

УДК 621.316.9

МЕТОДИКА ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДОК

Канд. техн. наук, доц. МИСЮКЕВИЧ Н. С., инж. АУШЕВ И. Ю.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

Анализ противопожарного состояния промышленных предприятий, общественных и жилых зданий показывает, что их безопасная эксплуатация во многом зависит от правильного, с точки зрения нагрева, выбора сечений токоведущих жил кабельного изделия и эффективной защиты электрооборудования аппаратами защиты [1]. При эксплуатации электротехническое оборудование и кабельные изделия находятся под напряжением. Поэтому они являются потенциальным источником пожарной опасности. Недооценка степени пожарной опасности кабельных изделий приводит к пожарам и авариям [2]. В различных отраслях промышленности и народного хозяйства происходят пожары, причинами которых служат перегрузки кабельных изделий. Безопасная эксплуатация кабельных изделий во многом зависит от эффективной работы аппаратов защиты. Использование аппаратов защиты технически эффективно и экономически оправдано, однако их применение невозможно без оценки теплового воздействия протекающего сверхтока на кабельные изделия [3].

Аппараты защиты служат для ограничения времени действия токов короткого замыкания и перегрузки. Таким образом они предотвращают пожароопасные последствия этих процессов. В связи с этим вопрос гарантированного качества и надежности работы аппаратов защиты является неотъемлемой частью комплекса мер по снижению количества пожаров в электрических сетях и последствий от них [3].

Из литературных источников [3–6] известно, что основной функциональной характеристикой любого аппарата защиты электрических проводов является его времятоковая характеристика (ВТХ). В паспорте обычно приводится типовая ВТХ, т. е. относящаяся не к одному аппарату защиты, а к серии подобных. Однако в связи с существенными отклонениями от средних значений характеристик, доходящих до 20 %, 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 преде-

лах которой лежит возможное время отключения аппарата защиты заданной серии. 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 [3].

Представляет интерес, насколько может отличаться время полного отключения аппаратов защиты одной серии, но разных производителей. Это потребовало проведения экспериментальных исследований по определению ВТХ аппаратов защиты. По результатам проведенных экспериментальных исследований на основании разработанных подходов по определению ВТХ автоматических выключателей (АВ) совместно с работниками Учреждения образования «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь была разработана методика входного контроля аппаратов защиты электропроводок.

Оценка защитных характеристик автоматических выключателей. Рассмотрим АВ с комбинированным расцепителем как наиболее часто применяемый вид для защиты электрических сетей от перегрузок и коротких замыканий (КЗ). В целом ВТХ такого АВ можно подразделить на два участка работы – участок с обратозависимой выдержкой по времени срабатывания расцепителя, описывающий отключение АВ в случае больших токовых перегрузок, и участок с мгновенным действием расцепителя, описывающий отключение в случае появления токов КЗ [3, 5].

Наличие этих двух участков объясняется наличием в АВ двух, независимых друг от друга и кардинально отличающихся по принципу действия расцепителей – теплового (традиционно конструируется на основе биметаллической пластины, состоящей из двух металлов с различными коэффициентами линейного расширения) и электромагнитного (традиционно конструируется на основе катушки электромагнита с подвижным сердечником).

В зависимости от назначения АВ (бытовое или промышленное) на ВТХ существуют несколько рабочих точек, определяющих его работу (табл. 1–4).

В табл. 1 представлены характеристики срабатывания АВ бытового назначения с обратно-

зависимой выдержкой времени теплового расцепителя [7].

Таблица 1

Характеристики срабатывания выключателей бытового назначения с обратозависимой выдержкой времени теплового расцепителя

Испытательный ток, А	Начальное состояние	Пределы времени расцепления или нерасцепления	Требуемый результат
$1,13I_n$	Холодное	$t \geq 1$ ч (при $I_n \leq 63$ А); $t \geq 2$ ч (при $I_n > 63$ А)	Без расцепления
$1,45I_n$	Нагретое	$t < 1$ ч (при $I_n \leq 63$ А); $t < 2$ ч (при $I_n > 63$ А)	Расцепление
$2,55I_n$	Холодное	$1 \text{ с} < t < 60 \text{ с}$ (при $I_n \leq 32$ А); $1 \text{ с} < t < 120 \text{ с}$ (при $I_n > 32$ А)	Расцепление

Проведем анализ характерных значений кратности сверхтока на участке работы теплового расцепителя.

