УДК 621.316.9

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЯТОКОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ НА ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Инж. АУШЕВ И. Ю.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

В различных отраслях промышленности и народного хозяйства происходят пожары, причинами которых являются перегрузки кабельных изделий. По статистике, наиболее пожароопасными электротехническими изделиями являются кабельные изделия. Более чем в 60 % случаев причиной пожаров стали неисправность и воспламенение кабельных изделий [1, 2].

Известно, что электрический ток, протекающий по кабельным изделиям, оказывает на них тепловое воздействие [3]. Безопасная эксплуатация кабельных изделий во многом зависит от эффективной работы аппаратов защиты, служащих для ограничения времени протекания сверхтока. Использование аппаратов защиты технически эффективно и экономически оправдано, однако их применение невозможно без оценки теплового воздействия протекающего сверхтока на кабельные изделия. Анализ литературных источников показал, что существующие технические нормативные правовые акты, регламентирующие выбор аппаратов защиты от длительных перегрузок и токов короткого замыкания, не учитывают температуру проводника, до которой он успеет нагреться на момент отключения [1, 2]. Это подчеркивает новизну исследований. Актуальность оценки тепловых режимов работы кабельных изделий при протекании сверхтока подтверждается статистическими данными пожаров, причинами которых послужили кабельные изделия.

Установлено, что основной функциональной характеристикой любого аппарата защиты электрических проводок является его времятоковая характеристика (ВТХ) [3, 4]. Она типовая, т. е. относится не к одному аппарату защиты, а к серии подобных. Ее изображают графически в каталогах или паспортных данных для серии аппаратов.

Поскольку в действительности наблюдаются существенные отклонения от средних значений характеристик, вызванных производственными и эксплуатационными факторами (допуск на качество материала термоэлементов и контактов, различное старение элементов защиты и т. п.), ВТХ изображают не одной линией, а полосой между нижней и верхней границами, в пределах которой лежит возможное время отключения конкретного отдельно взятого аппарата [4]. Зона между верхней и нижней границами ВТХ является зоной неопределенности. Внутри этого диапазона аппараты защиты одной серии могут сработать за разный промежуток времени, находящийся в указанной зоне.

Известно, что при выборе аппаратов защиты электропроводок необходимо учитывать взаимное расположение ВТХ аппаратов защиты и тепловых характеристик кабельных изделий [5]. Однако до настоящего времени нет методики выбора аппаратов защиты, учитывающей данный подход.

ВТХ аппаратов защиты являются известной технической характеристикой изделия, в то время как тепловые характеристики кабельных изделий остаются неизвестными. Это потребовало проведения экспериментальных исследований.

Цель экспериментальных исследований, которые проводились в два этапа, – определение тепловых характеристик кабельных изделий различного сечения и индивидуальных ВТХ аппаратов защиты разных номинальных токов и производителей.

На рис. 1 представлена схема расположения термоэлектрических преобразователей на испытываемом образце кабеля. Для контроля температуры на токоведущие жилы кабельного изделия устанавливались методом зачеканки три термоэлектрических преобразователя, равномерно расположенных по всей длине. При этом для исключения влияния процессов, происходящих в местах контактов, крайние термо-

электрические преобразователи устанавливались на расстоянии не менее 10*d* кабельного изделия от этих мест. Контроль температуры в точках 1–3 (рис. 1) фиксировался при помощи запоминающего устройства и программного обеспечения, входящих в комплект испытательной установки.

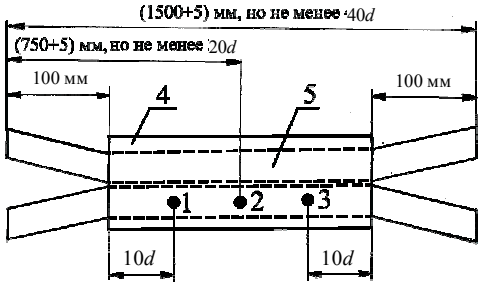


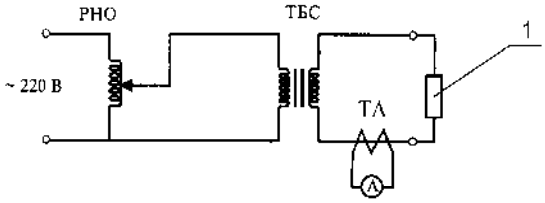
Рис. 1. Схема расположения термоэлектрических преобразователей на испытуемом образце: 1–3 – термоэлектрические преобразователи; 4 – изоляция электропроводки; 5 – токопроводящая жила

Исследования проводились на базе Командно-инженерного института и Научно-исследовательского института пожарной безопасности и ~220 В блем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь согласно методике [6].

