

ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ПО УСЛОВИЮ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПЕРЕГРЕВА КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аушев И.Ю.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: past@kii.gov.by

Описана методика выбора аппаратов защиты по условию предупреждения перегрева кабельных изделий. Согласно ей, выбранный по правилам устройства электроустановок аппарат защиты проверяется на согласованность в работе с кабельными изделиями. Путем совмещения времятоковых характеристик аппаратов защиты и кабельных изделий проанализировано обеспечение пожарной безопасности кабельных изделий.

The methods of selection of protection devices according the condition of prevention against overheating of cables are presented. Selected according to the rule of electrical installations, the protection device is testing on coordination in functioning with wire& cable (W&C). By means of combination of time and current characteristics of protection devices and W&C the fire safety of cabling is analyzed.

(Поступила в редакцию 13 июля 2010 г.)

ВВЕДЕНИЕ

В различных отраслях промышленности, строительства и народного хозяйства происходят пожары, причинами которых являются перегрузки и короткие замыкания в кабельных изделиях [1]. Безопасная эксплуатация кабельных изделий во многом зависит от эффективной работы аппаратов защиты. Аппараты защиты должны ограничивать время действия токов короткого замыкания и перегрузки, предотвращая тем самым нагрев кабельных изделий выше пожаробезопасной температуры. Использование аппаратов защиты технически эффективно, однако их применение невозможно без оценки теплового воздействия протекающего сверхтока (тока, превышающего номинальный) на кабельные изделия. Анализ показал [2, 3], что требования, изложенные в действующих технических нормативных правовых актах (ТНПА), регламентирующие выбор аппаратов защиты от перегрузок и токов короткого замыкания в кабельных изделиях, не учитывают температуру проводника, до которой он успеет нагреться на момент отключения. Согласно данным, предоставленными Отделом статистики и анализа Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь, в нашей стране более 17 % пожаров возникает по этим причинам. Только за 2009 год в республике из-за перегрузок и коротких замыканий в проводах и кабелях произошло 859 пожаров, что составляет 57,6 % от общего числа пожаров, причиной которых послужили электротехнические устройства. При этом погиб 21 человек. Общий экономический ущерб превысил 7 млрд рублей. Аналогичную ситуацию можно наблюдать и в сопредельных странах [4].

УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Из литературных источников [5, 6] известно, что защиту кабельных изделий от пожароопасного перегрева при протекании сверхтока возможно осуществить лишь при соответствующей координации времятоковой характеристики (ВТХ) аппарата защиты и ВТХ кабельного изделия. Действующие ТНПА [7, 8], устанавливающие требования к ВТХ аппаратов защиты, допускают существенный разброс средних значений характеристик, достигающий до 20–30 %. Следовательно, время отключения аппаратов защиты различных

серий и производителей при одинаковом значении сверхтока будет разным. Существующий разброс характеристик отключения, влияющий на пожарную безопасность кабельных изделий, создал предпосылки для изменения подходов в выборе аппаратов. До настоящего времени не разработана научно обоснованная методика выбора аппаратов защиты, учитывающая температуру токоведущей жилы и изоляции кабельного изделия на момент его отключения в аварийном режиме работы. Предотвращение возникновения пожароопасной ситуации, вызванной ростом температуры кабельного изделия при перегрузках и коротких замыканиях, является неотъемлемой частью комплекса мер по снижению количества пожаров в электроустановках.

Принцип совмещения ВТХ при построении защиты кабельной линии от воспламенения изоляции проверен экспериментальными исследованиями, проведенными Г.И. Смелковым [9]. Автором были экспериментально определены ВТХ воспламенения изоляции одножильных проводов марок АПВ $1 \times 2,5 \text{ мм}^2$, АПВ $1 \times 6 \text{ мм}^2$ и сопоставлены с ВТХ аппаратов защиты [9]. Отмечено, что полученные экспериментальные данные хорошо коррелируют со взаимным расположением ВТХ аппаратов защиты. Указывается, что значительным недостатком данного метода защиты кабельных изделий является отсутствие ВТХ воспламенения изоляции кабельных изделий в справочной литературе, технической документации производителей, а также нормативной и исследовательской базе, что не позволяет использовать метод сопоставления ВТХ на практике.