Если через замкнутый АВ, находящийся в холодном состоянии, начать пропускать ток указанной величины, то отключение АВ с номинальным током до 63 А включительно не происходит в течение одного часа и более, для АВ с номинальным током свыше 63 А – в течение двух часов и более.

Термин «холодное» означает отсутствие предварительного пропускания тока при контрольной температуре калибровки [7], т. е. температура всех его токоведущих частей должна быть равна температуре окружающего воздуха. Контрольной температурой калибровки называют температуру окружающего воздуха, к которой относится ВТХ АВ [7].

Если через замкнутый АВ, находящийся в нагретом состоянии, начать пропускать ток указанной величины, то отключение АВ с номинальным током до 63 А включительно происходит за время менее одного часа, а для АВ с номинальным током свыше 63 А – за время менее двух часов. При этом изначально АВ должен находиться в нагретом состоянии, т. е. по истечении условного времени нерасцепления значение тока в течение 5 с непрерывного нарастания повышают до условного тока расцепления. Срабатывание расцепителя АВ произойдет в течение оговоренного времени.

Если через замкнутый АВ, находящийся в холодном состоянии, протекает ток данной величины, то расцепление АВ с номинальным током до 32 А включительно происходит в течение времени от 1 с до 1 мин, а для АВ с номинальным током свыше 32 А – от 1 с до 2 мин.

Аналогичные характерные точки имеются и на ВТХ АВ промышленного назначения (табл. 2) [8].

Таблица 2

Характеристики срабатывания выключателей промышленного назначения с обратной зависимой выдержкой времени теплового расцепителя

Испытательный ток, А	Начальное состояние	Пределы времени расцепления или нерасцепления	Требуемый результат
$1,05I_n$	Холодное, нагружены все полюса	$t \geq 1$ ч (при $I_n \leq 63$ А); $t \geq 2$ ч (при $I_n > 63$ А)	Без расцепления
$1,3I_n$	Нагретое, нагружены все полюса	$t < 1$ ч (при $I_n \leq 63$ А); $t < 2$ ч (при $I_n > 63$ А)	Расцепление

По диапазонам тока мгновенного расцепления [7] классифицируют АВ бытового назначения на аппараты характеристиками электромагнитного расцепителя, представленными в табл. 3.

Таблица 3

Классификация АВ по стандартным диапазонам мгновенного расцепления

Тип расцепления	Диапазон расцепления
<i>B</i>	Свыше $3I_n$ до $5I_n$ включительно
<i>C</i>	Свыше $5I_n$ до $10I_n$ включительно
<i>D</i>	Свыше $10I_n$ до $50I_n$ включительно

Для участка ВТХ, описывающего работу электромагнитного расцепителя, характерными являются точки минимального и максимального значений тока мгновенного расцепления (табл. 4).

Рассмотрим характерные значения кратности сверхтока на участке работы электромагнитного расцепителя.

Таблица 4

Характеристики срабатывания выключателей бытового назначения с мгновеннодействующим расцепителем

Значения тока мгновенного расцепления	Тип защитной характеристики	Испытательный ток I_n , А	Начальное состояние	Пределы времени расцепления или нерасцепления	Требуемый результат
Минимальные	<i>B</i>	3	Холодное	$t \geq 0,1$ с	Без расцепления
	<i>C</i>	5			
	<i>D</i>	10			
Максимальные	<i>B</i>	5	Холодное	$t < 0,1$ с	Расцепление
	<i>C</i>	10			
	<i>D</i>	50			

1. Точки $3I_n$, $5I_n$ и $10I_n$ (соответственно для защитных характеристик *B*, *C* и *D*). Если при контрольной температуре калибровки через замкнутый АВ протекает ток указанной величины, то независимо от номинального тока АВ расцепление контактов не происходит в течение времени, равного 0,1 с и более.

2. Точки $5I_n$, $10I_n$ и $50I_n$ (соответственно для защитных характеристик *B*, *C* и *D*). Если при контрольной температуре калибровки через замкнутый АВ протекает ток указанной величины, то независимо от номинального тока АВ расцепление контактов происходит в течение менее 0,1 с.

