

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ ПРОВОДНИКА В СРЕДЕ

**Яблочников Артём Михайлович**, инженер электрик, «Электромонтажные работы», Казахстан, г. Алматы улица КараСу 1а. Тел.: 87081818188, e-mail: art.kazsccp@mail.ru

**Байбагысова Динара Жанузакевна**, Филиал им. академика Х.А. Рахматулина в г. Токмок при КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан г. Токмок ул. Гагарина, 65. Тел.: 03138-61513, e-mail: baibagysova\_d@iuca.kg

**Кадиева Аида Кайыпбергеневна**, Филиал им. академика Х.А. Рахматулина в г. Токмок при КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан г. Токмок ул. Гагарина, 65. Тел.: 03138-61513, e-mail: kaidif\_28@mail.ru

**Сатаркулов Калмурза Асанович**, к.т.н, доцент, Филиал им. академика Х.А. Рахматулина в г. Токмок при КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан г. Токмок ул. Гагарина, 65. Тел.: 03138-61513, e-mail: satarkulov46k@mail.ru

**Аннотация.** В статье разработана структурная схема модели, описывающая перегрев проводника относительно окружающей среды. Модель состоит из шести блоков, в которых в процессе моделирования реализуются такие операции как, имитация тока нагрузки, изменяющегося по стохастическому закону; интегрирование соответствующих дифференциальных уравнений; определение расчетных токов и вывод результатов моделирования. При разработке компьютерной модели нагрева проводника была принята схема тепловых процессов в проводнике, описанная в научных публикациях. Моделирование производилось в среде SimPowerSystems и Simulink.

**Ключевые слова.** Расчетная нагрузка, моделирование, нагрев проводника, стохастический характер изменения тока.

## MODELING OF THE HEATING PROCESS AND THE DEFINITION DESIGN LOAD OF THE CONDUCTOR IN THE ENVIRONMENT TSIMPOWERSYSTEMS AND SIMULINK

**Yablochnikov Artem Michailovich**, Electrical engineer, Electrical work, Kazakhstan Almaty Karasu street 1a. Phone: 87081818188, e-mail: art.kazsccp@mail.ru

**Baibagysova Dinara Januzakovna**, Applicant, The branch academician named after J. A. Rakhmatulin in Tokmok at KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, Tokmok Gagarina st., 65. Phone: 03138-61513, e-mail: baibagysova\_d@iuca.kg

**Kadieva Aida Kaiypbergenovna**, Senior lecture, The branch named after academician J. A. Rakhmatulin in Tokmok at KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, Tokmok Gagarina st., 65. Phone: 03138-61513, e-mail: kaidif\_28@mail.ru

**Satarkulov Kalmurza Asanovich**, PhD, Associate Professor, The branch named after academician H.A. Rakhmatulin in Tokmok c. at KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, Tokmok Gagarina st., 65. Phone: 03138-61513, e-mail: satarkulov46k@mail.ru

**Abstract.** The paper developed a structural scheme of the model describing the overheating of the conductor relative to the environment. The model consists of six blocks in which the simulation process implements operations such as, simulation of the load current, is given by a stochastic law; the integration of the corresponding differential equations; determining the estimated current and the output of the simulation results. In developing a computer model of heating of the conductor adopted a scheme of thermal processes in the conductor, described in scientific publications. The simulation was made in an environment SimPowerSystems and Simulink.

**Keywords:** load, modeling, heat conductor, the stochastic nature of current change, SimPowerSystems, Simulink.

Решение проблемы более точного определения расчетных нагрузок остается актуальной задачей, так как занижение расчетных нагрузок приводит к перегревам элементов систем электроснабжения и ускоренному их износу, завышение расчетных нагрузок - к излишним капиталовложениям и затратам на системы электроснабжения [1]. Из сказанного ясна необходимость разработки и внедрения в практику проектирования систем электроснабжения научно обоснованных инструментальных оценки электрических нагрузок, особенно при стохастическом характере изменения тока нагрузки [2].

В данной работе рассмотрено моделирование процесса нагрева проводника в среде SimPowerSystems и Simulink, а также оценка расчетной нагрузки при стохастическом характере изменения тока.

При разработке компьютерной модели нагрева проводника, со стохастическим характером изменения протекающего по нему тока, была принята схема тепловых процессов в проводнике, изложенная в работе [1]. Согласно, подобная схема допустима для проводников заводских сетей.