На рис. 2 представлена принципиальная схема испытательной установки.

Рис. 2. 1 – испытуемый образец кабеля; РНО – однофазный автотрансформатор; ТБС – понижающий трансформатор; ТА – трансформатор тока; А – амперметр

Один конец кабельного изделия подключался к контактной группе, предназначенной для подключения к соответствующей фазе источника питания. На другом конце кабельного изделия все токопроводящие жилы соединялись накоротко. Перед началом испытаний источник питания был отрегулирован на испытательной нагрузке, соответствующей значению силы тока $1{,}2I_н$. В процессе испытания значение силы тока поддерживалось на заданной величине. Затем контакты источника тока с испытательной нагрузкой переключались на контакты соответствующих групп токопроводящих жил испытываемого образца. Методика испытаний предусматривала фиксацию времени достижения токоведущей жилой кабельного изделия предельно допустимой температуры, указанной в [7], при прохождении через него сверхтока различной кратности.



Результатом проведения экспериментальных исследований стали определение тепловых характеристик кабелей ВВГ2х2,5, ВВГ2х4, ВВГ2х6 и их сравнение с теоретическими расчетами. Расчеты проводились согласно разработанной автором данной статьи методике построения тепловых характеристик кабельных изделий. Результаты экспериментальных и теоретических исследований показали удовлетворительную сходимость. Коэффициент корреляции составил 0,76.

Проведенные в рамках Государственной научно-технической программы экспериментальные исследования позволили установить следующие данные:

- достижение жилой кабельных изделий предельно допустимой температуры начинается при протекании сверхтока кратностью $1{,}8I_н$ и выше;
- визуально видимый процесс термической деструкции поливинилхлоридной изоляции начинается при температуре 153 ± 5 °С. После нагрева токопроводящих жил наблюдается слипание изоляции отдельных жил между собой и с защитной оболочкой. При температуре 164 ± 5 °С изоляция плавится, геометрические размеры электропроводок изменяются, жилы смещаются относительно друг друга;
- экспериментальные исследования показывают, что предельно допустимая температура нагрева проводников при перегрузках, указанная в технических нормативных правовых актах, требует уточнения. Изменения в конструкции кабелей и проводов с поливинилхлоридной изоляцией из-за ее размягчения могут начинаться при температуре 140 °С, тогда как пре-ельно допустимая температура при сверхтоках нормативно определена в 150 °С.

Экспериментальное определение ВТХ автоматических выключателей проводилось на описанной выше испытательной установке согласно разработанной автором статьи методике. Общий вид испытательной установки представлен на рис. 3.

Рис. 3. Общий вид испытательной установки по определению времятоковых характеристик автоматических выключателей

На сегодняшний день спектр выпускаемых автоматических выключателей слишком велик и провести экспериментальное определение ВТХ всех автоматических выключателей не представляется возможным. Поэтому для эксперимента были выбраны автоматические выключатели с номинальными токами расцепителей ($I_{н.расц}$), наиболее часто используемые для защиты электропроводок жилых и административных помещений – это 10; 16; 20; 25 и 32 А. Для сравнения времени полного отключения выключателей одной серии (ВА47-63) и одного номинального тока были отобраны автоматические выключатели пяти фирм, широко представленные на рынке Республики Беларусь: ИЭК, ЭКФ, «Полюс», ЭТП и Moeller.