При протекании тока АВ, меньшего нижней границы, срабатывание электромагнитного расцепителя не происходит. При протекании тока, большего верхней границы, происходит срабатывание электромагнитного расцепителя АВ.

Некоторые производители, как правило, импортных аппаратов дают дополнительные ВТХ на выпускаемые аппараты: *A*, *Z*, *K* и т. д. В этом случае они обязаны регламентировать характеристики тока отсечки таких АВ, так как данные характеристики не указаны в ТНПА [5].

Анализируя характерные точки и время отключения различных АВ одной серии на участках работы теплового и электромагнитного расцепителей, можно сделать вывод о наличии различного разброса времени срабатывания АВ при разных значениях сверхтока.

Экспериментальная установка для определения ВТХ АВ. Экспериментальные исследования проводились на базе Государственного учреждения «Научно-исследовательский инсти-

тут пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь на установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

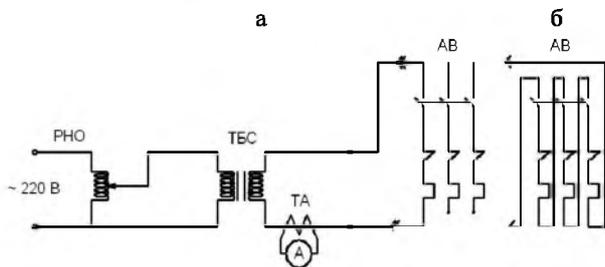


Рис. 1. Принципиальная схема установки для испытания расцепителей автоматических выключателей: а – электромагнитных; б – тепловых; АВ – испытуемый автоматический выключатель; РНО – однофазный автотрансформатор; ТБС – понижающий трансформатор; ТА – трансформатор тока; А – амперметр

При наружном осмотре проверяли отсутствие повреждений основания кожуха и крышки автомата, проводили несколько включений и отключений вручную, тем самым проверяя работоспособность расцепителей. Крышки АВ не открывали, расцепители не регулировали.

АВ закрепляли при помощи DIN-рейки на фанерном щите толщиной 20 мм, окрашенном в матовый черный цвет. Выключатель соединялся с источником нагрузки одножильным медным кабелем в поливинилхлоридной изоляции. Характеристики испытательных кабелей приведены в табл. 5. Соединения размещались на открытом воздухе.

Таблица 5

Площади поперечного сечения S испытательных медных проводников в зависимости от номинального тока I_n

$S, \text{ мм}^2$	Значение номинального тока $I_n, \text{ А}$
1,5	$6 < I_n \leq 13$
2,5	$13 < I_n \leq 20$
4	$20 < I_n \leq 25$
6	$25 < I_n \leq 32$

Минимальная длина каждого соединения от вывода до вывода составляла [7]:

1 м – при поперечных сечениях до 10 мм² включительно;

2 м – при поперечных сечениях свыше 10 мм².

Испытания выполняли однофазным током при номинальной частоте (с допуском ± 5 Гц) и номинальном напряжении. Перед испытаниями АВ находились в холодном состоянии. Испытания проводили при любой температуре окружающей среды, а ток нагрузки корректировали относительно температуры калибровки (30 °С) на основании поправочных коэффициентов изготовителя АВ.

При проведении испытаний нагрузочный ток поддерживался на заданной величине (допустимое отклонение – не более 2 %), тем самым обеспечивался наиболее быстродействующий режим работы АВ с точки зрения времени его расцепления. При протекании электрического тока через АВ часть выделяемой им тепловой энергии расходовалась на нагревание расцепителя и элементов АВ. Если не поддерживать нагрузочный ток на заданной величине, то с течением времени значение силы тока в цепи уменьшится в связи с увеличением сопротивления элементов АВ. Если уменьшается значение силы тока, протекающего через АВ, следовательно, увеличивается время, необходимое для нагревания расцепителя АВ, и время его полного отключения.

