

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЕЙ ПРИ ПИТАНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ НАГРУЗОК

А. В. Засименко

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

Научные руководители: Ю. А. Рудченко, Т. В. Алферова

Несинусоидальность напряжений и токов оказывает негативное влияние на работу электрооборудования, сокращая срок его службы, приводит к увеличению потерь напряжения и мощности в сети, уменьшению ее пропускной способности [1].

Разработанная математическая модель, описывающая влияние высших гармоник тока, создаваемых работой нелинейных электроприемников на работу кабельных линий, реализуется следующим образом.

Активное сопротивление токопроводящей жилы по теореме Умова–Поинтинга:

$$R_{\text{ж}} = \frac{\sqrt{\omega\gamma\mu} \cdot b_0}{2\pi\gamma r b_1} \cos\left(\beta_0 - \beta_1 - \frac{\pi}{4}\right),$$

где ω – угловая частота электрического тока, с^{-1} ; b_0 – модуль функции Бесселя нулевого порядка первого рода; b_1 – модуль функции Бесселя первого порядка первого рода; β_0 – аргумент функции Бесселя нулевого порядка первого рода; β_1 – аргумент функции Бесселя первого порядка первого рода; γ – удельная проводимость токопроводящей жилы (для алюминиевой жилы $\gamma = 37 \cdot 10^6 \text{ См/м}$); μ – магнитная проницаемость (для алюминиевой жилы $\mu = 1,256629 \cdot 10^{-6}$).

При протекании несинусоидального тока по фазным жилам выделяется тепло, которое можно рассчитать по формуле

$$R_{\Sigma}^{\text{фазн}} = I_1^2 R_1 + \sum_{n=3}^{21} I_n^2 \cdot R_n,$$

где I_1, I_n – токи основной частоты и высшей гармоники, А; R_1 и R_n – активное сопротивление на основной частоте и высших гармониках тока, Ом.

В нулевом проводнике при питании нелинейной симметричной нагрузки протекают токи высших гармоник, кратные трем. При этом выделяется тепло, мощность источника которого равна

$$R_{\Sigma}^0 = \sum_{n=3,9,\dots}^{21} (3I_n)^2 \cdot R_n,$$

где I_n – значение фазного тока, создаваемого гармониками, кратными трем.

Общие потери активной мощности определяем по формуле

$$P_{\text{сум}} = 3P_{\Sigma}^{\text{фаз}} + P_{\Sigma}^0.$$

Температура изоляции жилы для четырехжильного кабеля будет равна

$$\tau_{\text{ж}} = P_{\text{ж}} T_1 + 3P_{\text{ж}} (T_2 + T_3 + T_4) + \tau_{\text{окр.ср}},$$

где $P_{\text{ж}}$ – потери мощности в жиле кабеля, Вт; T_1 – тепловое сопротивление между жилой и оболочкой кабеля; T_2 – тепловое сопротивление между оболочкой и броней; T_3 – тепловое сопротивление наружного защитного покрытия; T_4 – тепловое сопротивление окружающей среды; $\tau_{\text{окр.ср}}$ – температура окружающей среды, °С.

Параметры T_1, T_2, T_3, T_4 определяются согласно методике, изложенной в ГОСТ Р МЭК 60287-2-1–2009.

Снижение срока службы ($V_{\text{нс}}$) по условию теплового износа изоляции описывается экспоненциальным уравнением Аррениуса. Оно определяет снижение нормативного срока службы оборудования ($V_{\text{ном}}$) при достижении определенной энергии активации и зависящей от температуры.

$$V_{\text{нс}} = V_{\text{ном}} \exp\left(-K_a \left(\frac{1}{\theta_{\text{ном}}} - \frac{1}{\theta_{\text{нс}}}\right)\right),$$

где $\theta_{\text{ном}}$ – температура изоляции в номинальном режиме, К; $\theta_{\text{нс}}$ – температура изоляции при наличии высших гармоник, К; K_a – коэффициент, пропорциональный энергии активации, К.

Допустимый ток в кабеле при несинусоидальной нагрузке определяются методом последовательных приближений. Подбор значений токов при известном спектре высших гармоник осуществляется до тех пор, пока температура изоляции жилы кабеля не будет равна длительному допустимому значению температуры для данного вида кабеля.