Применение ВТХ воспламенения изоляции электропроводки при выборе аппаратов защиты имеет, однако, существенный недостаток, заключающийся в преждевременном старении изоляции, вызываемом значительным превышением предельно допустимой температуры на момент отключения аппаратом защиты, что приводит к сокращению срока службы защищаемого кабельного изделия, появлению токов утечки, пробоя и оголению проводов. Для сохранения эксплуатационных свойств необходимо предотвратить нагрев изоляции выше предельно допустимой температуры, при достижении которой кабельное изделие еще сохраняет свои эксплуатационные свойства [10]. Исходя из изложенных соображений, а также анализа литературных источников [6], нами предположено, что пожарную безопасность кабельных изделий можно обеспечить путем предотвращения нагрева изоляции кабельного изделия выше предельно допустимой температуры, указанной для конкретного материала изоляции в ТНПА. Тогда условие обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий при выборе аппаратов защиты можно записать в следующем виде:

$$t_{\text{аз}} \leq t_{\text{п.д}}^{\text{к}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{аз}}$ – время полного отключения аппарата защиты, с;

$t_{\text{п.д}}^{\text{к}}$ – время достижения изоляцией кабельного изделия предельно допустимой температуры, с.

Путем анализа ТНПА, действующих в Республике Беларусь и других странах, и синтеза положений с результатами научных исследований нами разработана методика выбора аппаратов защиты по условию обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий. Выбранный по правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [11] аппарат защиты необходимо проверить на согласованность в работе с кабельными изделиями по условию обеспечения пожарной безопасности путем сопоставления их ВТХ. Сопоставление ВТХ аппаратов защиты и кабельных изделий позволяет адекватно оценить уровень защиты кабельных изделий при протекании сверхтока и предотвратить нагрев изоляции кабельных изделий при аварийных режимах работы выше предельно допустимой температуры.

ВТХ аппарата защиты выбранной серии можно построить по имеющимся в паспортах или каталогах цифровым значениям зависимости времени отключения от кратности

сверхтока или путем перевода графической ВТХ в электронный вид. Индивидуальную ВТХ конкретного аппарата защиты из выбранной серии можно определить экспериментально. ВТХ кабельного изделия можно построить по обсуждаемой ниже математической модели нагрева многожильного изолированного проводника при протекании через него электрического тока или (и) по данным экспериментальных исследований.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВТХ АППАРАТА ЗАЩИТЫ ПО ПАСПОРТНЫМ ДАННЫМ

ВТХ аппарата защиты выбранной серии можно получить из паспортных данных (при отсутствии данных в электронном виде). Отличие в изображении паспортных ВТХ автоматических выключателей и предохранителей заключается в том, что на ВТХ предохранителей сверхток задается абсолютным значением ожидаемого тока в электрической цепи, а на ВТХ автоматических выключателей – в виде значения кратности, т. е. отношения ожидаемого тока в цепи к номинальному току расцепителя. Принцип построения ВТХ для двух видов аппаратов защиты аналогичен. ВТХ аппаратов защиты изображаем в электронном формате (*Excel*) для верхней и нижней границ полосы разброса.

Построим ВТХ на примере ВТХ автоматического выключателя. Из паспорта или каталога для выбранного типа автоматического выключателя при помощи линейки измеряем расстояние L_{10} (мм) на логарифмическом графике от точки начала координат по оси абсцисс до отметки десятикратного сверхтока (рис. 1).

Выбираем значение времени полного отключения автоматического выключателя t_i (см. рис. 1). Для получения точных результатов измерения рекомендуется брать целое значение времени отключения аппарата защиты t_i , указанное на логарифмическом графике.

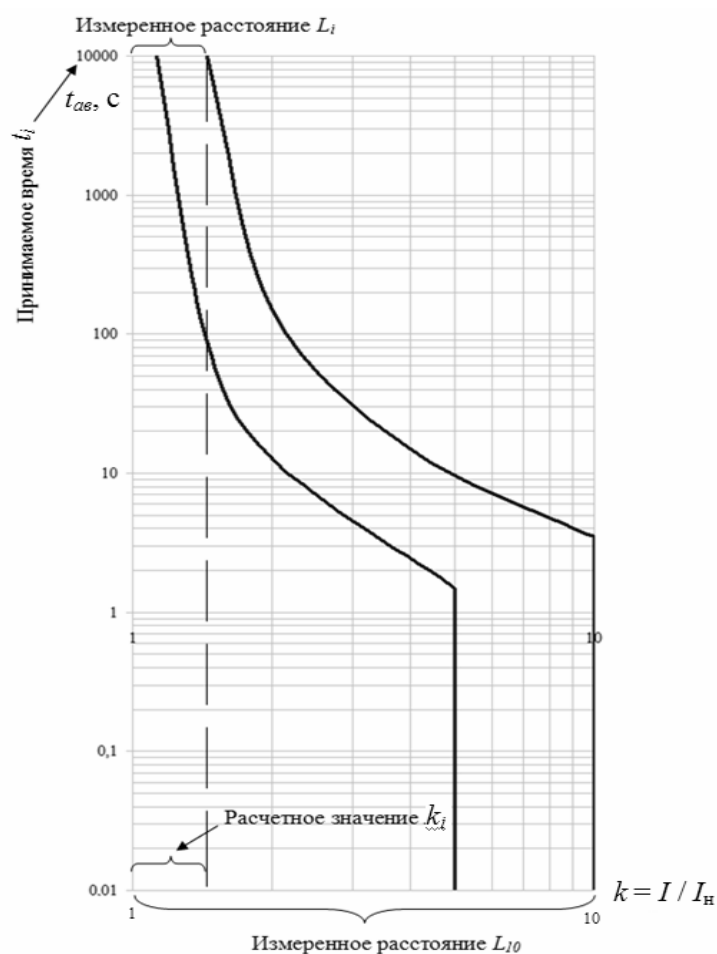


Рисунок 1 – Схема определения кратности сверхтока k_i для принятого времени отключения аппарата защиты t_i