При наружном осмотре проверялось отсутствие повреждений основания кожуха и крышки автомата, проводилось несколько включений и отключений вручную, тем самым проверялась работоспособность расцепителей. Крышки автоматических выключателей не открывались, расцепители не регулировались. Выключатель закреплялся на фанерном щите толщиной 20 мм, окрашенном в матовый черный цвет, при помощи DIN-рейки. Выключатель соединялся с источником нагрузки медным кабелем в поливинилхлоридной изоляции соответствующего сечения. Соединения размещались на открытом воздухе. Перед испытаниями автоматические выключатели находились в «холодном» состоянии, т. е. без предварительного пропускания тока при контрольной температуре калибровки [8]. Контрольной называют температуру окружающего воздуха, к которой относится времятоковая характеристика автоматического выключателя. Испытания проводились при любой температуре окружающей среды, а ток нагрузки корректировался относительно температуры калибровки (30 °С) на основании поправочных коэффициентов изготовителя.

По результатам проведенных испытаний были получены индивидуальные ВТХ автоматических выключателей четырех фирм, на номинальные токи расцепителей 10; 16; 20; 25 и 32 А. На рис. 4–6 представлена часть экспериментально полученных данных, позволяющая сделать соответствующие выводы.

Сравнительный анализ экспериментально полученных ВТХ и характеристик, построенных по паспортным данным изготовителей, показывает, что все испытанные автоматические выключатели соответствуют требованиям [9]. Индивидуальная ВТХ каждого автоматического выключателя лежит в пределах между нижней и верхней границами паспортной характеристики.

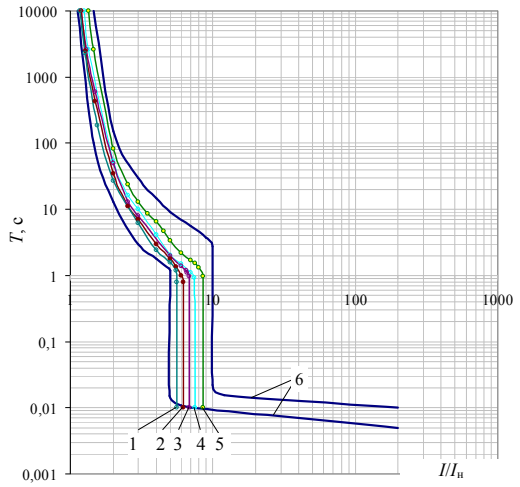


Рис. 4. Экспериментальные ВТХ ВА47-63 фирмы ЭКФ (характеристика расцепления *С*): 1 – $I_{н.расц}$ = 32 А; 2 – 25; 3 – 20; 4 – 16; 5 – 10 А; 6 – ВТХ по паспортным данным

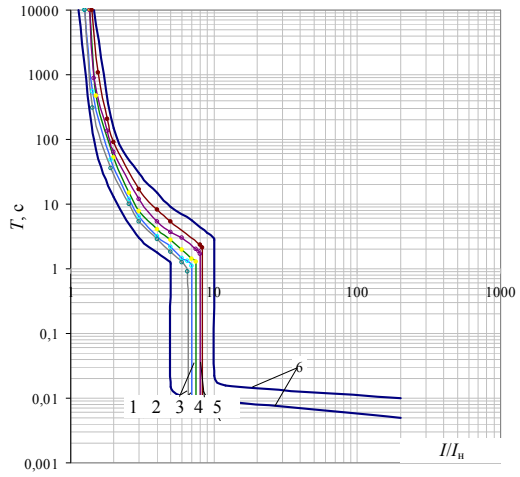


Рис. 5. Экспериментальные ВТХ ВА47-63 фирмы «Полюс» (характеристика расцепления *С*): 1 – $I_{н.расц}$ = 32 А; 2 – 25; 3 – 20; 4 – 16; 5 – 10 А; 6 – ВТХ по паспортным данным

Проводя анализ полученных в результате экспериментальных исследований данных, не-

обходимо обратить внимание на следующее: ВТХ автоматических выключателей с номинальным током расцепителя меньшего значения располагаются на графике выше ВТХ автоматического выключателя, имеющего большее значение номинального тока расцепителя (рис. 4, 5).

Времятоковые характеристики автоматических выключателей одной серии различных фирм-производителей отличаются друг от друга по времени полного отключения, а при некоторых кратностях сверхтока – и в несколько раз (рис. 6).

