

УДК 621.315  
ББК 3264-042

И.П. ИВАНОВ, Д.В. САМУИЛОВ, Г.П. СВИНЦОВ,  
А.А. ФЕДИМИРОВ, Е.В. ШПАКОВ

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОНТАКТОРОВ

**Ключевые слова:** электромагнитный контактор, токопроводящие элементы, проектирование, усовершенствованная методика, постоянная распределения температуры, температура нагрева.

Существующие методики проектирования токопроводящих частей главной цепи электромагнитных контакторов базируются на двух допущениях: бесконечной длине токопровода и отсутствии его нагрева, определяемого переходным сопротивлением контактов. Это может привести к существенным погрешностям при проектировании токопроводов конечной длины, в первую очередь при проектировании токопроводящих частей с мостиковыми контактами, которые содержат практически все современные электромагнитные контакторы. Для более эффективного определения геометрических параметров токопроводящих частей предлагается использовать усовершенствованную методику без указанных выше допущений. В качестве расчетной используется модель контакта, образованного перекрытием концов двух проводников прямоугольного сечения и содержащего контакт-детали. Ключевой особенностью методики является использование в расчетах введенной впервые постоянной распределения температуры вдоль длины проводника, которая определяет характер изменения его температуры нагрева. Приведены основные этапы расчета и пример определения геометрических размеров токопроводящих частей по данной методике для контакторов фирмы АВВ на разные номинальные токи.

Распространенные методики проектирования токопроводящих частей главной цепи электромагнитных контакторов основаны на теоретических зависимостях, описывающих установившийся тепловой процесс в проводниках при протекании номинального тока контактора [1, 3, 5]. При этом принимается, что токопровод (проводник) имеет бесконечную длину и не учитывается его нагрев, определяемый переходным сопротивлением контактов. Такие допущения могут привести к существенным погрешностям при проектировании токопроводов конечной длины, в первую очередь при проектировании токопроводящих частей с мостиковыми контактами, которые содержат практически все современные электромагнитные контакторы.

Нагрев проводников от мощности потерь, обусловленной сопротивлением контакта  $R_k$ , в основах теории электрических аппаратов, например в [2, 6], рассматривается для геометрической модели контакта, образованного торцами двух соосных цилиндрических проводников (рис. 1, а). В них началом отсчета распределения температуры вдоль длины проводника (оси  $x$ ) является граница зоны стягивания  $S_{ст}$  (точки  $O'$  и  $O''$ ), т.е. распределение температуры в зоне стягивания не рассматривается. Протяженность зоны стягивания при-

нимается 0,25 и более от диаметра контакта (цилиндрического проводника), что может составить немалую часть от длины токопроводящих элементов аппарата [2, 6]. Так, например, для контактора на номинальный ток 400 А она равна приблизительно половине длины мостика.