Из условия теплового баланса для трехжильного кабеля, открыто проложенного внутри помещения, при токе нагрузки  $I(t)$  в амперах в [1] получено уравнение, описывающее перегрев проводника относительно окружающей среды:

$$\frac{C}{A} \cdot \frac{d\vartheta}{dt} + \left(1 - 3I^2 \frac{\alpha R_0}{A}\right) \vartheta = 3I^2(t) \frac{R_0}{A}, \quad (1)$$

где  $R_0$  – активное сопротивление жилы проводника при температуре 20°C, Ом;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, 1/°C;  $C$  – теплоемкость проводника или кабеля, Дж/°C;  $A$  – коэффициент теплоотдачи, учитывающий суммарную отдачу тепла в окружающую среду за счет теплопроводности, конвекции и лучеиспускания, Вт/°C.

Согласно [1], рост значения коэффициента теплоотдачи практически компенсирует одновременное возрастание сопротивления  $R = R_0(1 + \alpha\vartheta)$ ; поэтому в этой работе рассмотрено два предельных допущения:

1)  $\alpha = 0,0039$ ;  $A \approx \text{const} = A_1$ ;

2)  $\alpha \approx 0$ ;  $A \approx \text{const} = A_0$ .

Тогда уравнение (1) примет соответственно следующие виды:

$$\frac{C}{A_1} \cdot \frac{d\vartheta_1}{dt} + \left(1 - 3I^2(t) \frac{\alpha R_0}{A_1}\right) \vartheta_1 = 3I^2(t) \frac{R_0}{A_1}; \quad (2a)$$

$$\frac{C}{A_0} \cdot \frac{d\vartheta_0}{dt} + \vartheta_0 = 3I^2(t) \frac{R_0}{A_0}. \quad (2б)$$

Их интегралы  $\vartheta_1(t)$  и  $\vartheta_0(t)$  являются приближениями к действительному перегреву  $\vartheta(t)$ . При этом  $\vartheta_1(t)$  будет давать несколько повышенные значения наибольшего перегрева  $\vartheta_M$  [1].

Положив в уравнениях (2)  $I = \text{const} = I_N$ ;  $\vartheta = \text{const} = \vartheta_N$ , найдено значение постоянных

$$A_1 = \frac{3I_N^2}{\vartheta_N} R_0 (1 + \alpha\vartheta_N); \quad A_0 = \frac{3I_N^2}{\vartheta_N} R_0;$$

подставив их в уравнения (2), получено [2]:

$$\lambda_1 T_0 \frac{d\vartheta_1}{dt} + \vartheta_1 = \lambda_1 \vartheta_N \left( \frac{I(t)}{I_N} \right)^2; \quad (3a)$$

$$T_0 \frac{d\vartheta_0}{dt} + \vartheta_0 = \vartheta_N \left( \frac{I(t)}{I_N} \right)^2; \quad (3б)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{1}{1 + \alpha \vartheta_N \left[ 1 - \left( \frac{I(t)}{I_N} \right)^2 \right]}; \\ T_0 &= \frac{C}{A_0} = \frac{C \vartheta_N}{3 I_N^2}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$T_0$  – постоянная времени нагрева проводника;  $I_N$  – длительно допустимая нагрузка;  $\vartheta_N$  – длительно допустимая температура перегрева в нормальном режиме. Связь между  $T_0$  и  $I_N$  представлена на рис. 1 [1].

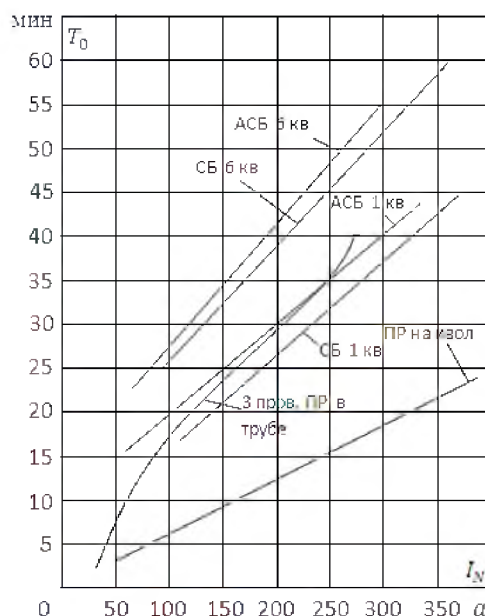


Рис. 1. Связь между постоянной времени нагрева  $T_0$  проводов и кабелей и длительно допустимой нагрузкой  $I_N$