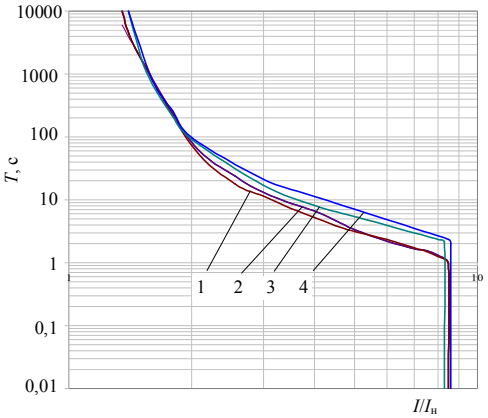


Рис. 6. Экспериментальные ВТХ АВ разных производителей, $I_{н.расц}$ = 10 А (характеристика расцепления *C*): 1 – ИЭК; 2 – Moeller; 3 – «Полюс»; 4 – ЭТП

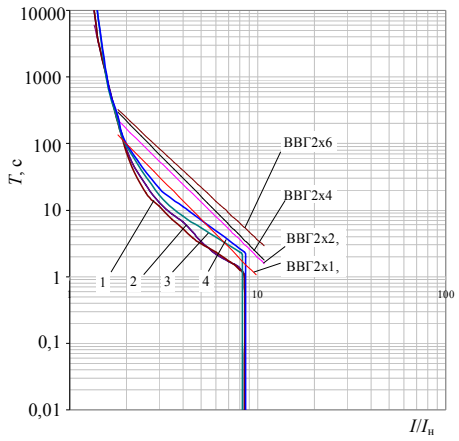
Так, при рассмотрении ВТХ, изображенных на рис. 6, можно увидеть, что при кратности сверхтока, например $5I_н$, время полного отключения автоматического выключателя фирмы ИЭК составляет около 3 с, тогда как время полного отключения автоматического выключателя фирмы ЭТП равняется 7 с, что в 2,3 раза дольше ранее указанного. По результатам экспериментальных исследований автором была разработана методика входного контроля автоматических выключателей, которая применяется в Научно-исследовательском институте пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь.

В настоящее время аппараты защиты выбираются исходя из соотношений, представленных в [7, 10]. Следует еще раз подчеркнуть, что указанные соотношения не учитывают термическое действие электрического тока на кабельные изделия. Соотношения обеспечивают лишь гарантированное срабатывание аппаратов защиты.

Представляет интерес, как согласуются ВТХ аппаратов защиты, выбранных согласно действующим техническим нормативным правовым актам, и тепловые характеристики защищаемых ими кабельных изделий. К тому же Технический кодекс установившейся практики [10] рекомендует выполнять данную проверку после выбора аппаратов защиты по изложенным в нем соотношениям.

Для упрощения расчетов сделаем допущение – расчетный ток в цепи равен длительно допустимому току для кабельных изделий указанных марок, сеть работает без кратковременных перегрузок, режим КЗ рассматривать не будем. Проведем совмещение индивидуальных ВТХ автоматических выключателей, определенных при выполнении исследований, и тепловых характеристик кабельных изделий, построенных по разработанной методике.

Проводя анализ взаимного расположения экспериментально полученных ВТХ автоматических выключателей и тепловых характеристик кабельных изделий (рис. 7), можно сделать следующие выводы: кабель ВВГ2х1,5 не защищен от пожароопасного режима при протекании сверхтока кратностью 1,8–1,9$I_н$ всеми автоматическими выключателями, выбранными в соответствии в действующими техническими нормативными правовыми актами, так как тепловая характеристика кабеля располагается на графике ниже индивидуальных ВТХ автоматических выключателей. Следовательно, время нагрева кабеля ВВГ2х1,5 до предельно допу-



стимой температуры меньше времени полного отключения автоматического выключателя.