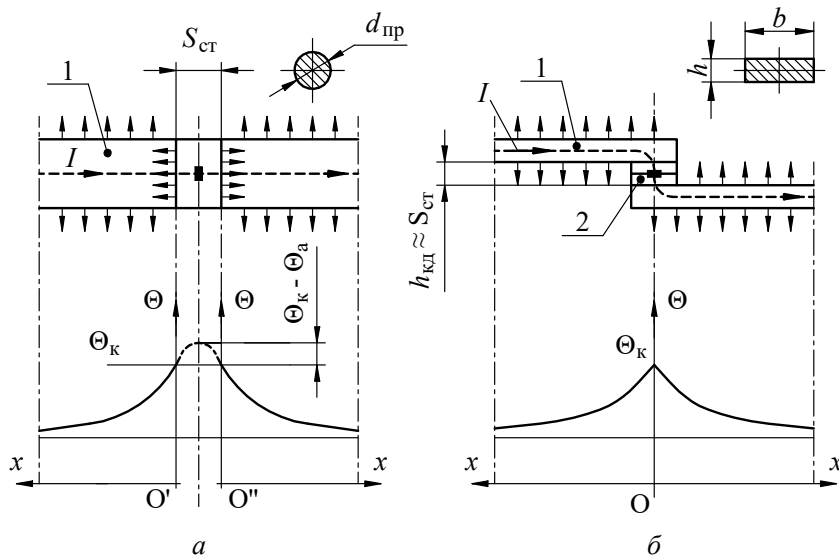


Рис. 1. Геометрические модели контакта и распределения температуры нагрева  $\Theta$  вдоль длины  $x$  проводника:  
 а – классическая модель контакта, образованного торцами двух соосных цилиндрических проводников;  
 б – упрощенная модель контакта, образованного перекрытием концов двух проводников прямоугольного сечения и содержащего контакт-детали (1 – проводники; 2 – контакт-детали;  $S_{ст}$  – зона стягивания контакта, границы которой являются началом отсчета распределения температуры ( $O'$  и  $O''$ );  $h_{кд}$  – высота двух контакт-деталей)

При выполнении проектных расчетов можно использовать геометрическую модель контакта, образованного перекрытием концов двух проводников прямоугольного сечения и содержащего контакт-детали (рис. 1, б), основанной на модели контактного соединения проводников [4]. Характерным отличием этой модели от классической является расположение зоны стягивания  $S_{ст}$  перпендикулярно длине проводника (оси  $x$ ). При этом за начало (точка  $O$ ) распределения температуры  $\Theta(x)$  можно принять ось, проходящую через центр контактов, а зону стягивания – равной приблизительно высоте контакт-деталей:  $S_{ст} \approx h_{кд}$ .

Повышение нагрева в зоне контакт-деталей вследствие искривления линий тока  $I$  в перекрытии учитывается коэффициентом, уточняющим увеличение переходного сопротивления по экспериментальным данным [3, 4]. Также при совершенствовании методики проектирования за известную (заданную) температуру принимается допустимая температура нагрева токопро-

вода в зоне присоединения к нему внешнего проводника, а не в удаленной зоне с установленной температурой. Эта допустимая температура вывода аппарата устанавливается в стандартах или в техническом задании на разработку аппарата и проверяется в процессе испытаний.

Особенности подходов к совершенствованию проектирования токопроводящих частей контакторов удобно рассмотреть на модели с одним контактом (рис. 1, б).

Температура нагрева  $\Theta(x)$ , распределяемая по длине токопровода (рис. 2), определяется как сумма температуры  $\Theta_k$ , обусловленной сопротивлением контакта  $R_k$  и изменяющейся вдоль длины проводника по экспоненте, температуры  $\Theta_{дж}$ , определяемой тепловыми потерями в самом проводнике (джоулевыми потерями) и постоянной вдоль длины проводника, а также температуры окружающего воздуха  $\Theta_0$  [1, 3, 6]. Если в формулу для определения температуры  $\Theta_k$  ввести новую постоянную величину  $T_{пр}$ , обратную характеристическому геометрическому параметру  $p$  ( $T_{пр} = p^{-1}$ ), то выражение для общей температуры вывода, т.е. точки А (рис. 2), приводится к виду

$$\Theta(A) = \frac{I_n^2 \cdot R_k}{2 \cdot T_{пр} \cdot k_T \cdot \Pi} \cdot e^{-l_{пр}/T_{пр}} + \frac{I_n^2 \cdot \rho}{k_T \cdot \Pi \cdot S} + \Theta_0, \quad (1)$$

где  $I_n$  – номинальный ток, А;  $R_k$  – сопротивления контакта, Ом;  $k_T$  – коэффициент теплопередачи, Вт / (м<sup>2</sup> · С°);  $\Pi$  – периметр проводника, м;  $S$  – площадь поперечного сечения проводника, м<sup>2</sup>;  $l_{пр}$  – длина проводника, м;  $T_{пр} = 1/p = \sqrt{(\lambda \cdot S) / (k_T \cdot \Pi)}$ , м;  $\lambda$  – теплопроводность материала проводника, Вт/(м · С°);  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление материала проводника, Ом·м.