Измеряем расстояние L_i (мм) (по горизонтали) от линии оси ординат до точки пересечения линии графика ВТХ с горизонтальной линией сетки графика для заданного времени отключения автоматического выключателя t_i . На рис. 1 приведен пример определения расчетного значения k_i для времени $t_i = 10\ 000$ с. Для остальных принимаемых значений t_i расчетное значение k_i определяется аналогичным образом.

Рассчитываем искомую кратность сверхтока k_i для принятого времени отключения аппарата защиты t_i по формуле

$$k_i = 10^{\frac{L_i}{L_{10}}}. \quad (2)$$

Пошагово выполняем описанные действия для всего диапазона значений (для нижней и верхней границ соответственно) паспортной (каталожной) ВТХ автоматического выключателя.

Для удобства построения графика ВТХ принимать значения t_i можно с шагом через 2–3 интервала. Для того чтобы график строился сплошной кривой между пропущенными интервалами, в *Excel* выполняем следующие действия: в строке меню выбираем «Сервис» – «Параметры» – «Диаграмма», в поле «Активная диаграмма» устанавливаем метку «Для пустых ячеек: Значения интерполируются».

Получаем график ВТХ автоматического выключателя в логарифмической системе координат

$$t_i = f(k_i). \quad (3)$$

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВТХ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ

Методика определения ВТХ автоматических выключателей изложена в статье [12].

Для определения индивидуальной ВТХ конкретного предохранителя применяется испытательная установка, описанная в [12]. Для этого предлагается через холодную плавкую вставку предохранителя (20 °С) пропускать испытательный ток, начиная с испытательного тока, равного $1,3I_n$ для предохранителей промышленного назначения, а так же предохранителей бытового назначения с номинальным током свыше 16 А; $1,6I_n$ для предохранителей бытового назначения с номинальным током до 10 А. Затем через холодную плавкую вставку предохранителя пропускать испытательный ток с шагом $1I_n$ вплоть до значения, соответствующего максимальному значению сверхтока, определенному по верхней границе ВТХ предохранителя. Испытательный ток рекомендуется принимать в виде целого значения. Фиксация времени перегорания плавкой вставки предохранителя проводится для каждого значения испытательного сверхтока.

По результатам испытаний каждого образца строим логарифмический график зависимости

$$t_{\text{пг}} = f(k), \quad (4)$$

где $t_{\text{пг}}$ – время перегорания плавкой вставки предохранителя, с.

ПОСТРОЕНИЕ ВТХ КАБЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

С целью определения ВТХ кабельных изделий совместно с Б.Э. Кашевским (КИИ МЧС Республики Беларусь) проведено математическое моделирование нагрева

многожильного изолированного проводника. В основу модели положено интегральное уравнение баланса тепловой энергии в проводнике. При этом сделаны следующие допущения: учитывая большую величину коэффициента теплопроводности материала жилы по сравнению с коэффициентом теплопроводности изоляции, температуру по ее толщине полагаем однородной; теплоотдача с поверхности оболочки по всей поверхности однородна и описывается эмпирическим уравнением Ньютона; многожильный проводник с цилиндрическими жилами, расположенными параллельно в одной плоскости, будем рассматривать как плоский одножильный с шириной жилы, равной диаметру цилиндрической жилы, умноженной на количество жил; полагая, что ширина плоской жилы во много больше высоты, влиянием торцов пренебрегаем. Сделано предположение, что температура жилы и поток тепла в изоляцию достигают своих равновесных значений по экспоненциальному закону с некоторым характерным временем t . С учетом зависимости электрического сопротивления материала жилы проводника от температуры, было получено искомое уравнение для неустановившегося режима нагрева жилы многожильного изолированного проводника при протекании сверхтока кратностью k :

$$t_{\Delta T} = -\frac{C_w A'}{1 - Q_0 k^2 \beta A'} \ln \left[1 - \Delta T \frac{1 - Q_0 k^2 \beta A'}{Q_0 k^2 (A' - B)} \right], \quad (5)$$

где C_w – полная теплоемкость единицы длины проводника, Дж/м·К;

Q_0 – значение мощности тепловыделения при начальной температуре для допустимого длительного тока кабельного изделия, Вт/м;

k – величина кратности сверхтока;

ΔT – разность между предельно допустимой и начальной температурой кабельного изделия, К;

β – температурный коэффициент сопротивления, К⁻¹;

A' – коэффициент теплового сопротивления кабельного изделия, м·К/Вт;

B – коэффициент, м·К/Вт.