Для автоматизации расчетов эксплуатационных характеристик кабелей при питании нелинейных нагрузок была разработана компьютерная программа «Hz cable», которая позволяет производить расчет четырехжильных силовых кабелей до 1 кВ.

Данная программа предназначена для решения следующих задач:

- 1) расчета потерь мощности в фазных жилах кабеля с учетом синусоидальной и несинусоидальной нагрузки;
- 2) расчета потерь мощности в нулевой жиле кабеля с учетом синусоидальной и несинусоидальной нагрузки;
- 3) расчета суммарных потерь мощности в кабельной линии с учетом синусоидальной и несинусоидальной нагрузки;
- 4) расчета температуры нагрева кабеля с учетом несинусоидальной нагрузки;
- 5) расчета допустимого тока кабеля с учетом нелинейной нагрузки;
- 6) срок службы кабеля в несинусоидальном режиме.

Программа написана на языке Delphi.

Внешний вид окна программы Alfa представлен на рис. 1.

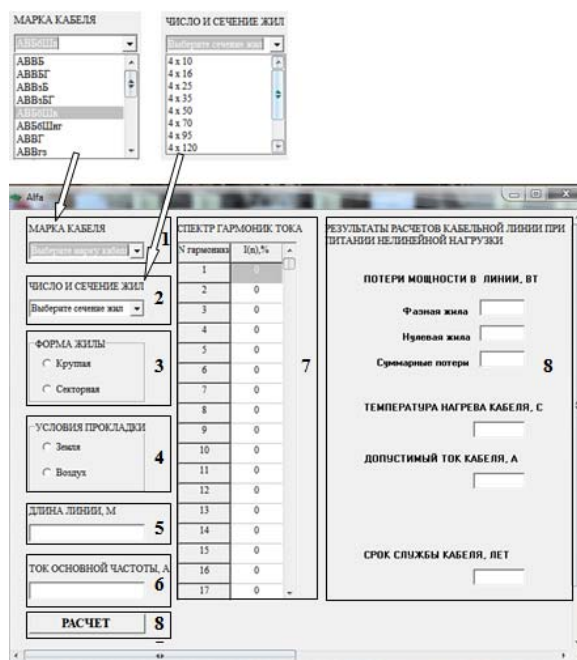


Рис. 1. Главное окно программы Alfa

Программа имеет простой и интуитивно понятный интерфейс, что позволяет затрачивать минимум времени при вводе исходных данных.

В качестве исходных данных пользователю предлагается выбрать:

- 1) поле 1 – марка кабеля:

АВВБ	АВВГз	ВВзБ
АВВБГ	АВВГзнг	ВВБГ
АВВзБ	АВВнг	ВВГ
АВВзБГ	АВВнг	ВВГз
АВББШв	АСБ	ВВГзнг
АВББШнг	ВВБ	ВВГнг
АВВГ	ВВБГ	

2) поле 2 – число и сечение жил кабеля:

$4 \times 10 \text{ мм}^2$	$4 \times 25 \text{ мм}^2$	$4 \times 50 \text{ мм}^2$
$4 \times 16 \text{ мм}^2$	$4 \times 35 \text{ мм}^2$	$4 \times 70 \text{ мм}^2$
$4 \times 95 \text{ мм}^2$	$4 \times 150 \text{ мм}^2$	$4 \times 240 \text{ мм}^2$
$4 \times 120 \text{ мм}^2$	$4 \times 185 \text{ мм}^2$	

3) поле 3 – форма жилы: круглая; секторная;

4) поле 4 – условия прокладки кабеля:

земля ($t_{\text{окр. среды}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$);

воздух ($t_{\text{окр. среды}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$);

5) поле 5 – длина кабельной линии в метрах;

6) поле 6 – ток основной частоты в амперах;

7) поле 7 – спектр гармоник тока в процентах.

После нажатия кнопки «Расчет» программа производит расчеты по вышеприведенному алгоритму. Результаты расчетов выводятся в блок 8 окна программы Alfa.

В дальнейшем программа Alfa будет совершенствоваться. Планируются следующие изменения:

1) будет увеличена база данных марок кабелей;

2) появится возможность расчета четырехжильных кабелей с неодинаковыми сечениями фазных и нулевой жил;

3) будет реализован алгоритм расчета потерь в жилах кабеля в случае, когда по фазным проводникам протекает ток различного спектрального состава;

4) появится возможность корректировки геометрических параметров исследуемых кабелей.