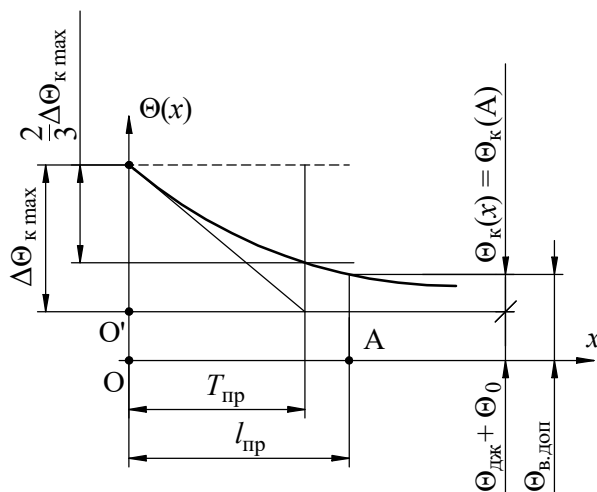


Рис. 2. Зависимость распределения температуры вдоль длины проводника (вывода), содержащего контакт с сопротивлением  $R_k$ , и обозначения ее основных параметров

В свою очередь, удельное электрическое сопротивление материала проводника зависит от температуры следующим образом:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha_k \cdot \Theta_{\text{пр}}),$$

где  $\rho_0$  – удельное электрическое сопротивление материала проводника при температуре  $0^\circ\text{C}$ , Ом·м;  $\alpha_k$  – температурный коэффициент сопротивления материала проводника,  $^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\Theta_{\text{пр}}$  – среднеобъемная температура нагрева проводника.

Параметр  $T_{\text{пр}}$  можно именовать по аналогии с постоянной времени остывания аппарата [2, 6] как постоянная распределения температуры вдоль длины проводника. Величина  $T_{\text{пр}}$  измеряется в метрах и в отличие от параметра  $p$  имеет вполне определенный физический смысл: определяет характер изменения температуры по длине проводника. Например, на расстоянии  $x = T_{\text{пр}}$  температура проводника составляет приблизительно  $1/3$  от  $\Delta\Theta_{\text{к max}}$  ( $\Theta_{\text{к max}}$  – максимальное превышение температуры нагрева контактов при  $x = 0$ ), при  $x = l_{\text{пр}}$  температура вывода в контрольной точке А составляет приблизительно  $0,36 \cdot \Delta\Theta_{\text{к max}}$ .

Также представляет интерес возможность определения параметров сечения проводника при известном значении постоянной распределения температуры, установленной, например, по фактическим данным токопровода, характерным для определенной группы контактов.

**Расчет параметров сечения проводника аппарата с учетом влияния на нагрев сопротивления одного контакта  $R_{\text{к}}$ .** При заданных значениях температуры окружающего воздуха  $\Theta_0$  и допустимой температуры нагрева  $\Theta_{\text{пр. доп}}$  проводника (вывода) в точке А ( $\Theta(A) = \Theta_{\text{пр. доп}}$ ) из уравнения (1) можно определить значения параметров сечения проводника: периметра  $\Pi$  и площади поперечного сечения  $S$ . Уравнение (1) относительно  $\Pi$  и  $S$  аналитически не решается. При проектных расчетах его можно решить методом последовательных приближений:

1. Задаются величиной  $\Theta_{\text{дж}}$ , т.е. вторым слагаемым уравнения (1):

$$\Theta_{\text{дж}} = \frac{I_{\text{н}}^2 \cdot \rho_0 \cdot (1 + \alpha_k \cdot \Theta_{\text{пр}})}{k_{\text{т}} \cdot \Pi \cdot S} = \Theta'_{\text{дж}}. \quad (2)$$

Вначале можно принять  $\Theta'_{\text{дж}} = (0,5 \div 0,8) \cdot \Theta_{\text{пр. доп}}$  (нижние значения при меньших значения  $I_{\text{н}}$ ).