Коэффициент теплового сопротивления кабельного изделия A' и коэффициент B можно определить по формулам (6) и (7) соответственно:

$$A' = \left(\frac{h}{\lambda P_w} + \frac{1}{\alpha P_e} \right), \quad (6)$$

$$B = \frac{\delta}{\lambda P_w}, \quad (7)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала изоляции, Вт/(м·К);

h – толщина изоляции, м;

P_w – периметр сечения жилы, м;

P_e – внешний периметр сечения изоляции, м;

α – коэффициент теплоотдачи с поверхности изоляции, Вт/м²·К;

δ – расстояние от поверхности жилы до точки замера температуры, м.

Для решения уравнения (5) необходимо из экспериментальных данных определить коэффициент теплового сопротивления A' , зависящий от конструкции кабельного изделия и условий теплоотвода, а также коэффициент B – параметр, который на практике учитывает как расположение термодары, так и ее характеристики (размер бусинки, способ укладки

проводов), поскольку имеет место влияние теплоемкости термопары и теплоотвода по проводам термопары.

После выполненных математических расчетов можно построить график ВТХ кабельного изделия в логарифмической системе координат

$$t_{п.д}^k = f(I). \quad (8)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВТХ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Целью экспериментального определения ВТХ кабельных изделий является определение времени достижения токоведущей жилой, соответственно, и изоляцией в месте контакта с жилой, предельно допустимой температуры, указанной в ТНПА, при прохождении через провод (кабель) сверхтока различной кратности. Методика экспериментального определения ВТХ кабельных изделий изложена в [10, 13].

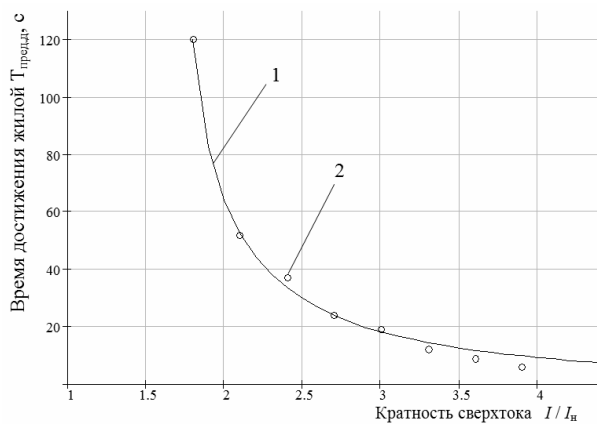
Экспериментальные исследования проводились в аккредитованных испытательных лабораториях Командно-инженерного института и Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь. Средства измерений и испытательное оборудование имели действующие аттестаты, свидетельства о поверке или калибровке, клейма.

Для исследований были отобраны двухжильные кабели марки ВВГ с сечениями жилы 1,5; 2,5 и 4 мм². Для испытаний подготавливались не менее пяти образцов кабеля одной и той же марки, длиной 40*d* (где *d* – диаметр испытуемого кабеля (провода), мм), но не менее (1,5 ± 0,05) м. Для контроля размеров диаметра и изоляции провода (кабеля) изготавливался контрольный образец длиной 0,1 м. На каждый испытуемый и контрольный образцы крепилась бирка с маркой провода (кабеля). На ней в обязательном порядке записывался условный номер испытываемого образца, который в последующем указывался в протоколах испытаний. Для контроля температуры на жилы кабеля устанавливались методом зачеканки трех термоэлектрических преобразователей, равномерно расположенных по всей длине. При этом для исключения влияния процессов, происходящих в местах контактов, крайние термоэлектрические преобразователи устанавливались на расстоянии не менее 10*d* от этих мест. Значение температуры жилы провода (кабеля) принималось как среднеарифметическое значение показаний трех термоэлектрических преобразователей.

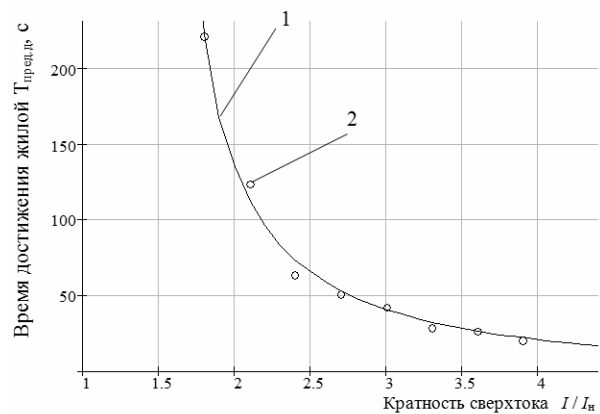
Экспериментальные исследования проводились на открыто проложенных проводниках как наиболее пожароопасном виде прокладке кабельных изделий [1]. Относительная погрешность результатов серии экспериментов по определению ВТХ кабельных изделий не превысила 12 %.