ВТХ АВ с тепловыми расцепителями определялись при последовательном соединении каждой фазы (при числе фаз две и более) автомата по схеме, приведенной на рис. 1б, в следующей последовательности:

1. Через холодный АВ пропускали условный ток нерасцепления ($1,13I_n$) в течение 1 ч для АВ с номинальным током до 63 А включительно. По истечении контрольного времени в течение 5 с нагрузочный ток непрерывно повышался до условного тока расцепления ($1,45I_n$). Проводили фиксацию времени сработки АВ с помощью секундомера.

2. Через холодный АВ пропускали нагрузочный ток $2I_n$. Фиксировали время сработки АВ с помощью секундомера.

3. Через холодный АВ пропускали нагрузочный ток $2,55I_n$. Фиксировали время сработки АВ с помощью секундомера.

4. Через холодный АВ пропускали нагрузочный ток с шагом I_n , начиная с $3I_n$. Проводили фиксацию времени сработки АВ с помощью секундомера.

5. Через холодный АВ пропускали нагрузочный ток, соответствующий максимальному значению тока перегрузки для участка работы

теплового расцепителя, определенного по верхней границе ВТХ АВ. Фиксировали время сработки АВ с помощью секундомера.

ВТХ АВ, имеющего только электромагнитный расцепитель, определяли при поочередной нагрузке испытательным током каждой фазы (при числе фаз две и более) автомата (рис. 1а).

Нагрузочный ток повышался с шагом I_n от нижнего до верхнего предела тока мгновенного расцепления для выключателей типов В, С, D и аналогичных, указанных в паспортных данных АВ. Фиксацию времени сработки АВ проводили с помощью секундомера. При определении времени срабатывания электромагнитного расцепителя (для АВ с комбинированным расцепителем) нагрузочный ток повышался быстро, для того чтобы не успел сработать тепловой расцепитель.

При проверке тепловых и электромагнитных расцепителей полюса АВ перед каждым испытанием находились в холодном состоянии.

В процессе испытаний каждого образца был построен график зависимости

$$\tau_{ав} = f(III_n), \quad (1)$$

где $\tau_{ав}$ – время полного отключения АВ, с; III_n – кратность сверхтока.

По результатам исследований были получены индивидуальные ВТХ однополюсных АВ бытового назначения, имеющих характеристику расцепления С [7], пяти различных производителей.

С целью оценки качества и надежности срабатывания АВ проведем сравнение экспериментально полученных ВТХ с характеристиками, представленными в паспортных и каталожных данных для выбранных АВ [9].

Для этого в единой логарифмической системе координат сопоставим экспериментально полученные ВТХ с паспортными характеристиками и проанализируем их взаимное расположение (рис. 2–6).

Сравнительный анализ экспериментально полученных ВТХ и характеристик по паспортным данным изготовителей свидетельствует о том, что все испытанные АВ соответствуют требованиям [7]. Индивидуальная ВТХ каждого АВ лежит в пределах между нижней и верхней границами паспортной характеристики.

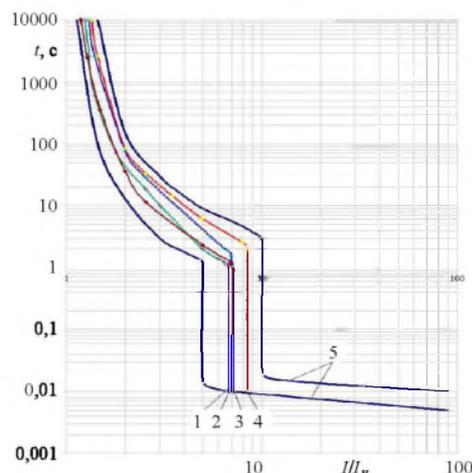


Рис. 2. Экспериментальные ВТХ ВА47-63 производства фирмы ЭКФ: 1 – $I_{н,расц} = 20$ А; 2 – 25; 3 – 16; 4 – 32 А; 5 – ВТХ по паспортным данным