2. Из соотношения (2) находят приближенные значения  $\Pi'$  и  $S'$ .

При этом для проводников с прямоугольным сечением  $b \times h$  ( $b$  – ширина,  $h$  – толщина) следует принять их соотношение равным  $m = h/b = 0,25 \div 0,30$ .

3. С помощью полученных значений  $\Pi'$  и  $S'$  из уравнения (1) определяется температура нагрева выводов  $\Theta'(A)$ .

4. Если значение  $\Theta'(A)$  отличается более чем на  $(3 \div 5)\%$  от значения допустимой температуры нагрева выводов  $\Theta_{\text{пр. доп}}$ , то расчет повторяется при новом значении  $\Theta''_{\text{дж}}$ .

Таким образом определяются параметры сечения проводника аппарата с учетом влияния на нагрев сопротивления одного контакта  $R_{\text{к}}$ . В аналогичном порядке можно найти параметры проводника с двумя контактами.

Расчет параметров сечения проводника аппарата с учетом влияния на нагрев сопротивления двух контактов  $R_k$ . Для определения периметра  $\Pi$  и площади поперечного сечения  $S$  проводника в контакторах с мостиковыми контактами можно использовать распределение температуры, основанное на суммирование двух одинаковых экспонент, которые смещены вдоль длины проводника (по оси  $x$ ) на определенное расстояние [4]. Такое распределение с учетом принятых выше обозначений изображено графически на рис. 3 и описывается для точки А уравнением вида

$$\Theta(A) = \frac{I_n^2 \cdot R_k}{2 \cdot T_{пр} \cdot k_T \cdot \Pi} \cdot \left( e^{-l_{пр}/T_{пр}} + e^{-(l_m+l_{пр})/T_{пр}} \right) + \frac{I_n^2 \cdot \rho}{k_T \cdot \Pi \cdot S} + \Theta_0, \quad (3)$$

где  $l_m$  – длина мостика (расстояние между центрами контактов), м.

В этом случае длина проводника (токопровода)  $l_{пр}$  определяется как расстояние от центра одного контакта до центра отверстия для присоединения внешних проводов, т.е. до точки А.

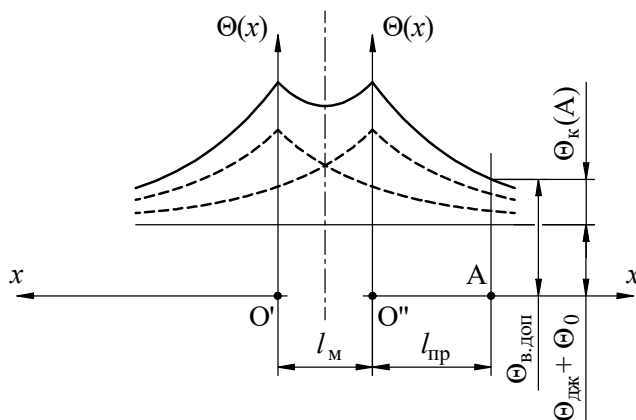


Рис. 3. Распределение температуры  $\Theta$  мостикового контакта с расстоянием между центрами контактов  $l_m$

При известных значениях длины мостика  $l_m$ , допустимой температуры нагрева вывода  $\Theta_{пр,доп}$  и температуры окружающего воздуха  $\Theta_0$  из решения уравнения (3) методом последовательных приближений находятся значения  $\Pi$  и  $S$ :

1. Задаваясь температурой джоулевого нагрева  $\Theta'_{дж}$ , находим приближенные значения периметра  $\Pi'$  и площади  $S'$  по формуле (2).

