

ХАРЬКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

На правах рукописи

Фролов Юрий Александрович

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И  
СТАБИЛЬНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОВОЛЬТНЫХ  
АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА ТОКИ ДО 63 А

05.09.06 - электрические аппараты

Автореферат диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Харьков — 1992

Работа выполнена в Харьковском институте инженеров городского хозяйства.

- Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Намитоков К. К.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук  
профессор Розанов Ю. К.  
- кандидат технических наук,  
доцент Харисов А. А.
- Ведущее предприятие - А/О Электрические низковольтные аппараты и системы (ЭНАС),  
г. Харьков

Защита диссертации состоится "25" 12 1992 г.  
в "10" часов на заседании специализированного Совета К 068.51.01  
в Харьковском институте инженеров городского хозяйства  
(310002, г. Харьков - 2, ул. Революции, 12.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ХИИГХ.  
Автореферат разослан "24" 11 1992 г.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 310002, г. Харьков - 2, ул. Революции, 12, кафедра  
"Светотехника и источники света".

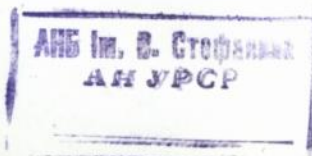
ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00825695 (Z)

Ученый секретарь  
специализированного Совета, К 068.51.01  
кандидат технических наук

Е. Д. Дьяков.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы исследования - Развитие современной промышленности и бытовой техники, с одной стороны, связано с ростом количества приемников электрической энергии, расширением их функциональных возможностей, увеличением разнообразия требований, предъявляемых к средствам защиты, управления и распределения электрической энергии, ростом номенклатуры этих средств. С другой стороны, расширение масштабов производства и повышение его эффективности предъявляют высокие требования к унификации изделий и их отдельных узлов, к сокращению номенклатуры выпускаемых аппаратов, к узкой специализации предприятий, к рационализации узлов и механизмов, определяющих функциональное назначение изделия и играющих решающую роль в формировании производственных затрат.

Поэтому актуальной является проблема оптимизации масштабов изготовления, функциональных возможностей НВА, конструктивного оформления ее узлов и механизмов и технологических процессов с целью достижения максимальной эффективности производства и реализации надежной защиты электрооборудования в аварийных и перегрузочных режимах.

Целью настоящей работы является повышение эффективности производства и стабильности защитных характеристик автоматических выключателей на основе теоретических и экспериментальных исследований новых конструкций аппаратов и узлов, а также способов их изготовления.

Для частичного решения этой проблемы применительно к низковольтным автоматическим выключателям общего назначения на токи до 63 А необходимо:

1. Провести анализ и классификацию требований приемников электроэнергии и потребителей НВА, предъявляемых к функциональному составу аппаратуры защиты и распределения энергии.
2. Провести анализ физических принципов работы разнообразных видов максимальных расцепителей тока, с учетом их роли в системе механизмов автоматического выключателя, в составе производственных затрат, а также возможностей их применения в автоматических выключателях на токи до 63 А.
3. Разработать математические зависимости, описывающие термозащитные характеристики автоматических выключателей с биметаллическими расцепителями.
4. Усовершенствовать на этой основе некоторые виды тепловых расцепителей, с учетом возможности их реализации в условиях производства.
5. Провести оценку силового взаимодействия биметаллических тепловых расцепителей с механизмами свободного расцепления и на этой основе усовершенствовать этот вид механизмов.
6. Провести анализ процессов калибровки расцепителей и их влияния на разброс характеристик автоматических выключателей, разработать новые методы калибровки.

7. На основе результатов, указанных исследований, разработать и внедрить в производство конкретные конструкции выключателей, повышающие эффективность производства и стабильность защитных характеристик.

Методы исследования. При выполнении работы применялись:

- макетирование отдельных элементов, узлов и механизмов аппаратов и их экспериментальное исследование, а также создание опытных образцов с последующим их испытанием по определению основных характеристик;
- статистические методы анализа и обработки результатов при сравнительной оценке различных моделей аппаратов.

Научная новизна. К основным результатам, представляющим научную новизну, можно отнести:

- функционально-масштабный подход к созданию низковольтных автоматических выключателей;
- классификацию потребителей низковольтных автоматических выключателей по производственно-кооперационному признаку и по предъявляемым к ним требованиям;
- классификацию расцепителей максимального тока, основанную на физических принципах работы, токовременной зависимости и быстродействию;
- математические зависимости описывающие термозащитные характеристики автоматических выключателей с биметаллическими расцепителями;
- оценку точности калибровочного и испытательного оборудования, а также процесса калибровки на основе вышеупомянутых зависимостей;
- оценку силового взаимодействия биметаллических тепловых расцепителей с механизмами свободного расцепления, разработку на этой основе новых технических решений;
- метод бестоковой калибровки для механизмов ударного отключения
- варианты исполнения, результаты исследований определения основных характеристик новых видов расцепителей автоматических выключателей на токи до 63 А.

Автор защищает:

1. Функционально-масштабный подход к созданию низковольтных автоматических выключателей.
2. Классификацию потребителей низковольтных автоматических выключателей по производственно-кооперационному признаку и по предъявляемым к ним требованиям.
3. Классификацию расцепителей максимального тока, основанную на физических принципах работы, токовременной зависимости и быстродействию.
4. Аналитические зависимости, описывающие защитные характеристики автоматических выключателей с термобиметаллическими расцепителями.
5. Исследования точности технологического процесса калибровки в т. ч. точности калибровочного и испытательного оборудования.

6. Исследования силового взаимодействия тепловых расцепителей с механизмами свободного расцепления и комплекс исполнительных механизмов, разработанных в результате этих исследований.

7. Метод бестоковой калибровки, разработанный, применительно к механизмам ударного отключения.

Практическую ценность представляют:

- рекомендации по повышению эффективности производства низковольтных автоматических выключателей общего назначения на токи до 63 А, которые могут быть использованы как при выборе конкретных технических решений при проектировании НВА, так и формировании требований к перспективным изделиям;

- оценка силового взаимодействия биметаллических тепловых расцепителей с механизмами свободного расцепления, которая позволяет выбрать оптимальные зазоры между сбрасывающим устройством механизма свободного расцепления и биметаллической пластиной. Может быть использована как в производственных условиях для разработки технологии калибровки расцепителей, так и в конструкторских бюро для оценки габаритов изделия и возможностей по его регулировке;

- метод бестоковой калибровки тепловых расцепителей низковольтных автоматических выключателей на токи до 63 А, разработанный впервые в стране, применительно к механизмам ударного отключения.

Все разработанные конструкции механизмов и выключателей имеют практическую ценность и возможность использования как при совершенствовании выпускаемой аппаратуры, так и при освоении новой.

**Внедрение результатов работы.** Результатом диссертационной работы является внедрение на Черкесском заводе низковольтной аппаратуры 8-ми изобретений с общим экономическим эффектом 348 тыс. рублей в год и использование результатов анализа тенденций развития мирового электроаппаратного производства для формирования основных требований к новому поколению низковольтных автоматических выключателей на токи до 63 А.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы обсуждались на научно-технической конференции, посвященной 25-летию ВНИИР (г. Чебоксары, 1986 год), на семинарах научного совета АН УССР по комплексным проблемам "Научных основ электроэнергетики" (г. Харьков, 1986 и 1990 гг.), на всесоюзной научно-технической конференции "Состояние и перспективы развития производства аппаратов низкого напряжения" (г. Дивногорск, 1990 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 22 печатных работы, в том числе 17 авторских свидетельств.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав заключения, списка литературы, включающего 112 наименований и содержит 145 страниц машинописного текста; 87 рисунков и 16 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы задачи, решаемые в ней, показана их научная новизна и практическая ценность, указаны методы исследования.

В первой главе проведен подробный анализ мировых тенденций повышения эффективности производства автоматических выключателей на токи до 63 А. Рассмотрены подробно приемники электрической энергии и их влияние на характер требований, предъявляемых к данной группе изделий. Приведена классификация потребителей низковольтной аппаратуры, сформулированы их основные требования к рассматриваемой группе НВА. На основе международных, зарубежных и отечественных стандартов подробно рассмотрены функции, выполняемые данным видом аппаратов в низковольтных сетях, тенденции их развития и влияние на конструкцию изделий и формы организации производства. Сформулирована идея функционально-масштабного (функционально-количественного) подхода к проектированию низковольтных автоматических выключателей на токи до 63 А. Все идеи, излагаемые в данной главе, широко иллюстрированы материалами, взятыми из документации советских предприятий и проспектов зарубежных фирм, занимающих ведущее положение в производстве рассматриваемого класса низковольтных аппаратов, таких как Siemens, В.В.С. АЕG (ФРГ), Unelec (Франция), Heinemann (Швейцария) и многих других. На основе материалов первой главы сформулированы наиболее общие подходы к формированию требований к низковольтным автоматическим выключателям на токи до 63 А.