Для применения на практике разработанной модели нагрева проводника (5), позволяющей строить расчетные ВТХ изолированных многожильных кабельных изделий, определению из экспериментальных данных подлежат коэффициенты *A'* и *B*. Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью прикладной системы автоматизации инженерно-технических расчетов *MathCAD*. С целью наиболее точного определения искомых коэффициентов использовалась встроенная функция *genfit*, позволяющая оценивать значения параметров экстраполяционной модели. По результатам обработки данных были получены значения коэффициентов *A'* и *B* максимально точно приближающие искомую функцию к экспериментальным: для кабелей ВВГ2×1,5 (*A'* = 5,28; *B* = 4,11); ВВГ2×2,5 (*A'* = 6,25; *B* = 5,17); ВВГ2×4 (*A'* = 4,44; *B* = 3,41).

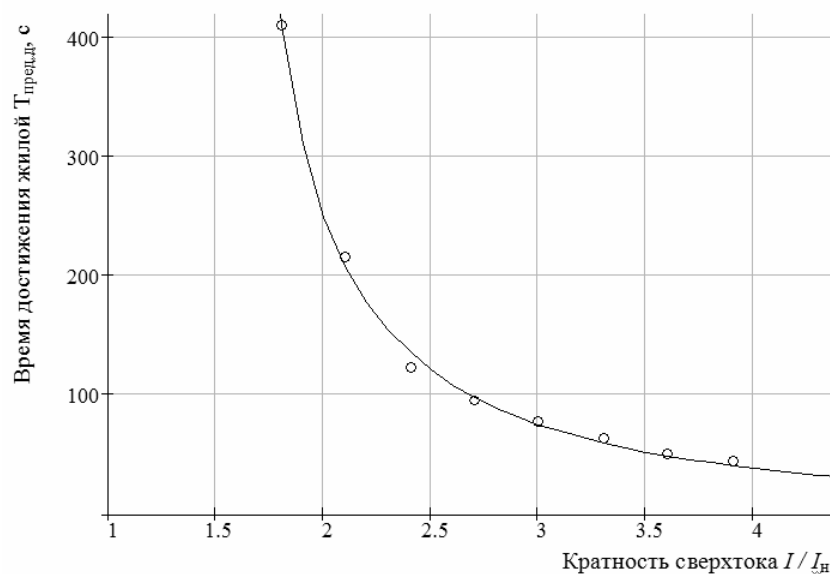
Экспериментально полученные и теоретически рассчитанные по формуле (5) времена достижения жилой кабельного изделия предельно допустимой температуры при различных кратностях сверхтока представлены на рис. 2. Расчетный коэффициент корреляции экспериментальных и теоретических данных составил 0,99, т.е. близок к единице. Следовательно, получена хорошая сходимость результатов. Относительное отклонение результатов расчета от экспериментальных данных не превышает 7 %.



ВВГ2×1,5



ВВГ2×2,5



ВВГ2×4

1 – теоретическая кривая; 2 – экспериментальные точки

Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных данных с данными математического моделирования

ПРОВЕРКА АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ПО УСЛОВИЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Для предотвращения возможности нагрева изоляции выше предельно допустимой температуры выполняем проверку взаимного расположения ВТХ выбранного (согласно [11]) аппарата защиты и ВТХ кабельного изделия по условию (1) путем совмещения двух графиков в единой логарифмической системе координат. Разработанная методика выбора аппаратов защиты кабельных изделий реализует рекомендацию ТКП 121-2008 [14] по проверке выбранных аппаратов защиты [11] по условию обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий. Положения ТКП 121-2008 были разработаны в ходе выполнения задания Государственной научно-технической программы [15]. Методика позволяет осуществить проверку соответствия аппаратов защиты сечению жил проводников.

ВТХ кабельного изделия должна располагаться правее (выше) верхней границы полосы разброса паспортной ВТХ аппарата защиты во всем диапазоне сверхтоков. В этом случае выбранный аппарат защиты обеспечивает пожарную безопасность кабельного изделия по условию предупреждения перегрева для предотвращения возникновения пожара.

Если ВТХ кабельного изделия располагается левее (ниже) нижней границы полосы разброса, то условие предупреждения перегрева для предотвращения возникновения пожара не выполняется. Необходимо отказаться от выбранного аппарата защиты, подобрав другой, соответствующий требованиям ПУЭ, и проверить соблюдение требований.

