

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАБЕЛЯ

А. А. Мороз, Р. И. Бектимиров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель А. А. Капанский

Как правило, основу городских электрических сетей среднего напряжения, питающих жилые и промышленные здания, составляют кабельные линии, протяженность которых с каждым годом непрерывно увеличивается. Силовые кабели, предназначенные для передачи и распределения электрической энергии, занимают первое место в структуре выпуска всех типов кабельных изделий [1].

В процессе эксплуатации происходит нагрев силового кабеля из-за потерь активной мощности в его жиле и других элементах. Предельно допустимые токовые нагрузки зависят от допустимой температуры нагрева кабеля или провода в процессе эксплуатации, при которой изоляция не будет подвергаться ускоренному старению или снижению механической прочности и эластичности [2]. Под допустимой температурой нагрева кабеля понимают температуру токопроводящей жилы, при которой нагрев изоляции не будет превышать значений, установленных ПУЭ. Тепловой расчет кабеля сводится к определению температуры токоведущей жилы с учетом потерь тепловой энергии во всех его элементах (основная изоляция, защитная оболочка, броня, окружающая среда) [3].

В процессе проведения теплотехнических расчетов по определению температуры кабеля, находящегося под нагрузкой, необходимо уделить особое внимание расчету тепловых сопротивлений. Величина теплового сопротивления изоляции зависит как от геометрических размеров кабеля, так и его конструкции. Для математического описания конструкции кабеля в расчетах теплового сопротивления вводится параметр «геометрический фактор», который для большинства типов кабелей необходимо определять весьма трудоемким способом. Расчет теплового сопротивления окружающей среды является достаточно сложной задачей, поскольку для корректного описания математической модели необходимо учитывать множество факторов (число кабелей, место и способ прокладки, характер нагрузки и др.). Для нахождения значений тепловых сопротивлений кабеля зачастую приходится вычислять искомые величины итерационным путем, что доставляет значительные неудобства в скорости и качестве расчета.

Рассмотренные выше требования показывают сложность проведения вычислений теплового сопротивления кабеля в целом. Инженерные расчеты без использования ЭВМ могут приводить к погрешностям при определении теплового сопротивления кабеля, что, в свою очередь, приводит к погрешности в определении допустимой токовой нагрузки. В связи с этим ставится задача разработки программного обеспечения, позволяющего без значительных затрат труда производить расчет теплового сопротивления элементов кабеля и окружающей среды.

В рамках решения поставленной задачи в соответствии с методикой расчета, приведенной в ГОСТ Р МЭК 60287-2-1–2009, на кафедре «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого авторами была разработана компьютерная программа «Thermal resistance» (тепловое сопротивление), позволяющая производить расчет внутреннего и внешнего тепловых сопротивлений кабелей, проложенных на воздухе, в каналах и земле. Внешний вид главного окна разработанной программы представлен на рис. 1.

Компьютерная программа «Thermal Resistance» предназначена для решения следующих задач:

- расчета теплового и термического сопротивления на фазу между жилой и оболочкой;
- расчета теплового и термического сопротивления между оболочкой и броней;
- расчета теплового и термического сопротивления наружного защитного покрытия;
- расчета теплового и термического сопротивления окружающей среды;
- расчета теплового и термического сопротивления между кабелем и каналом (трубой);
- расчета теплового и термического сопротивления канала (трубы);
- расчета внешнего теплового и термического сопротивления среды, окружающей канал (трубу).