Во второй главе, на основе выводов первой, и результатов функционально-стоимостного анализа выключателей АЕ 2040 М и АЕ 2020 в качестве объектов исследования выбраны расцепители низковольтных аппаратов на токи до 63 А, как конструктивные элементы, вносящие наибольший вклад в себестоимость готового изделия как в части материальных затрат, так и в части трудоемкости, а также несущих функциональные нагрузки, определяющие назначение и качество изделия, т. е. они существенным образом определяют эффективность производства и стабильность защитных характеристик, повышение которых является основной целью данной работы.

Далее подробно проанализированы расцепители, их физические принципы работы, приведена разработанная автором их классификация. На основе анализа дается оценка возможности их перспективного использования в рассматриваемой группе аппаратов. Исследованы, разработанные на основе теоретических идей данной работы, новые конструкции термометаллических расцепителей.

На основе результатов экспериментальных исследований тепловых процессов в автоматических выключателях различного исполнения по номинальному току (см. рис. 1, 2, 3, 4, 5, 6,) и математических моделях, базирующихся на системе двух дифференциальных уравнений, описывающих динамику нагрева термометалла и нагревателя получены простые инженерные формулы, описывающие защитную характеристику автоматического выключателя.

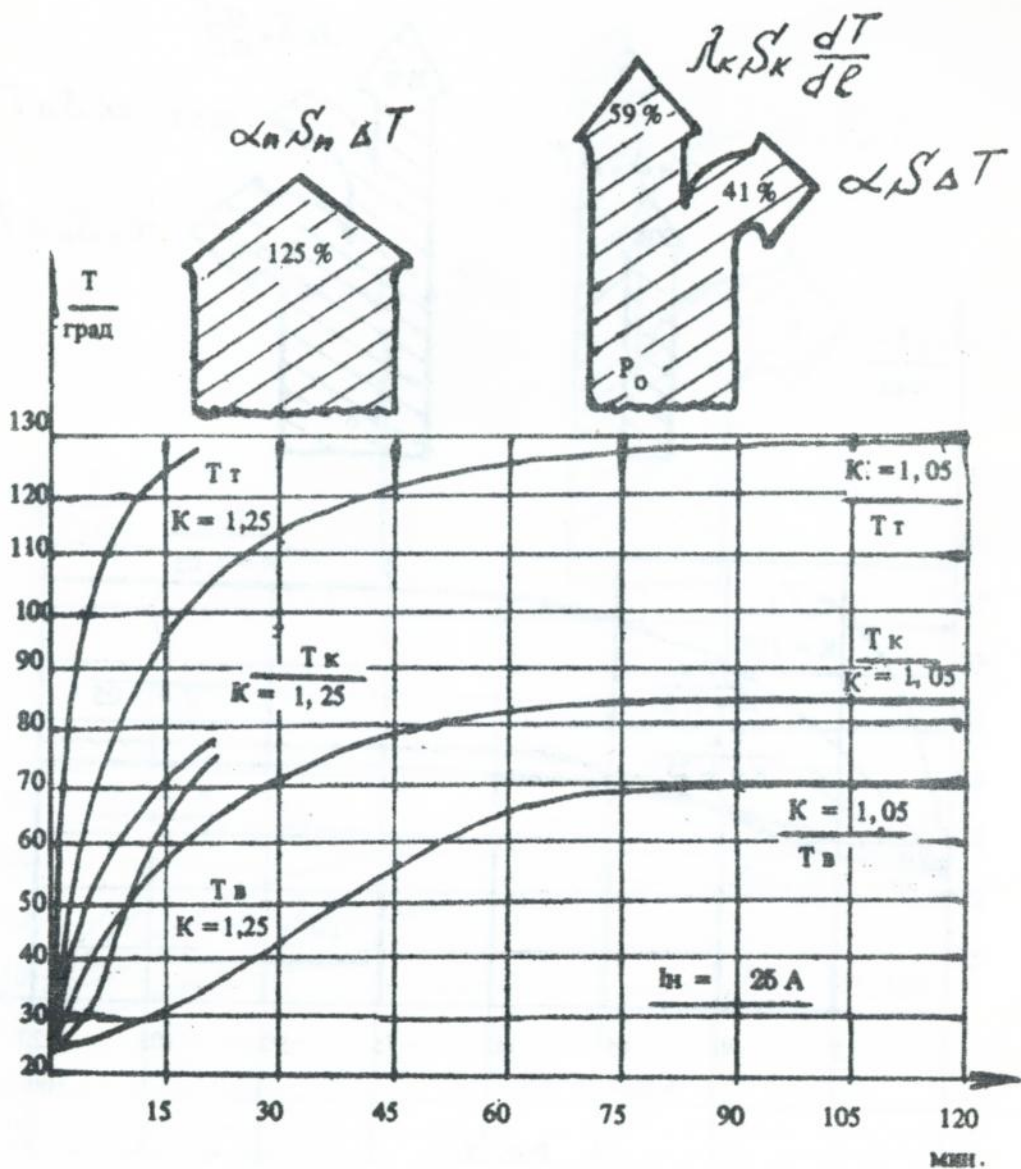


Рис. 1.

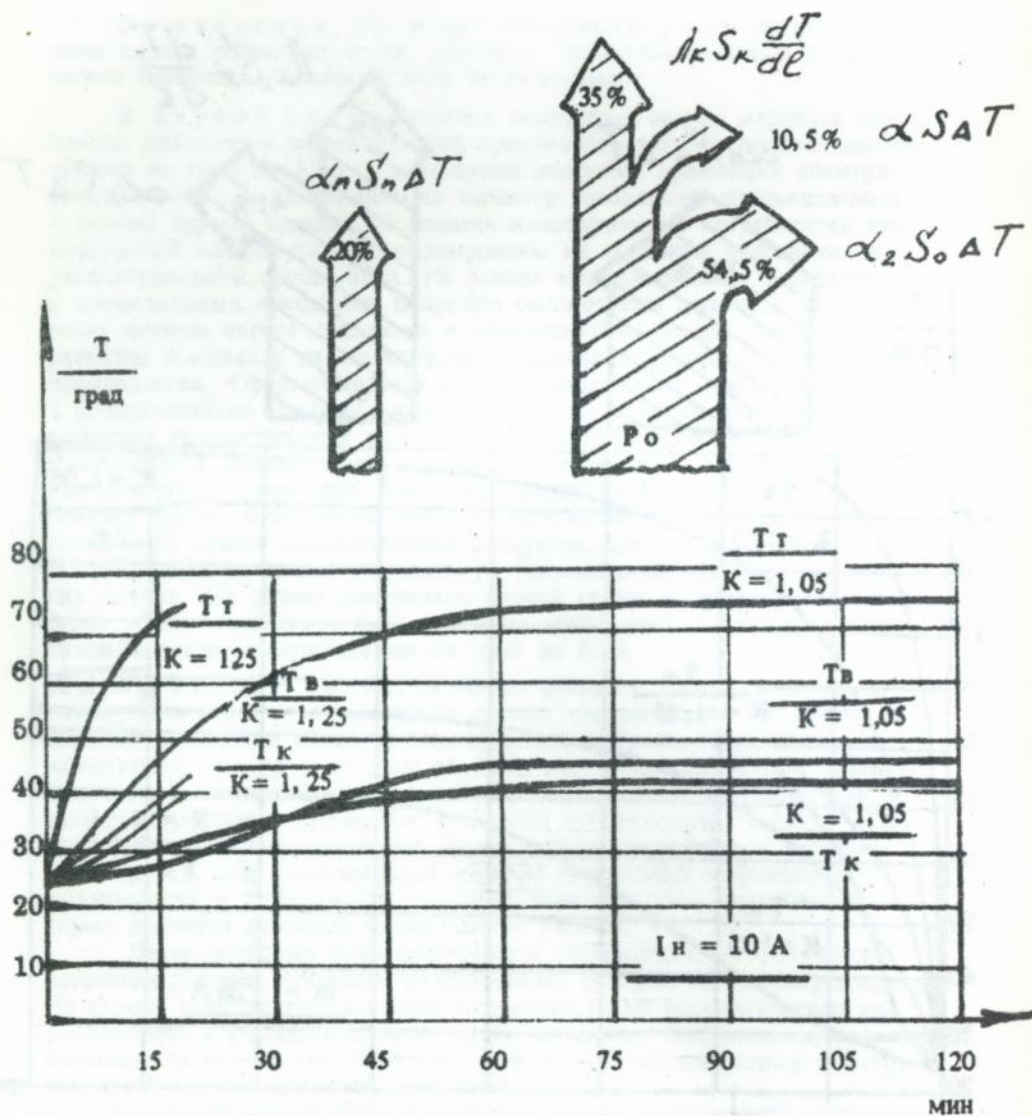


Рис. 2.