Если ВТХ кабельного изделия располагается в полосе разброса (между верхней и нижней границами) ВТХ аппарата защиты (во всем или части диапазона сверхтоков), то условие предупреждения перегрева кабельного изделия для предотвращения возникновения пожара необходимо оценивать по индивидуальной ВТХ конкретного аппарата защиты.

В ходе исследований были совмещены паспортные ВТХ, построенные для выбранной серии, 18 произвольно взятых аппаратов защиты (автоматических выключателей, УЗО со встроенной защитой от сверхтоков и плавких предохранителей) с ВТХ кабелей марки ВВГ с сечением жил 1,5; 2,5 и 4 мм². Все аппараты защиты соответствовали требованиям [11] в части согласованности с сечениями жил кабельных изделий. Анализ совмещенных графиков показал, что более чем в 72 % случаев ВТХ кабелей малого сечения (1,5 и 2,5 мм²) попадает в полосу разброса (неопределенности) характеристик аппаратов защиты. Следовательно, для оценки пожарной безопасности кабелей необходимо знать индивидуальную ВТХ конкретного аппарата защиты.

Для этого была разработана методика экспериментального определения индивидуальных ВТХ аппаратов защиты и проведены экспериментальные исследования. Для исследований были отобраны автоматические выключатели на номинальные токи расцепителей 16, 20, 25 и 32 А с характеристикой защиты *S* пяти производителей: Moeller, ЭКФ, ИЭК, Полюс и ЭТП.

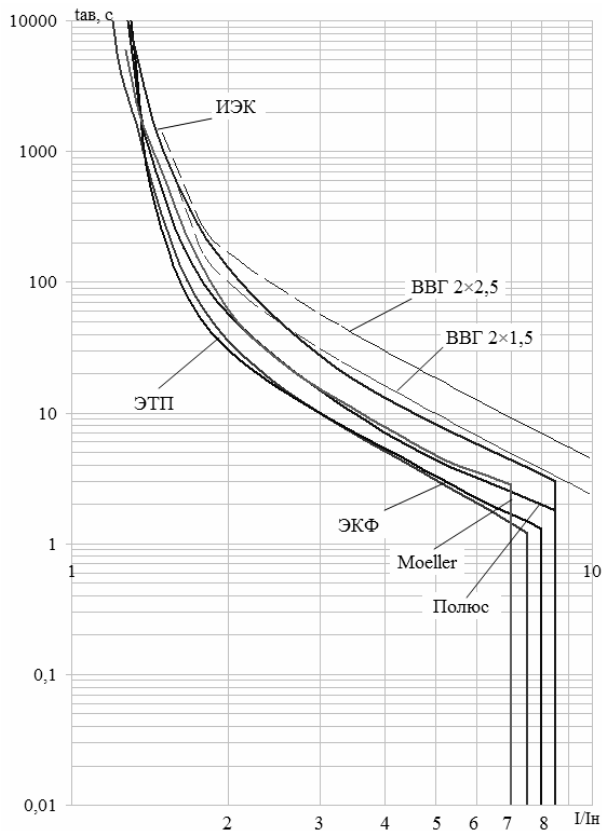
Для проверки обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий аппаратами защиты, выбранными согласно ПУЭ, проведено совмещение в единой логарифмической системе координат экспериментально определенных индивидуальных ВТХ автоматических выключателей с ВТХ кабелей марки ВВГ с сечением жил 1,5; 2,5 и 4 мм². Экспериментальные исследования ВТХ кабельных изделий проводились при средней температуре воздуха в испытательной лаборатории +20 °С. Для совмещения с ВТХ аппаратов защиты ВТХ кабельных изделий при помощи модели (5) были пересчитаны к начальной температуре окружающей среды +30 °С, тем самым приведены в соответствие с ВТХ автоматических выключателей, которые приводятся в паспортах или каталогах для контрольной температуры калибровки +30 °С. Совмещенные графики представлены на рис. 3.

Из анализа рис. 3 следует, что автоматический выключатель фирмы ИЭК с номинальным током расцепителя 16 А не обеспечивает пожарную безопасность кабеля ВВГ2×1,5, т.к. ВТХ кабеля располагается ниже индивидуальной ВТХ автоматического выключателя. Автоматический выключатель фирм Moeller и Полюс с номинальным током расцепителя 20 А не обеспечивает пожарной безопасности кабеля ВВГ2×1,5 и ВВГ2×2,5. Автоматический выключатель фирмы Полюс с номинальным током расцепителя 25 А не обеспечивает пожарной безопасности кабеля ВВГ2×2,5 и ВВГ2×4. Автоматический выключатель фирмы Полюс с номинальным током расцепителя 32 А не обеспечивает пожарную безопасность кабеля ВВГ2×4.