Рис. 7. Совмещенные экспериментальные ВТХ АВ разных производителей, $I_{н.расц}$ = 10 А (характеристика расцепления *С*) и тепловые характеристики кабелей: 1 – ИЭК; 2 – Moeller; 3 – «Полюс»; 4 – ЭТП

Автоматический выключатель фирмы ЭТП не защищает кабель ВВГ2х1,5 при сверхтоке выше $5{,}3I_н$ вплоть до сработки электромагнитного расцепителя. Автоматический выключатель фирмы «Полюс» не защищает кабель ВВГ2х1,5 при сверхтоке выше $6{,}5I_н$ вплоть до сработки электромагнитного расцепителя. Выключатели фирм ИЭК и Moeller обеспечивают пожарную безопасность кабельных изделий (рис. 7).

Анализ представленных данных показывает, что существующие на сегодняшний день подходы в выборе аппаратов защиты не в полной мере обеспечивают пожарную безопасность электропроводок.

Защиту кабельной линии от пожароопасного протекания сверхтока возможно осуществить на стадии проектирования электрической сети лишь при соответствующей координации ВТХ аппарата защиты с тепловой характеристикой кабельного изделия.

Тепловая характеристика кабельного изделия должна располагаться выше ВТХ аппарата защиты во всем диапазоне работы, в этом случае время полного отключения аппарата защиты меньше времени достижения защищаемым элементом сети предельно допустимой температуры, аппарат защиты обеспечивает отключение аварийного режима в кабельном изделии.

При расположении тепловой характеристики кабельного изделия ниже ВТХ аппарата защиты пожарная безопасность кабельного изделия в аварийном режиме работы не обеспечивается. В случае расположения тепловой характеристики кабельного изделия в полосе разброса ВТХ аппаратов защиты одной серии обеспечение пожарной безопасности проводника будет зависеть от индивидуальной характеристики отдельно взятого аппарата защиты. Изложенный подход по оценке обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий положен в основу разработанной методики выбора аппаратов защиты, позволяющей учитывать время отключения и температуру проводника.

ВЫВОДЫ

1. На основании известных математических зависимостей по определению времени достижения жилой электрического проводника предельно допустимой температуры разработана методика построения тепловых характеристик кабельных изделий.

2. Выполнены экспериментальные исследования и получены новые данные по взаимному расположению времятоковых характеристик автоматических выключателей и тепловых характеристик кабельных изделий. Установлено, что нагрев жилы кабельного изделия до предельно допустимой температуры происходит при протекании сверхтока кратностью $1{,}8I_н$ и выше. Время полного отключения автоматических выключателей одной серии различных производителей может отличаться при определенных кратностях сверхтока в несколько раз. Времятоковые характеристики автоматических выключателей одной серии с номинальным током расцепителя меньшего значения располагаются на графике выше времятоковой характеристики автоматического выключателя, имеющего большее значение номинального тока расцепителя.

3. По результатам исследований разработана методика входного контроля автоматических выключателей.

4. Разработаны методики выбора автоматических выключателей и предохранителей с учетом взаимного расположения времятоковых характеристик аппаратов защиты и тепловых характеристик кабельных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **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.

2. **Аушев, И. Ю.** Выбор аппаратов защиты электропроводок с учетом времятоковых характеристик / И. Ю. Аушев // Энергетика… (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2009. – № 3. – С. 35–41.

3. **Смелков, Г. И.** Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г. И. Смелков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.

4. **Черкасов, В. Н.** Пожарная безопасность электроустановок: учеб. / В. Н. Черкасов, Н. П. Костарев. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.

5. **Айзенберг, Б. И.** Защита электрических установок плавкими предохранителями / Б. И. Айзенберг. – М., 1963. – 325 с.

6. **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, 2006. – 13 с.

7. **Правила** устройства электроустановок. – 6-е изд. – М.: ЗАО «Энергосервис», 1998. – 608 с.

8. **Аппаратура** распределения и управления низковольтная: СТБ ГОСТ Р 50030.1–2002. – Ч. 1: Общие требования и методы испытаний. – Введ. 01.01.2002. – М.: Госстандарт России, 2000. – 120 с.

9. **Автоматические** выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения: ГОСТ 30325–95 (МЭК 898–87). – Введ. 01.03.99. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1995. – 70 с.

10. **Пожарная** безопасность. Электропроводка и аппараты защиты внутри зданий. Правила устройства и монтажа: ТКП 121–2008 (02300). – Минск: НИИ ПБ и ЧС, 2008. – 28 с.

Поступила 11.11.2009