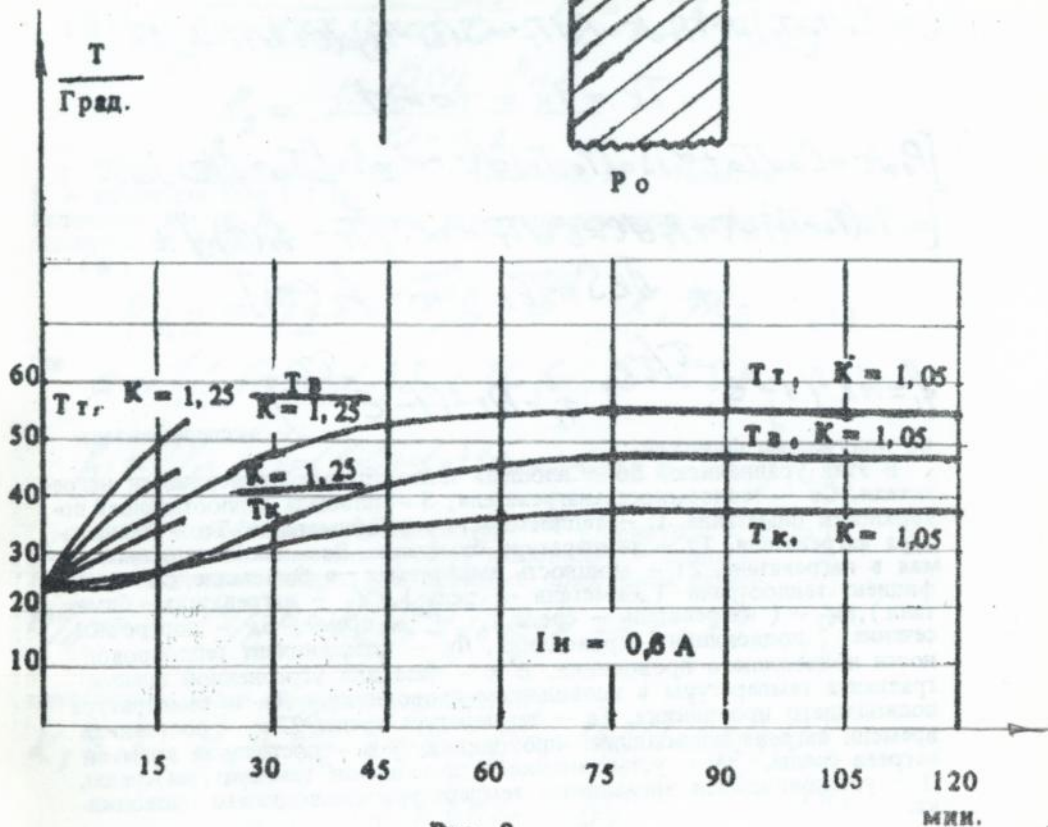
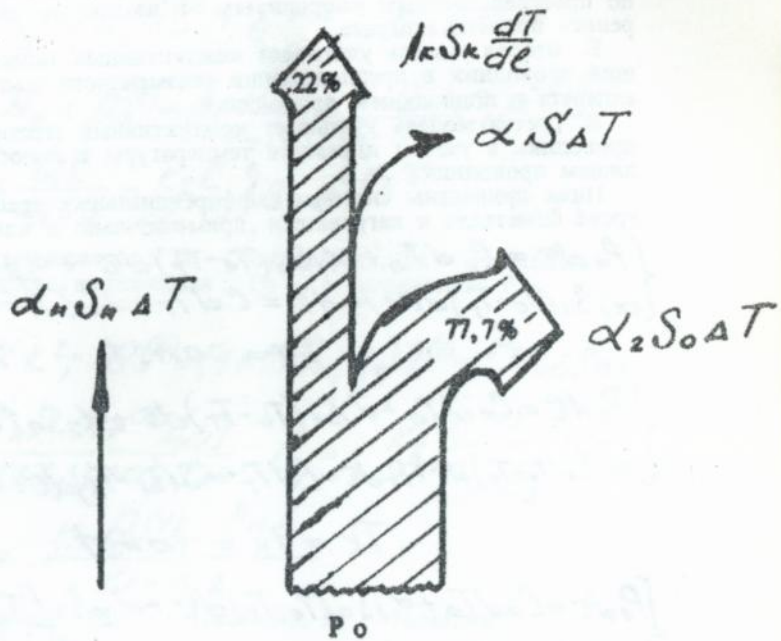


Рис. 3.

А. Первая модель предполагает отсутствие температурного градиента по пространственным координатам и изменение температуры во внутренней полости аппарата.

Б. Вторая модель учитывает кондуктивный теплоотвод в подводящий проводник в предположении неизменности температуры в полости аппарата и подводящем проводнике.

В. Третья модель учитывает кондуктивный теплоотвод в подводящий проводник с учетом динамики температуры в полости аппарата и подводящем проводнике.

Ниже приведены системы дифференциальных уравнений динамики нагрева биметалла и нагревателя, применительно к каждой модели:

$$\begin{cases} P_0 d\tau = C_0 dT_0 + \alpha_1 S_0 (T_0 - T_T) d\tau + \alpha_2 S_0 (T_0 - T_B) d\tau \\ \alpha_1 S_0 (T_0 - T_T) d\tau + P_T d\tau = C dT_T + \alpha S (T_T - T_B) d\tau \end{cases} \quad (A)$$

$$T_B = \text{const}$$

$$\begin{cases} P_0 d\tau = C_0 dT_0 + \alpha_1 S_0 (T_0 - T_T) d\tau + \alpha_2 S_0 (T_0 - T_B) d\tau \\ \alpha_1 S_0 (T_0 - T_T) d\tau + P_T d\tau = C dT_T + \alpha S (T_T - T_B) d\tau + \lambda_k S_k \frac{(T_T - T_K)}{e_k} \end{cases} \quad (B)$$

$$T_K = T_B = \text{const}$$

$$\begin{cases} P_0 d\tau = C_0 dT_0 + \alpha_1 S_0 (T_0 - T_T) d\tau + \alpha_2 S_0 [T_0 - f_1(\tau)] d\tau \\ \alpha_1 S_0 (T_0 - T_T) d\tau + P_T d\tau = C dT_T + \alpha S [T_T - f_1(\tau)] + \\ + \lambda_k S_k / e_k [T_T - f_2(\tau)] \end{cases} \quad (B)$$

$$f_1 = A k^2 (1 - e^{-\tau / \tau_B}) \quad f_2 = D k^2 (1 - e^{-\tau / \tau_k})$$

- эксперименталь-

но полученные функции.

В этих уравнениях  $S_0$  - площадь теплоотдающей поверхности нагревателя,  $C_0$  - теплоемкость нагревателя,  $S$  - площадь теплоотдающей поверхности биметалла,  $C$  - теплоемкость термобиметалла,  $T_0$  - температура нагревателя,  $T_T$  - температура биметалла,  $P_0$  - мощность выделяемая в нагревателе,  $P_T$  - мощность выделяемая в биметалле,  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи (биметалл - среда),  $\alpha_1$  - нагреватель - биметалл,  $\alpha_2$  - (нагреватель - среда),  $\tau$  - время,  $S_k$  - поперечное сечение подводящего проводника,  $\lambda_k$  - коэффициент теплопроводности подводящего проводника,  $e_k$  - база для усредненной оценки градиента температуры в подводящем проводнике,  $T_k$  - температура подводящего проводника,  $T_B$  - температура среды,  $\tau_k$  - постоянная времени нагрева подводящего проводника,  $\tau_B$  - постоянная времени нагрева среды,  $A$  - установившееся превышение температуры среды,  $D$  - установившееся превышение температуры подводящего проводника.