Для удобства выполнения расчета  $I_p$  по заданному графику  $I(t)$  в [2], значения перегрева  $\vartheta_1, \vartheta_0$  заменено в выражениях (3а) и (3б) прямо пропорциональными им вспомогательными переменными  $z_1, z_0$ , согласно формулам:

$$\vartheta_1 = z_1 \frac{\vartheta_N}{I_N^2}, \quad \vartheta_0 = z_0 \frac{\vartheta_N}{I_N^2}. \quad (5)$$

Следовательно, уравнение (3) перейдет в следующие выражения [2]:

$$\lambda_1 T_0 \frac{dz_1}{dt} + z_1 = \lambda_1 I^2(t), \quad (6a)$$

$$T_0 \frac{dz_0}{dt} + z_0 = I^2(t). \quad (6б)$$

Для вычисления по графику нагрузки расчетного тока  $I(t)$  по пику температуры, можно воспользоваться формулами [2]:

$$I_{pl}^{(0)} = \sqrt{\frac{z_{0M}}{\beta_I}}. \quad (7)$$

$$I_{pl}^{(1)} = \sqrt{\frac{(1 + \beta_1 \alpha \vartheta_N) z_{1M}}{\beta_I \left( 1 + \alpha \vartheta_N \frac{z_{1M}}{I_N^2} \right)}}. \quad (8)$$

где  $\beta_I$  – допустимая кратность перегрева жилы проводника;  $z_{1M}, z_{0M}$  – соответственно наибольшие ординаты функций  $z_1(t), z_0(t)$ . Они являются интегралами дифференциальных уравнений (6а, 6б).

Разработанная в работе структурная схема модели, описывающая перегрев проводника относительно окружающей среды, представлена на рис.2. В процессе моделирования, в соответствующих блоках  $a, b, c, d, e, f$  (рис.2) реализуются следующие операции:  $a$  – моделирование тока нагрузки  $I(t)$ , изменяющегося по стохастическому закону;  $b, c$  – интегрирование дифференциальных уравнений соответственно (6а) и (6б), результаты которых представлены на рисунках 3б и 3с;  $d, e$  – определение расчетных токов по формулам (8) и (7) с использованием наибольших значений  $z_{1M}, z_{0M}$  функций  $z_1(t)$  и  $z_0(t)$ ;  $f$  – выводятся результаты моделирования.