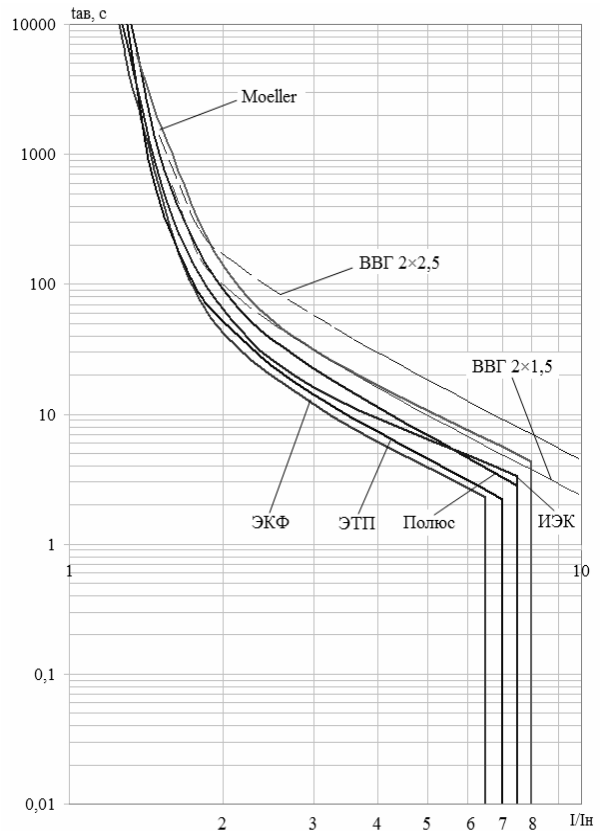
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам настоящей работы можно сделать следующие выводы:

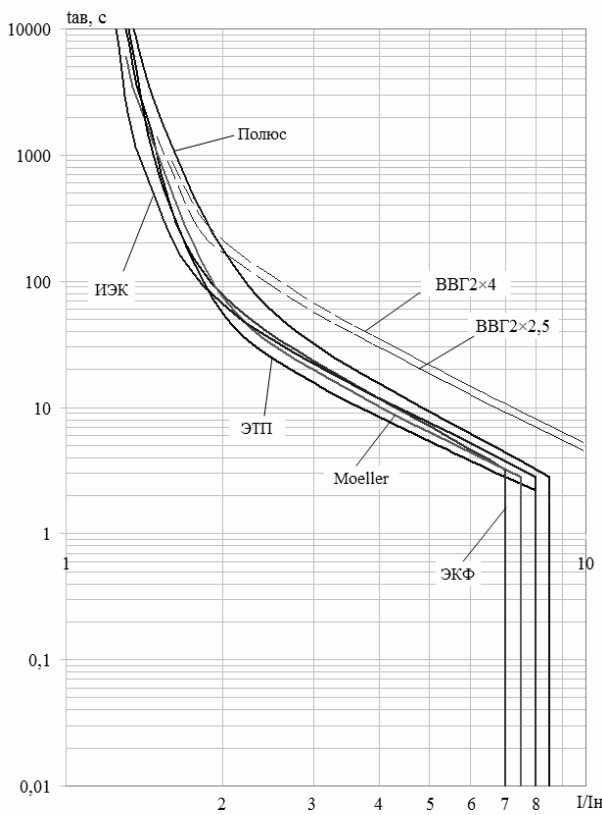
1. Разработана методика проверочного расчета аппаратов защиты по условию обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий на основании сравнения времятоковых характеристик аппаратов защиты и времятоковых характеристик кабельных изделий, позволяющая предупреждать перегрев кабельных изделий выше предельно допустимых температур.



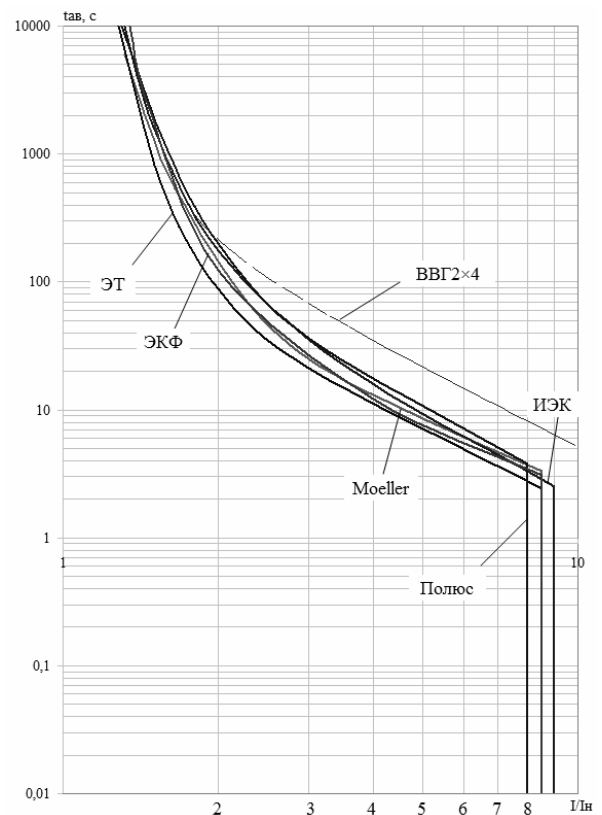
16 А



20 А



25 А



32 А

Рисунок 3 – Совмещенные графики ВТХ автоматических выключателей разных производителей и ВТХ кабельных изделий

2. Времятоковую характеристику кабельных изделий можно определить экспериментально, а также по разработанной математической модели нагрева изолированного многожильного проводника при протекании через него электрического тока. Времятоковую характеристику кабельного изделия целесообразно приводить в технической документации.