Решение системы А при  $T_0 (\tau=0) = T_B$ ,  $T_T (\tau=0) = T_B$

$$T_T (\tau) - T_B = \theta_T = \theta_T^{(y)} - C_1 e^{-k_1 \tau} - C_2 e^{-k_2 \tau}$$

$$T_0 (\tau) - T_B = \theta_0 = \theta_0^{(y)} - \left(1 + \frac{\alpha S}{\alpha_1 S_0} - \frac{k_1 C}{\alpha_1 S_0}\right) C_1 e^{-k_1 \tau} - \left(1 + \frac{\alpha S}{\alpha_2 S_0} - \frac{k_2 C}{\alpha_2 S_0}\right) C_2 e^{-k_2 \tau} \quad (1)$$

Здесь и выше температура:  $T_0$  - нагревателя,  $T_T$  - биметалла,  $T_B$  - среды; мощность, выделяемая:  $P_0$  - в нагревателе,  $P_T$  - в биметалле:

Где  $\theta_T^{(y)} = X k_2$ ;  $\theta_0^{(y)} = \left(1 + \frac{\alpha S}{\alpha_1 S_0}\right) \theta_T^{(y)} - \frac{P_T}{\alpha_1 S_0}$ ;

$$X = \frac{I_n^2 R_0 + I_n R_T \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)}{\alpha S \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right) + \alpha_2 S_0}; \quad C_1 = - \frac{k_2 \theta_T^{(y)} - P_T / C}{k_1 - k_2} \cdot L_0$$

$$C_2 = \frac{k_1 \theta_T^{(y)} - P_T / C}{k_1 - k_2} \quad (2)$$

Здесь сопротивление:  $R_0$  - нагревателя,  $R_T$  - биметалла;  $K$  - кратность тока  $I / I_n$ . Величины  $k_1$  и  $k_2$  - корни характеристического уравнения, определяются по формуле:

$$k_{1,2} = a/2 \pm \sqrt{a^2/4 - b} \quad k_1, k_2 \quad (3)$$

где  $a = \frac{1}{C_0} (\alpha_1 + \alpha_2) S_0 + \frac{1}{C} (\alpha_1 S_0 + \alpha S)$  }  
 $b = \frac{1}{C_0 C} [\alpha (\alpha_1 + \alpha_2) S S_0 + \alpha_1 \alpha_2 S^2]$  }  $(4)$

Здесь коэффициент теплопередачи:  $\alpha$  (биметалл - среда),  $\alpha_1$  (нагреватель - биметалл),  $\alpha_2$  (нагреватель - среда). В представляющем интерес для практики предельном случае

$$a^2/4 \gg b, \quad P_T / C \ll k_2 \theta_T^{(y)} \quad (I_n^2 R / C \ll k_2 X) \quad (5)$$

приведенные выше формулы упрощаются:

$$k_1 \approx a; \quad k_2 \approx b/2 \ll k_1; \quad C_1 \approx - \frac{k_2}{k_1} \left(1 + \frac{k_2}{k_1}\right) \theta_T^{(y)}; \quad C_2 \approx \left(1 + \frac{k_2}{k_1}\right) \theta_T^{(y)} \quad (6)$$

При отсутствии механической инерционности узла отключения автоматического выключателя динамика изгиба термобиметалла (отклонение его свободного конца)  $q(\tau)$  описывается выражением

$$q(\tau) = k_0 \theta_T(\tau) \quad (7)$$

где  $k_0 = 3/4(\alpha_1' - \alpha_2')l^2/h$  - постоянная для данного термобиметаллического элемента ( $l, h$ ) - длина и толщина термобиметалла,

$\alpha_1' - \alpha_2'$  - разность термических коэффициентов линейного расширения его слоев - составляющих. Если же узел отключения обладает механической инерционностью, которая характеризуется постоянной времени  $\tau_M$ , то для  $q(\tau)$  дифференциальное уравнение имеет вид, соответствующий модели упруговязкого (неупругого) тела:

$$a + \tau_M \frac{da}{d\tau} = k_0 \theta_T(\tau) \quad (8)$$

Решение этого уравнения при начальном условии  $q(\tau=0) = 0$  дает:

$$q(\tau) = k_0 \left[ \theta_T^{(4)} (1 - e^{-\tau/\tau_M}) + \frac{C_1}{1 - \tau_M/\tau_1} (e^{-\tau/\tau_M} - e^{-\tau/\tau_1}) + \frac{C_2}{1 - \tau_M/\tau_2} (e^{-\tau/\tau_M} - e^{-\tau/\tau_2}) \right] \quad (9)$$

где

$$\tau_1 = 1/k_1; \quad \tau_2 = 1/k_2 \quad (\tau_1 \ll \tau_2) \quad (10)$$

Полагая  $q_{cp} = q(\tau_{cp})$ , где величина  $q_{cp}$  - прогиб термобиметалла в момент срабатывания аппарата (выбирается из конструктивных соображений), получим выражение, описывающее (в неявной форме) защитную характеристику аппарата  $\tau_{cp}(k)$  (величины  $\theta_T^{(4)}$ ,  $C_1$  и  $C_2$  пропорциональны  $k^2$  согласно соотношениям (2)).

В указанном выше предельном случае (5) ( $\tau_1 \ll \tau_2$ ), при дополнительном условии  $\tau_M \ll \tau_2$  явное выражение для защитной характеристики аппарата имеет вид:

$$\frac{q_{cp}}{k_0 X} \cdot \frac{1}{k_2} = 1 + \left( \frac{\tau_1 + \tau_M}{\tau_M} - \frac{\tau_1/\tau_2}{1 - \tau_M/\tau_1} \right) e^{-\tau_{cp}/\tau_M} + \frac{\tau_1/\tau_2}{1 - \tau_M/\tau_1} e^{-\tau_{cp}/\tau_1} - \left( 1 + \frac{\tau_1 + \tau_M}{\tau_2} \right) e^{-\tau_{cp}/\tau_2} \quad (11)$$

При больших  $K$ , когда  $\tau_{cp} \ll \tau_2$ ,  $\tau_{cp} \sim \tau_1$ ,  $\tau_M$  имеем:

$$\frac{a_{cp}}{K_{0X}} \cdot \frac{1}{K_2} = \tau_{cp} - \tau_1 - \tau_M + \frac{\tau_1}{1 - \tau_M/\tau_1} \cdot e^{-\tau_{cp}/\tau_1} +$$

$$+ \left( \tau_1 + \tau_M - \frac{\tau_1}{1 - \tau_M/\tau_1} \right) e^{-\tau_{cp}/\tau_M} \quad (11A)$$

Величина  $a_{cp}/K_{0X} = K_{нспр}^2$

входящая в общую формулу (11), имеет смысл кратности тока несрабатывания  $I_{нспр.}/I_n$  для данного аппарата, поскольку при

$\tau_{cp} \rightarrow \infty, K \rightarrow K_{нспр.}$  Обычно для автоматических выключателей низкого напряжения полагают  $K_{нспр.} = 1,05$ . При  $\tau_M = \tau_1$  возникающая в формуле (11A) неопределенность раскрывается обычными методами (например, полагая  $\tau_M = \tau_1 \pm \delta$ , а затем переходя к пределу  $\delta \rightarrow 0$  в результате соответствующих вычислений находим:

$$\frac{1}{1 - \tau_M/\tau_1} (e^{-\tau_{cp}/\tau_1} - e^{-\tau_{cp}/\tau_M}) \xrightarrow{\tau_M \rightarrow \tau_1} \frac{\tau_{cp}}{\tau_1} e^{-\tau_{cp}/\tau_1}$$

Система B решается аналогичным образом при подстановке во всех случаях вместо  $\alpha S \rightarrow \alpha S + \lambda_{KS} K / \tau_K$

Решение системы (B) находим известными методами, оно на участке  $K < 2$  имеет вид:

$$T_T - T_T^H = \beta_1 C_1 e^{-k_1 \tau} + \beta_2 C_2 e^{-k_2 \tau} + A_2 e^{-\tau/\tau_0} + B_2 e^{-\tau/\tau_K} + D_2 \quad (12)$$

$$T_0 - T_0^H = \beta_1 C_1 e^{-k_1 \tau} + \beta_2 C_2 e^{-k_2 \tau} + A_1 e^{-\tau/\tau_0} + B_1 e^{-\tau/\tau_K} + D_1$$