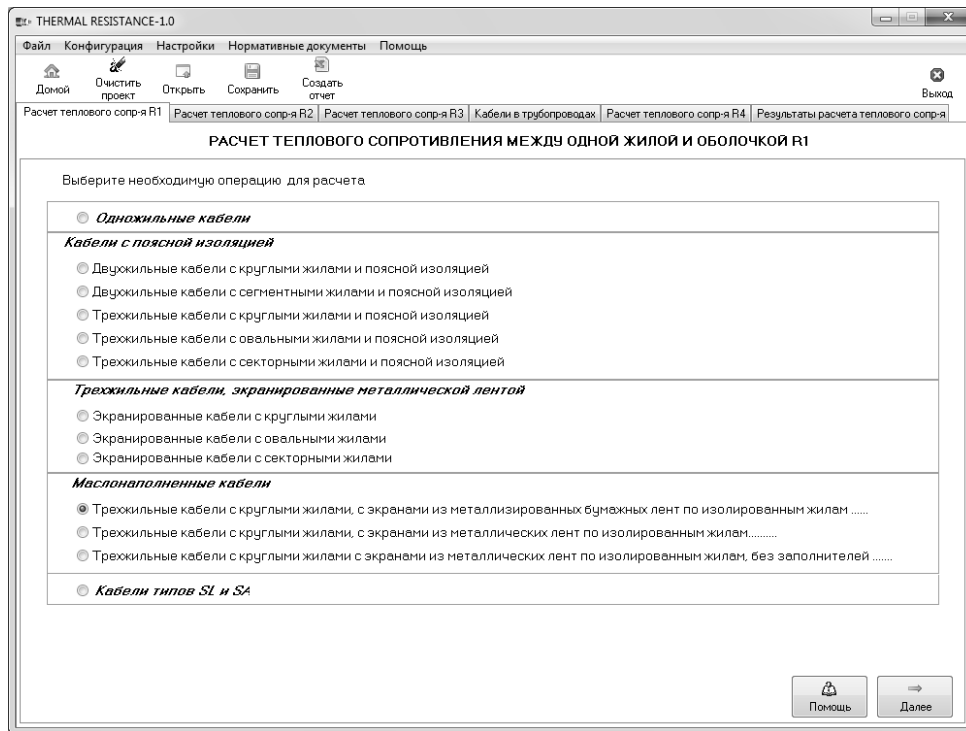


Рис. 1. Внешний вид главного окна компьютерной программы «Thermal resistance»

Расчетная часть программы написана на языке Delphi диалекта Object Pascal. В большинстве случаев расчет теплового сопротивления основной изоляции, защитной оболочки, брони и окружающей среды в программе производится после того, как выполнилось событие нажатия кнопки «Выполнить». После выполнения данного события программа выводит сообщение о результатах расчета и предлагает пользователю перейти к выполнению расчета теплового сопротивления оставшихся элементов, составляющих кабель. Если все вычисления произведены, осуществляется переход на вкладку «Результаты расчета теплового сопротивления», где сведены результаты всех предшествующих расчетов и значение результирующего теплового сопротивления, составляющее сумму тепловых сопротивлений отдельных элементов кабеля.

Значения вводимых исходных данных кабеля автоматически определяются программой как глобальные, что позволяет опустить процедуру повторного ввода тех или иных параметров в дальнейших расчетах.

В разработанной программе предусмотрена база данных удельных тепловых сопротивлений материалов кабеля, созданная при помощи средств пакета MS Access. Она включает в себя более двадцати единиц различных изоляционных материалов и защитных покрытий, а также предусматривает возможность добавления и удаления собственных данных.

В разработанной программе можно как сохранять, так и открывать ранее введенные параметры кабеля. Настройки программы позволяют оперировать цветовой схемой интерфейса и точностью выводимых результатов. В разделе «Нормативные документы» сведены основные стандарты, необходимые для выполнения расчетов по определению номинальных токовых нагрузок кабелей и тепловых сопротивлений.

При выполнении команды «Создать отчет» происходит вывод данных в электронную таблицу для программы MS Excel. Сформированный отчет состоит из таблиц с исходными данными и результатами расчетов тепловых и термических сопротивлений, находящимися на пяти листах программы MS Excel.

Основные преимущества компьютерной программы «Thermal Resistance» – это точность и оперативность производимых вычислений, а также простота пользовательского интерфейса.

Также программа может быть использована для окончательной оценки нагрузочной способности силового кабеля, выбранного в проекте, путем расчета температуры жилы в соответствии с [2] по следующей формуле:

$$\theta = P \cdot \sum_i R_i,$$

где P – суммарные потери активной мощности в кабеле в режиме аварийных перегрузок; R_i – тепловые сопротивления, рассчитанные программой «Thermal Resistance».

Если значение θ не входит в диапазон допустимого, то это говорит о недоработках в проекте.

На этапе эксплуатации программа «Thermal Resistance» может быть использована в составе программного обеспечения устройства для диагностирования силового кабеля по тепловым параметрам [4].

Программа позволяет автоматизировать процесс расчета тепловых сопротивлений элементов кабеля. Автоматизация расчета, учитывающая различные условия прокладки кабеля, позволит инженеру обоснованно производить выбор токоведущих частей на стадии проектирования и при эксплуатации систем электроснабжения.

Разработанная программа может быть применена для автоматизации производственных расчетов на предприятиях, в проектных организациях, а также в рамках учебного процесса студентов вузов.

Гибкость пользовательского интерфейса, производительность и адаптивность позволяет в дальнейшем рассматривать вопрос о развитии функциональных возможностей программы.

Литература

1. Силовые кабели на напряжение 10–500 кВ: история развития и перспективы / Г. И. Мещанов [и др.] // Науч.-практ. журн. «Наука и жизнь». – 2006. – № 3. – С. 18–24.

2. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1–2009. Кабели электрические. Вычисление номинальной токовой нагрузки. Ч. 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100-процентный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения.
3. Зализный, Д. И. Математическая модель тепловых процессов одножильного силового кабеля / Д. И. Зализный, С. Н. Прохоренко // Изв. высш. учеб. заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2012. – № 5. – С. 25–34.
4. Пат. 7281 Респ. Беларусь, МПК (2011) H02H6/00. Устройство для выявления аномального нагрева одножильного силового кабеля / Д. И. Зализный, Д. М. Лось. – заявл. 3.11.2010 ; опубл. 30.06.2011. – 4 с.