2. По этим значениям  $\Pi'$  и  $S'$  по формуле (3) определяется температура нагрева вывода  $\Theta(A)$ .

3. Расчеты повторяются (по необходимости), пока не будет соблюдаться условие

$$|\Theta_{пр,доп} - \Theta'(A)| \leq (3 \div 5)^\circ\text{C}. \quad (4)$$

Соответствующие этому условия значения  $\Pi$  и  $S$  принимаются за окончательные проектные данные токопровода главной цепи контактора.

**Пример расчета и оценка точности.** В целях сравнительной оценки проведем расчет токопроводящей части контакторов серии *AF* фирмы *ABB* по традиционной и усовершенствованной методикам и сравним результаты с реальными параметрами образцов, представленными в таблице.

Геометрические размеры проводника в традиционных методиках определяются на основе формулы Ньютона–Рихмана, например формулы (2.1) [5] или (2.25) [1]. Для медных контактов  $\Theta_{\text{пр.доп}} = 130\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Theta_0 = 55\text{ }^\circ\text{C}$  и  $K_T = 15\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  параметры  $b$  и  $h$  для контактора на номинальный ток 146 А составят

$$b = \sqrt[3]{\frac{146^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,0043 \cdot 130)}{15 \cdot (130 - 55)}} \approx 7,2\text{ мм}; \quad h = 0,444 \cdot 7,2 \approx 3,2\text{ мм}.$$

Соответственно периметр  $\Pi$  и площадь поперечного сечения  $S$  будут равны 20,8 мм и 23,0 мм<sup>2</sup>.

При расчетах по усовершенствованной методике в первую очередь необходимо рассчитать величину сопротивления контакта  $R_k$ , например по [4]. Значение контактного нажатия берется по справочным данным [3].

Для контактора на номинальный ток 146 А расчетное общее сопротивление двух контактов равно  $R_k = 153,1 \cdot 10^{-6}$  Ом. Приняв  $\Theta'_{\text{дж}} = 65\text{ }^\circ\text{C}$ , определим из формулы (2) параметры  $b$  и  $h$ :

$$b = \sqrt[3]{\frac{146^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,0043 \cdot 130)}{15 \cdot 65}} \approx 7,5\text{ мм}; \quad h = 0,444 \cdot 7,5 \approx 3,3\text{ мм}.$$

Соответственно периметр  $\Pi$  и площадь поперечного сечения  $S$  будут равны 21,7 мм и 25,1 мм<sup>2</sup>.

Постоянная распределения температуры вдоль длины токопровода

$$T_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{388 \cdot 25,1 \cdot 10^{-6}}{15 \cdot 21,7 \cdot 10^{-3}}} \approx 0,173\text{ м}.$$

Подставляя полученные данные в формулу (3), получим  $\Theta = 160\text{ }^\circ\text{C}$ , что превышает  $\Theta_{\text{пр.доп}}$ . Следовательно, необходимо задаться следующим значением  $\Theta'_{\text{дж}}$  и повторить расчет, пока не будет выполняться условие (4).

При  $\Theta'_{\text{дж}} = 41,8\text{ }^\circ\text{C}$  расчетное значение  $\Theta$  составит 129,9 °С, а параметры  $b$  и  $h$ , соответственно, 8,7 и 3,9 мм. Все остальные расчетные данные, а также данные для контакторов на номинальные токи 265 и 580 А приведены в таблице.

Как следует из таблицы, известные методики расчета дают значительную погрешность при определении параметров сечения проводников (относительная погрешность расчетов – до 40%), что может существенно повлиять на работоспособность разрабатываемого изделия. Поэтому на практике площадь поперечного сечения проводников берется с некоторым запасом на основе опыта проектировщика.