где:  $\beta_1 = \beta_2 = -1$

$$\beta_1 = - \left( 1 + \frac{\alpha S}{\alpha_{1S} \tau_0} + \frac{\lambda_{KS} K}{\alpha_{1S} \tau_K} + \frac{K_1 C}{\alpha_{1S} \tau_0} \right) \quad (13)$$

$$\beta_2 = - \left( 1 + \frac{\alpha S}{\alpha_{1S} \tau_0} + \frac{\lambda_{KS} K}{\alpha_{1S} \tau_K} + \frac{K_2 C}{\alpha_{1S} \tau_0} \right)$$

$$A_1 \approx \frac{\begin{vmatrix} -M_1 & B_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & B_1 & 0 & 0 \\ -N_1 & 0 & 0 & 0 & a_1 & B_1 \\ -M_2 & B_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -M_3 & 0 & 0 & B_2 & 0 & 0 \\ -N_2 & 0 & 0 & 0 & a_2 & B_2 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$D_1 \approx \frac{\begin{vmatrix} a_1 & B_1 & 0 & 0 & -M_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & B_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -N_1 & B_1 \\ a_2 & B_2 & 0 & 0 & -M_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -N_2 & B_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -N_2 & B_2 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$A_2 \approx \frac{\begin{vmatrix} a_1 & -M_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & B_1 & 0 & 0 \\ 0 & -N_1 & 0 & 0 & a_1 & B_1 \\ a_2 & -M_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -M_3 & a_2 & B_2 & 0 & 0 \\ 0 & -N_2 & 0 & 0 & a_2 & B_2 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$D_2 \approx \frac{\begin{vmatrix} a_1 & B_1 & 0 & 0 & 0 & -M_1 \\ 0 & 0 & a_1 & B_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_1 & -N_1 \\ a_2 & B_2 & 0 & 0 & 0 & -M_2 \\ 0 & 0 & a_2 & B_2 & 0 & -M_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_2 & -N_2 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$B_1 \approx \frac{\begin{vmatrix} a_1 & B_1 & -M_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -N_1 & 0 & a_1 & B_1 \\ a_2 & B_2 & -M_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -M_3 & B_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -N_2 & 0 & a_2 & B_2 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & B_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & B_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_1 & B_1 \\ a_2 & B_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_2 & B_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_2 & B_2 \end{vmatrix}$$

$$B_2 \approx \frac{\begin{vmatrix} a_1 & B_1 & 0 & -M_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -N_1 & a_1 & B_1 \\ a_2 & B_2 & 0 & -M_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_2 & -M_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -N_2 & a_2 & B_2 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

$$a_2 = \frac{L S_0}{c}$$

$$M_1 = -\frac{\alpha_2 S_0 A K^2}{c_0}; N_1 = \frac{\alpha_2 S_0 A K^2 - P_0 K^2}{c_0}; M_2 = -\frac{\alpha S A K^2}{c};$$

$$M_3 = \frac{K S K D K^2}{e K c}; N_2 = \frac{\alpha S A K^2}{c} + \frac{K S K D K^2}{e K c} + \frac{P_1 K^2}{c}$$

$$b_1 = \frac{\alpha_1 S_0}{c_0}; b_2 = -\left(\frac{\alpha_1 S_0}{c} + \frac{\alpha S}{c} + \frac{K S K}{e K c}\right); a_1 = -\left(\frac{\alpha_1 S}{c_0} + \frac{\alpha_2 S_0}{c_0}\right);$$

Постоянные интегрирования  $C_1'$  и  $C_2'$  находим из условия:

$$\begin{aligned} T_T(\tau=0) - T_B^H &= 0 \\ T_0(\tau=0) - T_0^H &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

где  $T_B^H$  начальная температура в полости аппарата и подводющем проводнике. Система (12) при этих условиях принимает вид:

$$\begin{aligned} C_1' + C_2' &= \frac{A_2 + D_2 + B_2}{L_1} L_2 \\ -\lambda_1 C_1 - \lambda_2 C_2 &= A_1 + B_1 + D_1 \end{aligned} \quad (15)$$

ее решение представлено ниже:

$$\begin{aligned} C_1' &= - \frac{a_1 (\lambda_2 L_1 + L_2)}{k_2 - k_1} \\ C_2' &= \frac{a_2 (L_2 + \lambda_1 L_1)}{k_2 - k_1} \end{aligned} \quad (16)$$

Тогда явное выражение для защитной характеристики на начальном участке  $K < 1,5$ , полученное решением (8) при условии  $\tau_B \gg \tau_1, \tau_M$  принимает вид:

$$\begin{aligned} \frac{a_{cp}}{K_0 D_2'} \cdot \frac{1}{K^2} &= 1 - \frac{a_2 [(A_1' + B_1' + D_1') + \lambda_1 (A_2' + B_2' + D_2')] e^{-\tau_{cp}/\tau_2}}{k_2 - k_1} \\ &\quad - \frac{A_2}{D_2} e^{-\tau_{cp}/\tau_B} - \frac{B_2}{D_2} e^{-\tau_{cp}/\tau_K} \end{aligned} \quad (17)$$

$A_1, B_1, D_1, A_2, B_2, D_2, C_2$ , находятся согласно (13) и (16).

Величины  $A_1, B_1, D_1, A_2, B_2, D_2, C_2$  сложным образом зависят от:

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha, S, S_0, C, C_0, \lambda_k, S_k, \nu_k, A, D, P_0, P_T \quad (18)$$

и пропорциональны  $K^2$ .

В частном случае, когда динамика температур в полости аппарата и подводющем проводнике близка друг другу, что имеет место для некоторых типов исполнений выключателей, зависимость (17) вырождается при  $K < 1,25$  в:

$$a_{cp} = K_0 K^2 (D_3 - A_3 e^{-\tau/\tau_{B,K}}) \quad (19)$$

В этом случае получается разрешенное относительно времени уравнение:

$$\tau = \tau_{B,K} \ln \frac{8}{1 - P/K^2}; \quad q = A_3/D_3; \quad P = \frac{a_{cp}}{D_3 K_0} \quad (20)$$

Нетрудно видеть, что первые две модели являются следствием третьей. Первая, если положить  $A = D = 0$   $\lambda_k = 0$ , вторая  $A = D = 0$   $\lambda_k \neq 0$ .

На рис. 7 приведена теоретическая время-токовая характеристика для аппарата типа ВА 51 с термобиметаллическим распепителем при следующих значениях конструктивных параметров (термобиметалл 50 x 8 x 1 мм),  $I_n = 10$  А:

$$I_n^2 R_0 = 1,4 \text{ Вт}; \quad I_n^2 R_T \approx 0,2 \text{ Вт}; \quad \alpha_1 = 9 \text{ Вт/м}^2\text{К}; \quad \alpha_2 = 10 \text{ Вт/м}^2\text{К}; \\ \alpha_1 = 500 \text{ Вт/м}^2\text{К}; \quad \int \ddot{u} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2; \quad \int \ddot{u}_0 = 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2; \\ C = 2,8 \text{ Дж/К}; \quad C_0 = 0,36 \text{ Дж/К}; \quad a_{\varphi} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad K_0 = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ м/К}.$$

Величина  $\alpha_1$  оценена по формуле  $\alpha_1 = \lambda_0 / \delta_0$ , где  $\delta_0 = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м и  $\lambda_0 = 0,25$  Вт/мК - толщина и коэффициент теплопроводности, соответственно для слоя изоляционного материала (картона) между нагревателем и термобиметаллом; величины  $\alpha_2$  и  $\alpha$  оценивались по известной формуле А.М. Залесского  $\alpha = 1,33 (\bar{u}/L)^{1/4}$ , где  $\bar{u}$  усредненное значение превышения температуры рассматриваемого элемента аппарата; L - его характерный размер. В этом случае имеем:

$$Q = 0,44 \text{ с}^{-1}; \quad b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-2}; \quad K = 0,44 \text{ с}^{-1}; \quad K_2 = 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}; \\ \tau_1 = 2,3 \text{ с}; \quad \tau_2 = 150 \text{ с}; \quad X = 77 \text{ К}_0; \quad a_{\varphi} / X K_0 = 1,51.$$

При ориентировочном расчете величина  $\tau_n$  была принята равной  $\tau_1$  ( $\tau_m \approx 2,3$  с).

Расчетные характеристики сопоставлены на рис. 7 с экспериментальными данными, полученными для 10 аппаратов указанного типа (показаны границы полосы разброса измеренных значений  $\tau_{\varphi_0}(K)$ ). Для расчета на начальном участке характеристики использована формула

$$(17) \text{ точки } K = (1,1; 1,2; 1,3), \quad A = 20^\circ; \quad D = 17^\circ; \\ \tau_B = \tau_K = 1,2 \cdot 10^3 \text{ с}$$

Для расчета на конечном участке характеристики использована формула (11), точки  $K = (2; 4; 6; 8; 10)$ .

