПВХ, Вт/(°С·м) [4]

Немаловажным расчётным параметром является величина износа изоляции кабеля. Физический смысл понятия износ изоляции (относительное «старение» кабеля) заключается в том, что за час работы при установленном нагреве, проводник состарится так, как будто он работал указанное число часов при обычном нагреве, допускаемом нормами длительно [5]. Величина износа изоляции определяется в соответствии с [3]:

$$И = 2 \frac{(\tau_y - \tau_H)}{8}, \quad (4)$$

где $\tau_t = \tau_y \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$ – описывает процесс превышения нагрева проводника от

превышения температуры проводника по нормам до установившейся температуры.

Впоследствии ввода исходных данных следует нажать на кнопку «Выполнить расчёт». Результаты расчёта представлены на рисунке 4.

Расчётные величины:

Температура в момент отключения	102,911	°C
Превышение установившейся температуры при токах отличающихся от Iдоп	100,535	
Установившаяся температура	125,535	°C
Величина допустимого тока	41	A
Постоянная времени нагрева*	110,628	с
Износ изоляции кабеля*	232,949754532103	ч

Рис. 4. Окно расчёта тепловых характеристик кабеля

Данные для построения

Скопировать расчётные данные

Тип масштабирования графика	Индивидуальный масштаб
Превышение установившейся температуры при токах отличающихся от Iдоп	100,535
Постоянная времени нагрева	110,628
Момент отключения нагрузки	165

с

с

x13= 214,50;	Температура=65,79
x14= 231,00;	Температура=56,67
x15= 247,50;	Температура=48,82
x16= 264,00;	Температура=42,05
x17= 280,50;	Температура=36,23
x18= 297,00;	Температура=31,21
x19= 313,50;	Температура=26,88
x20= 330,00;	Температура=25,00

Рис. 5. Окно ввода данных для построения характеристики

Далее необходимо построить тепловую характеристику на основе рассчитанных величин. Для этого необходимо нажать на кнопку «Выполнить построение графика». В окне программы будет выведена тепловая характеристика и основные параметры расчета, характеризующие процесс нагрева и охлаждения одножильного ВВГ кабеля (Рисунок 6).

Для удобства использования, в программу интегрирован модуль взаимодействия с Microsoft Office Word 2010. Это значит, что при необходимости, все результаты проделанной работы можно свести в документ MS Word, затем использовать полученные данные для создания отчётов по лабораторной работе или для других технологических нужд. Кроме того, пользователь имеет возможность сбросить все значения, нажав кнопку «Сброс результатов» в нижнем правом углу (Рисунок 5).



Рис. 4. Окно построения тепловых характеристик кабеля

Вывод: Разработанная на основе моделирования программа позволит выполнить планирование эксперимента с использованием лабораторного стенда [2] с целью разработки средств индикаторного контроля накопленного износа изоляции кабелей для разработки способов экспресс оценки остаточного ресурса силовых кабелей.

Литература

1. Базлов Д. А., Байкасенов Д. К. Исследование процесса нагрева и охлаждения проводников // Перспектива. Сборник статей молодых учёных. Часть I. Оренбург: Участок оперативной полиграфии ОГУ, 2016. Вып. 19. С. 149-153.
2. Базлов Д. А., Байкасенов Д. К. Лабораторный стенд для экспериментального исследования процесса нагрева проводников // Новая наука: современное состояние и пути развития. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2016. Вып. 4-3. С. 15-17.
3. Базлов Д. А., Байкасенов Д. К. Влияние нагрева на износ изоляции кабеля при защите плавкими предохранителями // Интеграция науки, общества, производства и промышленности. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2016. С. 3-6.
4. Баскаков А. П. Теплотехника: учебник для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт и др. М.: Энергоатомиздат, 1991. 224 с.

5. *Лившиц Д. С.* Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 В / Лившиц Д. С. М.: «Энергия», 1967. 74 с.
6. ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия. Введ. 2014-01-01. Москва: Стандартинформ, 2013. 38 с.
7. *Дворкин Л. И.* Справочник по строительному материаловедению: учебно-практическое пособие / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. Москва: Инфра-Инженерия, 2010. 472 с.