Результаты сравнительных вычислений параметров сечения

Номинальный ток контактора, $I_n$ , А	Данные контактора серии AF						Расчетные значения			
	$l_m$ , мм	$h$ , мм	$b$ , мм	$h/b$	$l$ , мм	$S$ , мм <sup>2</sup>	по традиционной методике		по усовершенствованной методике	
							$l$ , мм	$S$ , мм <sup>2</sup>	$l$ , мм	$S$ , мм <sup>2</sup>
146	30,0	4,0	9,0	0,444	26,0	36,0	20,8	23,0	25,1	33,7
265	45,0	4,0	15,0	0,267	38,0	60,0	33,5	46,5	38,6	62,0
580	94,0	7,5	25,0	0,300	65,0	187,5	55,2	135,2	65,0	187,3

Относительная погрешность расчетов по предлагаемой методике не превышает 10%, что значительно упростит процесс проектирования токоведущих проводников электрических аппаратов.

Предлагаемая методика была опробована при проектировании отечественных сильноточных контакторов серии КСЭ с электронным управлением производства ОАО «ВНИИР-Прогресс». Полученные в ходе испытаний результаты подтвердили ее высокую достоверность, что делает ее достойной заменой существующим методикам расчета.

**Расчетное выражение для определения постоянной распределения температуры вдоль длины токопровода.** Для современных сильноточных контакторов с мостиковыми контактами серий *DIL* (*EATON*, США), *LCIF* (*Schneider Electric*, Франция), *3RT10* (*Siemens*, Германия), *AF* (*ABB*, Швейцария) и КСЭ (ОАО «ВНИИР-Прогресс», Россия) по результатам обработки образцов наиболее распространенных типопредставителей определены постоянные распределения температуры вдоль длины их токопроводов  $T_{пр}$ . Результаты графически представлены на рис. 4.

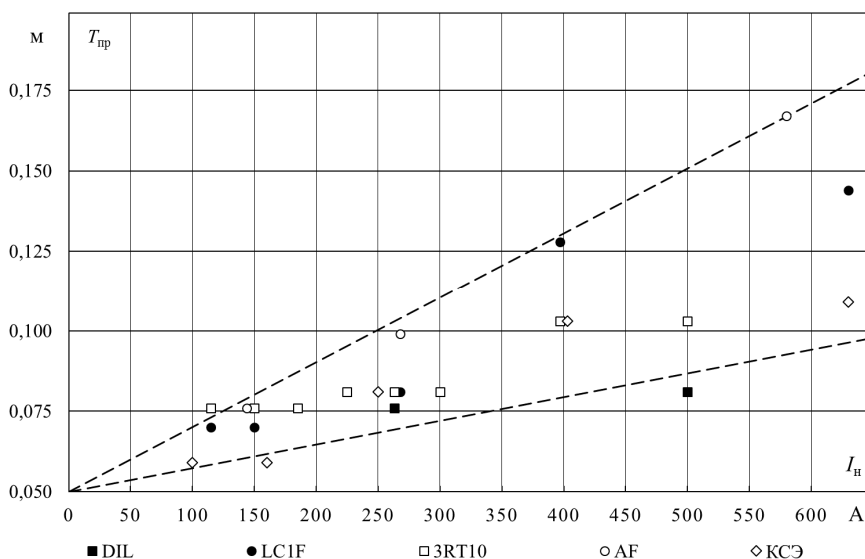


Рис. 4. Значения постоянной распределения температуры  $T_{пр}$  по длине токопровода для контакторов разных серий

В интервале номинальных токов от 100 до 630 А зависимость  $T_{\text{пр}}$  от номинального тока  $I_{\text{н}}$  можно приближенно представить как

$$T_{\text{пр}} = 0,05 + K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{н}}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{пр}} = (0,75 \div 2,00) \times 10^{-4}$ , м/А.

Зависимость (5) справедлива лишь для коэффициента теплопередачи  $k_{\text{т}} = 15$  Вт/( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ); для других значений  $k_{\text{т}}$  соответственно уточняется коэффициент  $K_{\text{пр}}$ .