Средний участок характеристики  $K = (1,4 \pm 1,5)$  брался как среднее арифметическое (11) и (17) в котором было положено  $M_1 = M_2 = M_3 = 0$ ,  $N_1 = -\frac{P_c K^2}{C_0}$ ,  $N_2 = \frac{P_T K^2}{C}$

В принципе подстановкой в (8) первого уравнения (12) можно получить:

$$Q(\tau, K) = f(e^{-\tau/\tau_1}, e^{-\tau/\tau_2}, e^{-\tau/\tau_3}, e^{-\tau/\tau_B}, e^{-\tau/\tau_K}) \quad (21)$$

которая позволит получить в неявной форме уравнение, связывающее между собой две величины  $\tau$  и  $K$ , которое с одинаковой степенью точности описывает процессы на всех участках защитной характеристики.



Рис. 4.

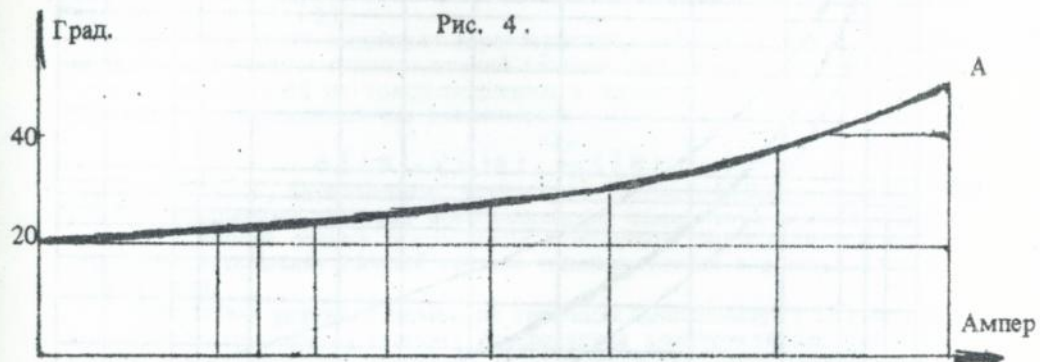


Рис. 5.

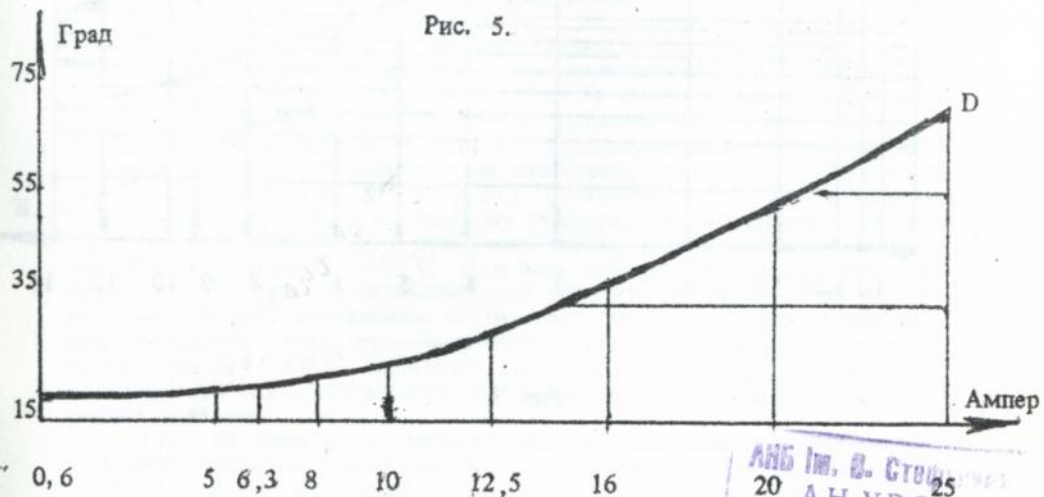


Рис. 6

АНБ им. В. Стоя  
20 АН УРСР

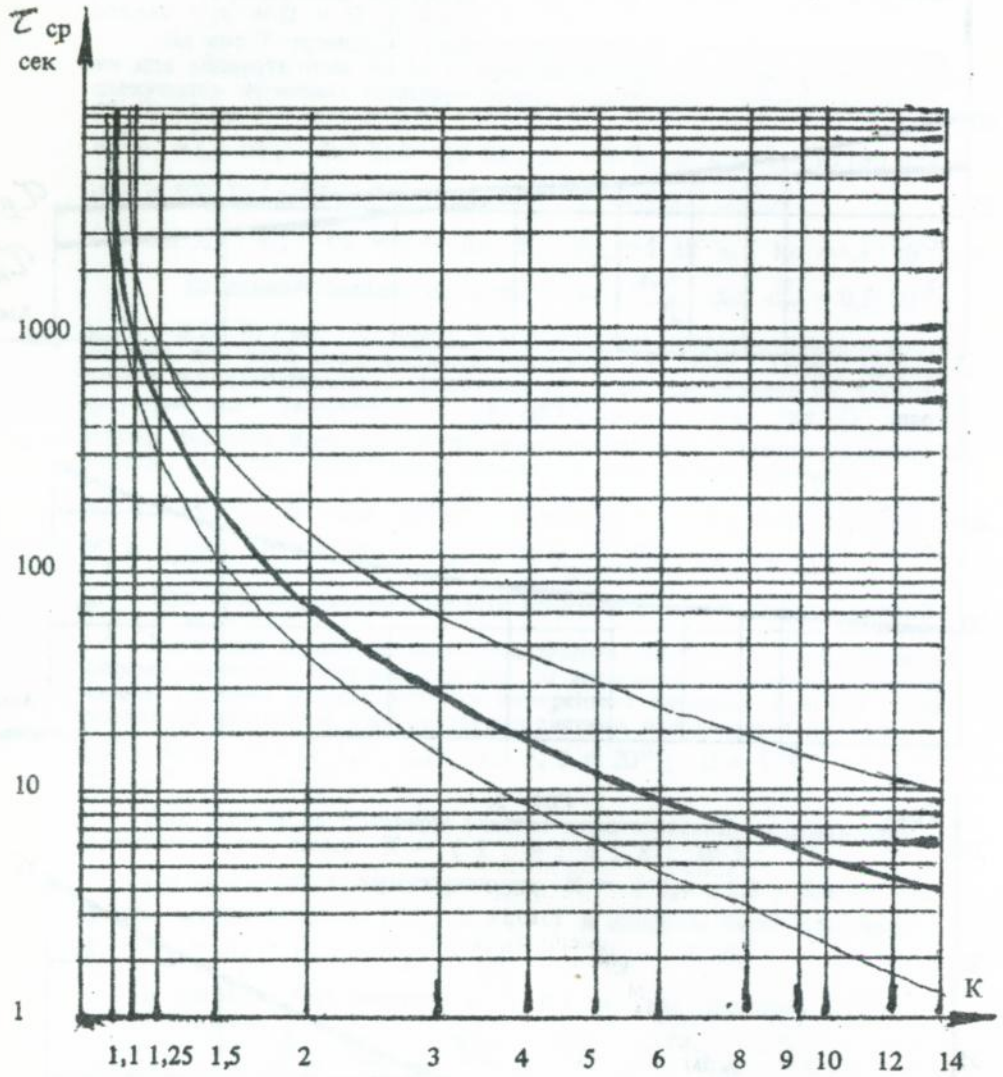


Рис. 7.

Уравнения (9), (11), (17), (19), (20) в этом случае будут представлять частные случаи (21) описывающие процессы на всех участках характеристики, в т.ч. начальном (17), (19), (20) и конечном (11А). Но ввиду громоздкости (21) получение и использование его нецелесообразно.

Уравнения (9), (11), (11А), (17), (19), (20) охватывают дифференцированно все процессы теплообмена внутри аппарата установлением зависимостей между величинами (18) и интегрально посредством введения функций  $\int_{t_0}^{t_1} dt$  процессы теплообмена аппарата в целом с окружающей средой и дополнительное тепловыделение в проводящих проводниках не учитываемое непосредственно уравнениями теплового баланса А, Б, В см. величину  $\alpha_n S_n \Delta T$  (оцененную из экспериментальных данных) рис. 1, 2, 3.