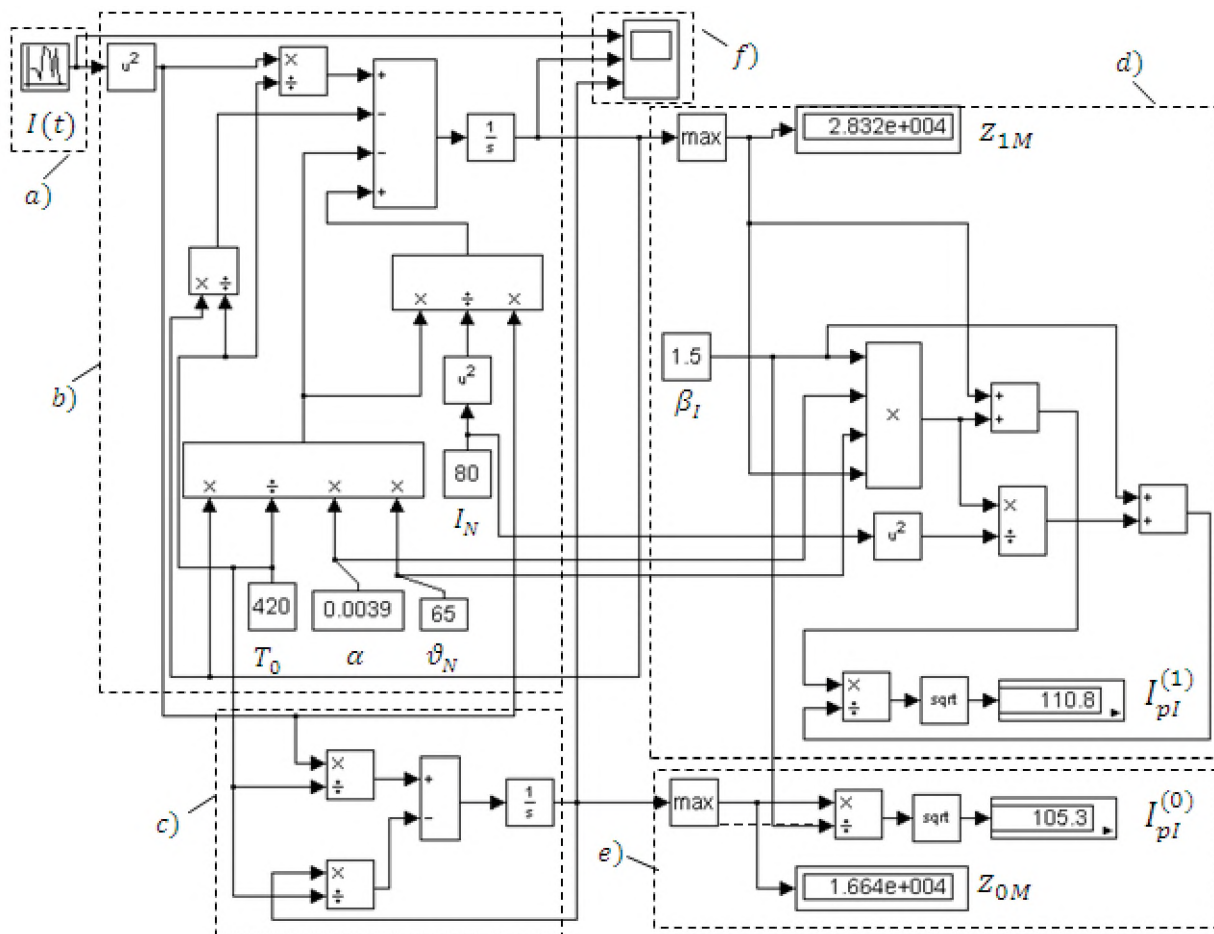


Рис. 2. Структурная схема модели, описывающей перегрев проводника относительно окружающей среды

**В заключении** в качестве иллюстрации (рис. 3), показаны две интегральные кривые (рис.3б, с) уравнений нагрева (6а) и (6б) для открыто проложенных проводов, полученные с использованием компьютерной модели (рис.2), описывающей перегрев проводника относительно окружающей среды, для показанного на том же рисунке, смоделированного графика нагрузки  $I(t)$ .

Найденные в процессе моделирования значения  $z_{0M} = 1.664 \cdot 10^4$  и  $z_{1M} = 2.832 \cdot 10^4$  (рис.3 с, б), привели к следующим значениям  $I_{pl}^{(0)} = 105.3$  А;  $I_{pl}^{(1)} = 110.8$  А; при  $\alpha = 0.0039$  и  $\vartheta_N = 65$  для  $\beta_I = 1.5$ , т.е. действительное значение расчетного тока  $I_{pd}$  находится в пределах  $105.3 \text{ А} \leq I_{pd} \leq 110.8 \text{ А}$ .

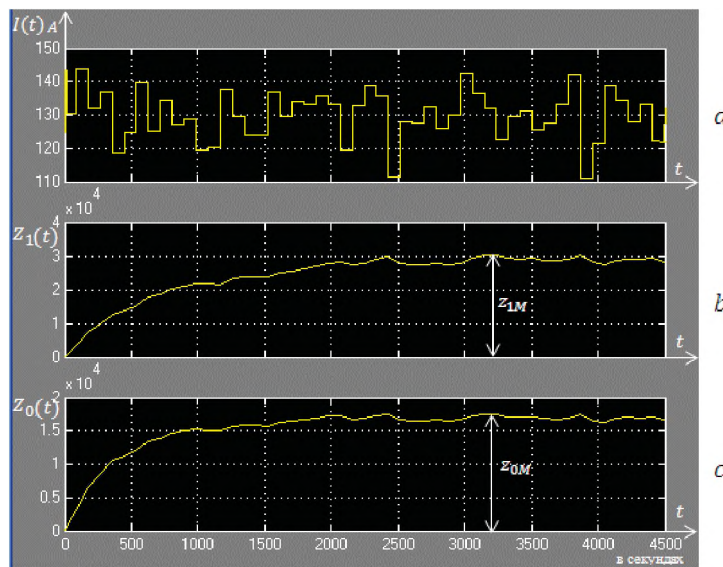


Рис. 3. Графики изменения во времени функций:  $I(t)$  – тока нагрузки;  $z_1(t)$  – интеграла дифференциального уравнения (6а);  $z_0(t)$  – интеграла дифференциального уравнения (6б)

### Список литературы

1. Арфан А.Х., Сатаркулов К.А. Компьютерное управление экспериментом в системах электроснабжения промышленных предприятий /Наука, новые технологии и инновации. 2006. № 1. С. 50-54.
2. Электрические нагрузки промышленных предприятий /С.Д. Волобринский, Г.М. Каялов, П.Н. Клейн, Б.С. Мешель. - Л.: Энергия, 1971. - 264 с.