Используя зависимость (5), можно определить предварительные значения периметра и площади сечения токопровода при модернизации или разработке новых контакторов, а также оценить степень нагрева выводов, обусловленного сопротивлением контактов. Например, для контактора на  $I_{\text{н}} = 160$  А постоянная  $T_{\text{пр}} = 0,0676$  м и температура нагрева вывода на длине 0,05 м, обусловленного сопротивлением контактов:

$$\Delta\Theta_{\text{к}} = \Delta\Theta_{\text{к max}} \cdot e^{-0,05/0,0676} \approx 0,48 \cdot \Theta_{\text{к max}},$$

что подтверждает значительный нагрев вывода от сопротивления контактов.

Следует отметить, что у сильноточных контакторов постоянная  $T_{\text{пр}}$ , как правило, больше длины выводов, поэтому  $\Delta\Theta_{\text{к}} > 0,36 \cdot \Delta\Theta_{\text{к max}}$ .

**Выводы.** Таким образом, усовершенствованная методика проектирования токопроводов контакторов, основанная на учете их дополнительного нагрева, обусловленного сопротивлением контактов:

- устанавливает порядок выбора параметров сечения проводников с учетом длин выводов и расстояния между контактами (длины мостика);
- обеспечивает повышенную точность результатов расчета по сравнению с таковой при традиционной (существующей) методике (погрешность по традиционной методике – до 40%, по усовершенствованной – до 10%);
- позволяет по значениям использованной впервые постоянной распределения температуры вдоль длины проводника  $T_{\text{пр}}$  оценить степень нагрева вывода от сопротивления контактов и длины выводов, а также определить предварительные величины периметра и площади сечения проводника (вывода).

#### Литература

1. Акимов Е.Г. Проектирование контакторов. М.: Издательство МЭИ, 1981. 62 с.
2. Основы теории электрических аппаратов / Б.К. Буль, Г.В. Буткевич, А.Г. Годжелло и др.; под ред. Г.В. Буткевича. М.: Высш. шк., 1970. 600 с.
3. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования). М.: Энергия, 1971. 560 с.
4. Справочник по расчету и конструированию контактных частей сильноточных электрических аппаратов / Н.М. Адоньев, В.В. Афанасьев, В.В. Борисов и др.; под ред. В.В. Афанасьева. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 384 с.
5. Таев И.С. Расчет электромагнитных коммутационных реле и контакторов. М.: Изд-во МЭИ, 1997. 79 с.
6. Электрические и электронные аппараты: в 2 т. Т. 1. Электромеханические аппараты / Е.Г. Акимов, Г.С. Белкин, А.П. Бурмак и др.; под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К. Розанова. М.: Академия, 2010. 352 с.



---

**ИВАНОВ ИВАН ПЕТРОВИЧ** – кандидат технических наук, главный научный сотрудник, ОАО «ВНИИР-Прогресс», Россия, Чебоксары (ipivanov@vniir.ru).

**САМУИЛОВ ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ** – аспирант кафедры электрических и электронных аппаратов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (dsamuilov@vniir.ru).

**СВИНЦОВ ГЕННАДИЙ ПЕТРОВИЧ** – доктор технических наук, профессор кафедры электрических и электронных аппаратов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (eea\_chuvsu@mail.ru).

**ФЕДИМИРОВ АЛЕКСЕЙ АНДРЕЕВИЧ** – аспирант кафедры электромеханики, электрических и электронных аппаратов, Научно-исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва (afedimirov@vniir.ru).

**ШПАКОВ ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ** – инженер-конструктор, ОАО «ВНИИР-Прогресс», Россия, Чебоксары (evshpakov@vniir.ru).