Все полученные выше уравнения защитной характеристики описывают поведение конкретного по токоисполнению автоматического выключателя конкретного типоразмера (в нашем случае все экспериментальные данные относятся к выключателям типоразмера (0,6; 10; 25) А типоразмера ВА 51-25).

Для получения защитных характеристик, пригодных для оценки поведения всей гаммы типоразмеров данного типоразмера или отдельных групп выключателей по токоисполнению в пределах данного типоразмера, получены экспериментальные зависимости:

$$A(I_n), D(I_n), T_d(I_n), T_{\infty}(I_n) \quad (22)$$

см. рис. 4, 5, 6, позволяющие выбрать для групп автоматов значения вышеперечисленных величин, обеспечивающие одинаковую максимальную наперед заданную оценку погрешности отклонения термозащитной характеристики в пределах каждой группы типоразмеров в рамках одного типоразмера.

Отсутствие резких изломов на графиках зависимостей (22) позволяет судить о том, что существует определенная конструктивная преемственность в технических решениях, устанавливающих связь между величинами (18) сопредельных по току исполнений.

В третьей главе рассматриваются вопросы силового взаимодействия расцепителей с защелками механизмов свободного расцепления.

В соответствии с требованиями ГОСТа обычная рабочая температура токоведущих частей автоматических выключателей, в том числе и АЕ 2040 М применительно к которым ведутся расчеты, составляет 105°C, которой соответствует перемещение свободного конца термобиметаллического расцепителя на величину  $S_{c.t.}$  (зависимость 4). Для исследуемого случая  $S_{c.t.} = 4,1$  мм. Поэтому температура срабатывания термобиметаллического расцепителя при токах перегрузки должна быть выше и она обычно составляет 140°C. Для этой температуры перемещение свободного конца термобиметаллического расцепителя  $S_{c.t.}$  составляет около 5 мм. В рассматриваемом случае  $S_{c.t.} = 5,6$  мм. Таким образом, ход свободного конца термобиметаллического расцепителя в интервале температур 105-140°C составляет всего  $S_{c.t.} = 1,5$  мм, что является причиной ложных срабатываний автоматического выключателя при вибрациях и ударах.

Так как разница сил между усилием развиваемым термобиметаллической пластиной (зависимость 1) и силами сопротивления (зависимость 2)  $\Delta P_t$  при такой сравнительно большой деформации термо-

биметаллического расцепителя мала, что видно из рисунка, а противодействующие силы ( см. излом А ) очень нестабильны, то нестабильно и время срабатывания.

Для улучшения стабильности срабатывания автоматических выключателей в зоне токов перегрузки и устранения ложных срабатываний при вибрационных и ударных нагрузках можно использовать вместо термобиметаллических расцепителей расцепители из материалов, обладающих обратной механической памятью формы (МПФ). МПФ ( 75Г 25Д ) имеет приблизительно такую же термочувствительность, удельное электрическое сопротивление, термостойкость и зависимость развиваемого усилия от перемещения ( 3 ), как и используемый в расцепителях термобиметалл. Эти материалы в отличие от термобиметаллов имеют явно выраженную релейную зависимость величины деформации от температуры ( зависимость 5 ). До  $120^{\circ}\text{C}$  деформация МПФ ( 75Г 25Д ) практически равна 0 (  $S_{0.п.} = 1,0$  мм для случая, представленного на рисунке ), а от  $120^{\circ}\text{C}$  до  $180^{\circ}\text{C}$  зона максимальной чувствительности. Так как температура срабатывания из МПФ такая же, как и у термобиметаллического расцепителя (  $140^{\circ}\text{C}$  ), то перемещение свободного конца расцепителя из МПФ согласно рисунка составляет  $S_{с.п.} = 4,0$  мм. Таким образом ход свободного конца расцепителя из МПФ в интервале температур  $120 \cdot 140^{\circ}\text{C}$  составляет  $S_{с.п.} - S_{0.п.} = 3,0$  мм, что значительно повышает стойкость автоматического выключателя к вибрационным и ударным нагрузкам.  $\Delta P_n \gg \Delta P_t$ , что тоже значительно повышает стабильность работы.

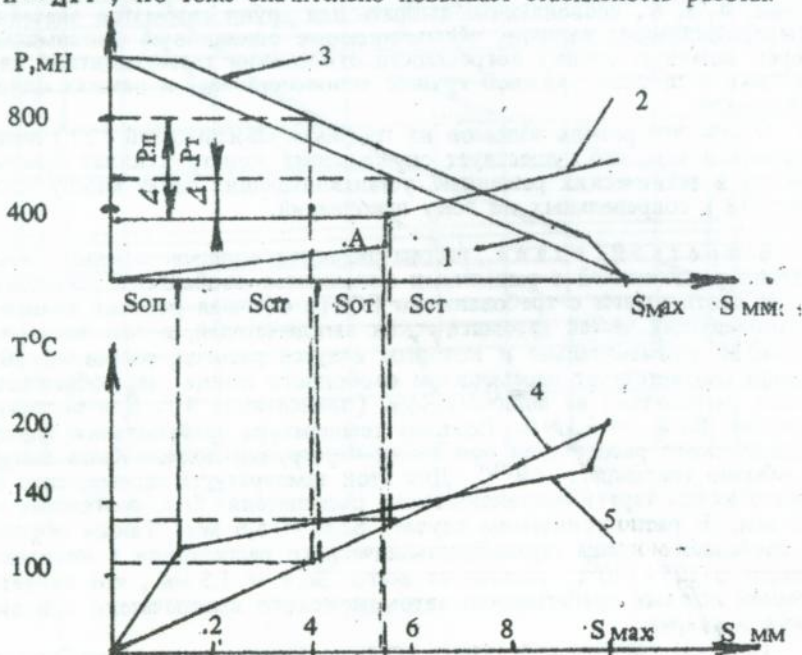


Рис. 8.

Другим способом повышения стабильности срабатывания является применение промежуточных ударных устройств. Промежуточное устройство позволяет в момент срабатывания термобиметаллического расцепителя мгновенно добавлять усилие на рейку механизма свободного расцепления и повысить стабильность срабатывания на малых токах перегрузки (до  $K=3$ ) по времени с 70% до 20% (среднее квадратичное). Это обеспечивается в основном за счет стабильности сил сопротивления, в изломе А, которая гарантируется оттарированными пружинами.

В дальнейшем, на основе теоретических концепций, изложенных выше, в главе исследуются различные конструкции новых автоматических выключателей, в которых ударное устройство приводится в действие электронными и механическими устройствами, а также новые выключатели с повышенными требованиями к ПКС и новые конструкции устройства температурной компенсации.

В четвертой главе проводится анализ существующих методов калибровки тепловых расцепителей автоматических выключателей, разрабатывается метод бестоковой калибровки термобиметаллических расцепителей применительно к автоматическим выключателям АЕ 2040 М.

Для бестоковой калибровки автоматических выключателей надо увязать между собой сопротивление термобиметаллического расцепителя R и зазор Q между свободным концом термобиметаллического расцепителя и рейкой механизма свободного расцепления.

Для расчета возьмем автоматический выключатель ВА-51 (25А) с термобиметаллическим элементом ТБ 2013-50 x 8 x 1 мм, удельное электрическое сопротивление  $\rho = 1,13 \cdot 10^{-6}$  Ом·м, электрическое сопротивление  $R_T = 5,6 \cdot 10^{-3}$  Ом.

Тогда прогиб и развиваемое усилие выражаются формулами :

$$Q = 0,045 (T_T - T_B^{(n)}) \text{ (мм)}; \quad F = 0,035 (T_T - T_B^{(n)}) \text{ (кГ)}$$

В этих формулах  $T_B^{(n)}$  начальная температура окружающей среды.

Выбираем прогиб при срабатывании автоматического выключателя

$$a_{cp} = 5 \text{ мм, получим: } T_T^{cp} - T_B^{(n)} = 110^\circ\text{C}; \quad F = 3,85 \text{ кГ}; \quad T_T^{cp} = 110 + 20 = 130^\circ$$

Мощность потребляемая при срабатывании определяется по формуле :

$$P = \frac{\lambda_k S_k}{\epsilon_k} (T_T^{cp} - T_k) + \alpha S (T_T^{cp} - T_B)$$

$$\lambda_k = 1,08 \cdot 10^2 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}, \quad S = 0,88 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \quad S_k = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, \quad \epsilon_k = 6 \cdot 10^{-2}$$

II.

$$T_k = 85^\circ, \quad T_B = 70^\circ \text{ (согласно рис. 1.)}$$

Подставляя данные получаем мощность потребляемую при срабатывании

$$P_{cp} = 1,496 \text{ Вт}$$

Полагая кратность тока при срабатывании  $K_{cp} = 1,05 = \sqrt{\rho}$  находим номинальную мощность данного типа аппарата:

$$P_n = \frac{P_{cp}}{\rho} = 1,36 \text{ Вт} \quad \text{На основе значения } P_n \text{ рассчитано сопротивление нагревателя всех исполнений по току выключателя ВА 51-25.}$$

Значения расчетного и фактического сопротивления теплового расцепителя.