3. Анализ совмещенных графиков показал, что в большинстве случаев времятоковая характеристика испытанных кабелей малого сечения (1,5 и 2,5 мм²) попадает в полосу разброса (неопределенности) характеристик аппаратов защиты. Следовательно, защита кабельных изделий носит вероятностный характер, зависящий от индивидуальной времятоковой характеристики конкретного аппарата защиты.

4. Путем сопоставления экспериментально полученных индивидуальных времятоковых характеристик аппаратов защиты с времятоковыми характеристиками кабельных изделий установлено, что не все автоматические выключатели, выбранные согласно ПУЭ, обеспечивают пожарную безопасность защищаемых кабельных изделий. Анализ совмещенных графиков показал, что наибольшую пожарную опасность для изоляции кабельных изделий представляет сверхток кратностью от 1,5 до 2,5 номинального значения. Указанная кратность сверхтока попадает в зону действия тепловых расцепителей, имеющих обратно зависимую характеристику отключения, допускающих превышение температуры изоляции кабельного изделия выше предельно допустимой, что не соответствует условию безопасной эксплуатации (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Смелков, Г.И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г.И. Смелков. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
2. Аушев, И.Ю. Анализ существующей методики выбора аппаратов защиты с точки зрения обеспечения пожарной безопасности электропроводки / И.Ю. Аушев // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2008. – № 2 (24). – С. 71–81.
3. Аушев, И.Ю. Выбор аппаратов защиты электропроводок с учетом времятоковых характеристик / И.Ю. Аушев // Энергетика. – 2009. – № 3(май–июнь). – С. 35–41.
4. Смелков, Г.И. Проблемы обеспечения пожарной безопасности кабельных потоков / Г.И. Смелков // Первое отраслевое электронное СМИ ЭЛ № ФС77-28661 [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа : <http://www.ruscable.ru/doc/analytic/statya-119.html>. – Дата доступа : 25.01.2010.
5. Айзенберг, Б.Л. Защита электрических установок плавкими предохранителями / Б.Л. Айзенберг. – М. : Госэнергоиздат, 1963. – 127 с.
6. Черкасов, В.Н. Пожарная безопасность электроустановок: Учебник / В.Н. Черкасов, Н.П. Костарев. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.
7. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования и методы испытаний : СТБ ГОСТ Р 50030.1–2002 (МЭК 60947–1–99). – Введ. 09.12.02. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 137 с.
8. Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования : МЭК 60269-1:2006. – Введ. 30.11.06. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2006. – 104 с.
9. Смелков, Г.И. Влияние электрической защиты на пожарную опасность электропроводок. // Пожарная профилактика в электростановках : сб. науч. трудов. – М. : ВНИИПО, 1985, С. 5–12.
10. Кабели и провода электрические. Общие требования. Показатели пожарной опасности и методы испытаний: СТБ 1951–2009 – Введ. 01.09.09. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. – 16 с.
11. Правила устройства электроустановок. – 6-е издание, перераб. и доп., с изм. – М. : Главгосэнергонадзор России, 1998. – 608 с.
12. Мисюкевич, Н.С. Методика входного контроля аппаратов защиты электропроводок / Н.С. Мисюкевич, И.Ю. Аушев // Вестн. Белорус. нац. технич. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 77–83.

13. Методика экспериментального исследования пожарной опасности элементов электропроводок в зависимости от вида конструкции электропроводок, величины протекания электрического тока, режимов работы электрической сети / Н.С. Мисюкевич [и др.]. – Минск : КИИ МЧС, 2006. – 13 с.

14. Пожарная безопасность. Электропроводка и аппараты защиты внутри зданий. Правила устройства и монтажа : ТКП 121–2008 (02300) : постановл. №15 Мин-ва по чрезвычай. ситуац. Респ. Беларусь.. – Введ. 11.02.08. – Минск : НИИ ПБ и ЧС, 2008. – 28 с.

15. Разработка математической модели токовременных характеристик электропроводок, электронных таблиц и номограмм : отчет по НИР (заключ.) № 138 вн. / Командно-инж. ин-т; рук. темы Н.С. Мисюкевич. – Минск, 2006. – 57 с.