---

Ivan P. IVANOV, Dmitriy V. SAMUILOV, Gennadiy P. SVINTSOV,  
Alexey A. FEDIMIROV, Evgeniy V. SHPAKOV

#### IMPROVED DESIGN TECHNIQUE FOR CONDUCTING PARTS OF ELECTROMAGNETIC CONTACTORS

**Key words:** *electromagnetic contactor, conductive elements, design, improved technique, temperature distribution constant, heating temperature.*

*The existing design techniques for the conductive parts of the main circuit of electromagnetic contactors are based on two assumptions: the infinite length of the conductor and the absence of its heating, which is determined by the contact resistance. This can lead to significant errors in the design of conductors of finite length, primarily in the design of conductive parts with contact bridges, which contain almost all modern electromagnetic contactors. For a more efficient determination of the geometric parameters of the conductive parts, it is proposed to use an improved technique without the above assumptions. The technique uses a model of a contact formed by overlapping the ends of two rectangular conductors and containing a contact piece as a design one. A key feature of the technique is the use in the calculations of the temperature distribution constant along the length of the conductor, introduced for the first time, which determines the nature of the change in its heating temperature. The main stages of calculation and an example of determining the geometric dimensions of the conductive parts by this method for ABB contactors for different rated currents are given.*

#### References

1. Akimov E.G. *Proektirovanie kontaktorov* [Contactor design]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute Publ., 1981, 62 p.
2. Butkevich G.V. ed.; Bul' B.K., Butkevich G.V., Godzhello A.G. et. al. *Osnovy teorii elektricheskikh apparatov* [Fundamentals of the theory of electrical devices]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1970, 600 p.
3. Sakharov P.V. *Proektirovanie elektricheskikh apparatov (Obshchie voprosy proektirovaniya)* [Electrical Apparatus Design (General Design Issues)]. Moscow, Energiya Publ., 1971, 560 p.
4. Afanas'ev V.V. ed.; Adon'ev N.M., Afanas'ev V.V., Borisov V.V. et. al. *Spravochnik po raschetu i konstruirovaniyu kontaktnykh chastei sil'notochnykh elektricheskikh apparatov* [Handbook on the calculation and design of contact parts of high-current electrical devices]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1988, 384 p.
5. Taev I.S. *Raschet elektromagnitnykh kommutatsionnykh rele i kontaktorov* [Calculation of electromagnetic switching relays and contactors]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute Publ., 1997, 79 p.

6. Godzhello A.G., Rozanov Yu.K. ed.; Akimov E.G., Belkin G.S., Burmak A.P. et al. *Elektricheskie i elektronnye apparaty: v 2 t. T. 1. Elektromekhanicheskie apparaty* [Electrical and electronic apparatus. 2 vols. Vol. 1. Electromechanical devices]. Moscow, Akademiya Publ., 2010, 352 p.

---

**IVAN P. IVANOV** – Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher, JSC «VNIIR Progress», Russia, Cheboksary (ipivanov@vniir.ru).

**DMITRIY V. SAMUILOV** – Post-Graduate Student of Electric and Electronic Apparatus Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (dsamuilov@vniir.ru).

**GENNADIY P. SVINTSOV** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Electric and Electronic Apparatus Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (eea\_chuvsu@mail.ru).

**ALEXEY A. FEDIMIROV** – Post-Graduate Student of the Department of Electromechanics, Electrical and Electronic Apparatuses, National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Russia, Moscow (afedimirov@vniir.ru).

**EVGENIY V. SHPAKOV** – Design Engineer, JSC «VNIIR-Progress», Russia, Cheboksary (evshpakov@vniir.ru).

---

**Формат цитирования:** Иванов И.П., Самуилов Д.В., Свинцов Г.П., Федимиров А.А., Шпаков Е.В. Усовершенствованная методика проектирования токопроводящих частей электромагнитных контакторов // Вестник Чувашского университета. – 2021. – № 3. – С. 73–82. DOI: 10.47026/1810-1909-2021-3-73-82.