Изн	A	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,25	1,6
расчет, Ом		15,07	8,45	5,27	3,86	2,08	1,35	0,91	0,55
факт, Ом		15,1	8,5	5,15	3,7	2,0	1,25	0,9	0,52

Изн	A	2,0	2,5	3,15	4	5	6,3
расчет, Ом		0,33	0,22	0,14	0,08	0,04	0,03
факт, Ом		0,36	0,25	0,13	0,082	0,038	0,031

Изн	A	8,0	10	12,5	16	20	25
расчет, Ом		0,022	0,013	0,008	0,007	0,003	0,002
факт. Ом		0,021	0,012	0,009	0,008	0,0025	0,0015

Расчетные значения сопротивлений имеют высокую степень совпадения с результатами эксперимента. Это дало возможность разработать метод бесштоковой калибровки, в основе простоты которого лежит высокая технологическая стабильность сопротивления нагревателя теплового элемента и новая конструкция элементов настройки аппарата. Анализ формул 11, 17 показывает, что незначительное изменение принятого  $a_{cp}$  приводит к существенному изменению  $T_{cp}$  при малых  $K$  и в то же время практически не сказывается на значениях  $T_{cp}$  при  $K > 1,5$ . Так, при  $a_{cp} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ ,  $T_{cp} = 480 \text{ с}$  при  $K = 1,25$ ; при  $a_{cp} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ М}$  уже имеем  $T_{cp} = 300 \text{ с}$  (меньше на 60%); при  $K = 2$  значения  $T_{cp}$  равны, соответственно 63 и 72 с, т.е. различие менее 5%. Все это наводит на мысль, что нужно создать технологический процесс калибровки построенный не на зависимости  $a_{cp}$  от  $T_{cp}$ , а на зависимости  $T_{cp,K}$  от  $T_{cp,K,m}$ , т.е. найти твердые временные зависимости различных точек характеристики. При этом одним из важнейших вопросов будет рациональный выбор величины  $K$ , при которой возможно обеспечить минимальные допуски времени регулировки. Расчеты показывают, что при колебании времени настройки при  $K = 3$  в пределах  $\pm 5\%$  от средней точки, рассчитанной по (17) расчетное колебание времени срабатывания при испытании током  $K = 1,25$  находится в пределах  $\pm 55\%$  от средней точки, что является достаточным для уверенного попадания в пределы 6 - 15 мин. Это обеспечивает также устойчивое выполнение условия  $T_{cp} > 2 \text{ час}$  при  $K = 1,05$ .

Эти закономерности позволили провести детальный анализ калибровки на повышенных токах перегрузки, теоретически обосновать применяемые в настоящее время кратности испытательных токов.

Далее на основе уравнений (11), (17) произведена оценка точности контрольно-испытательного оборудования, применяемого при калибровке и контроле работы термобиметаллических расцепителей. Даны рекомендации по выбору точности оборудования для различных видов испытаний.

В заключении приведена обобщенная оценка результатов работы.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ :

1. Намитоков К.К., Терешин В.Н., Коротков А.К., Фролов Ю.А. Пути повышения стабильности защитной характеристики автоматических выключателей. Сборник трудов № 167, МЭИ, Москва, 1988 г.
2. Намитоков К.К., Терешин В.Н., Брезинский В.Г., Фролов Ю.А. и др. Автоматический выключатель. А.с. 1453472 СССР Оpubл. Б.И., 1989 г., № 3
3. Намитоков К.К., Чернов В.А., Морозов А.Ф., Фролов Ю.А. Максимальный расцепитель тока. А.с. 13979.92 СССР Оpubл. Б.И., 1987 г., № 19
4. Намитоков К.К., Брезинский В.Г., Морозов А.Ф., Фролов Ю.А. и др. Максимальный расцепитель тока. А.с. 1324078 СССР Оpubл. Б.И., 1987 г. № 26
5. Намитоков К.К., Терешин В.Н., Брезинский В.Г., Фролов Ю.А. и др. Автоматический выключатель. А.с. 1415267 СССР Оpubл. Б.И., 1988 г., № 29
6. Амбарцумян А.Г., Зинченко В.Ф., Мартиросов Р.С., Фролов Ю.А. и др. Тепловой элемент автоматического выключателя. А.с. 1327201 СССР Оpubл.Б.И., 1987 г., № 28
7. Намитоков К.К., Брезинский В.Г., Пахомов П.Л., Фролов Ю.А. и др. Расцепитель максимального тока. А.с. 1494070 СССР Оpubл. Б.И., № 26, 1989 г.
8. Намитоков К.К., Пахомов П.Л., Терешин В.Н., Фролов Ю.А. Расчет защитных характеристик автоматических выключателей. Известия ВУЗов. Электромеханика, № 7, 1989 г., НПИ, Новочеркасск
9. Намитоков К.К., Морозов А.Ф., Брезинский В.Г., Фролов Ю.А. и др. Автоматический выключатель. А.с. 1479971 СССР Оpubл. Б.И., 1989 г., № 18
10. Зинченко В.Ф., Фролов Ю.А. Автоматический выключатель. А.с. 1304104 СССР Оpubл. Б.И., 1987 г., № 14
11. Зинченко В.Ф., Антоненко А.Т., Фролов Ю.А. Автоматический выключатель. А.с. 1339689 СССР Оpubл. Б.И., 1987 г., № 35
12. Намитоков К.К., Брезинский В.Г., Пашенко Н.Л., Фролов Ю.А. Устройство для тепловой защиты электрического аппарата. А.с. 1274056 СССР Оpubл. Б.И., 1986 г., № 44
13. Намитоков К.К., Брезинский В.Г., Морозов А.Ф., Фролов Ю.А. и др. Максимальный расцепитель тока. А.с. 1339690 СССР Оpubл. Б.И., 1987 г., № 35
14. Намитоков К.К., Брезинский В.Г., Пашенко И.Л., Фролов Ю.А. и др. Устройство для тепловой защиты электроустановки. А.с. 1462447 СССР Оpubл., 1989 г., № 8
15. Намитоков К.К., Брезинский В.Г., Терешин В.Н., Фролов Ю.А. и др. Автоматический выключатель. А.с. 1443048 СССР Оpubл. Б.И., 1988 г. № 45
16. Намитоков К.К., Чернов В.А., Морозов А.Ф., Фролов Ю.А. и др. Автоматический выключатель. А.с. 13816.19 СССР Оpubл. Б.И., 1988 г. № 10
17. Намитоков К.К., Терешин В.Н., Брезинский В.Г., Фролов Ю.А. и др. Система подвижных контактов. А.с. 1529312 СССР Оpubл. Б.И., 1989 г., № 46
18. Намитоков К.К., Терешин В.Н., Брезинский В.Г., Фролов Ю.А. и др. Способ калибровки автоматических выключателей. А.с. по заявке № 4629619/24 - 07 (157536 ) пр. от 14.11.88 СССР
19. Антоненко А.Т., Зинченко В.Ф., Кимкетов М.Д., Фролов Ю.А. и др. Блок контроля автоматических выключателей. Информационный лист № 236 - 85, ЦНТИ, г. Ставрополь
20. Иванов Э.Д., Рыбкин Ю.А., Фролов Ю.А. Терморегулирующее устройство. А.с. 1550498 СССР Оpubл. Б.И., 1990 г., № 10
21. Намитоков К.К., Терешин В.Н., Чернов В.А., Фролов Ю.А. Устройство ударного отключения для тепловой защиты низковольтной аппаратуры. Тезисы докладов научно-технической конференции к 25-летию ВНИИР, г.Чебоксары, 1986 г.
22. Намитоков К.К., Терешин В.Н., Фролов Ю.А., Пашенко Н.Л. Тепловое реле для низковольтного аппаратостроения. Тезисы докладов научно-технической конференции к 25-летию ВНИИР, г.Чебоксары, 1986 г.

469748

AB 26.428

**AB 26.428**