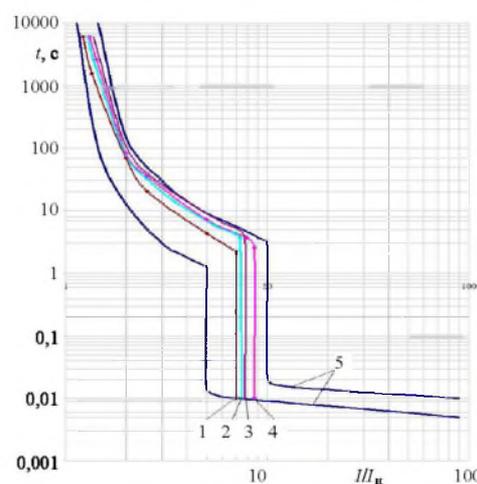


Рис. 3. Экспериментальные ВТХ PL6 производства фирмы Moeller: 1 – $I_{н,расц} = 16$ А; 2 – 25; 3 – 20; 4 – 32 А; 5 – ВТХ по паспортным данным

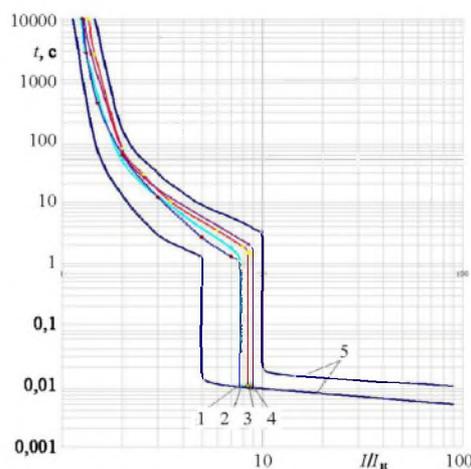


Рис. 4. Экспериментальные ВТХ ВА47-63 производства фирмы ИЭК: 1 – $I_{н,расц} = 20$ А; 2 – 25; 3 – 32; 4 – 16 А; 5 – ВТХ по паспортным данным

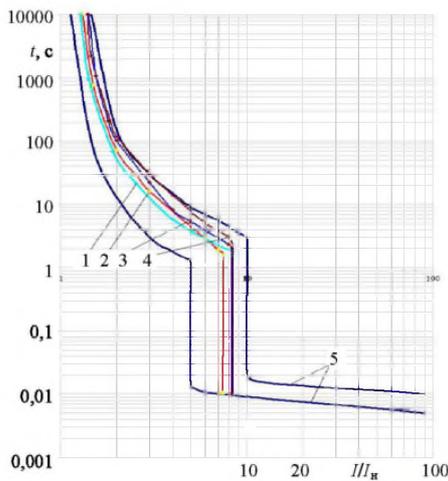


Рис. 5. Экспериментальные ВТХ ВА47-63 производства фирмы «Полос»: 1 – $I_{н.расц} = 16$ А; 2 – 20; 3 – 32; 4 – 25 А; 5 – ВТХ по паспортным данным

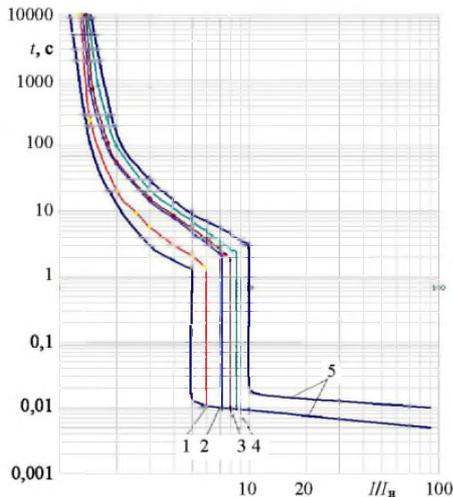


Рис. 6. Экспериментальные ВТХ ВА47-63 производства фирмы ЭТП: 1 – $I_{н.расц} = 16$ А; 2 – 20; 3 – 25; 4 – 32 А; 5 – ВТХ по паспортным данным

Для нахождения разницы по времени полного отключения АВ одной серии, но разных производителей сопоставим в единой логарифмической системе координат экспериментально полученные ВТХ АВ с одинаковыми номинальными токами расцепителей и проанализируем их взаимное расположение (рис. 7–10).

Проанализировав взаимное расположение ВТХ АВ одной серии (рис. 7–10), следует сделать вывод о том, что ВТХ АВ различных фирм-производителей отличаются друг от друга по времени полного отключения, а при некоторых кратностях сверхтока – в несколько раз.

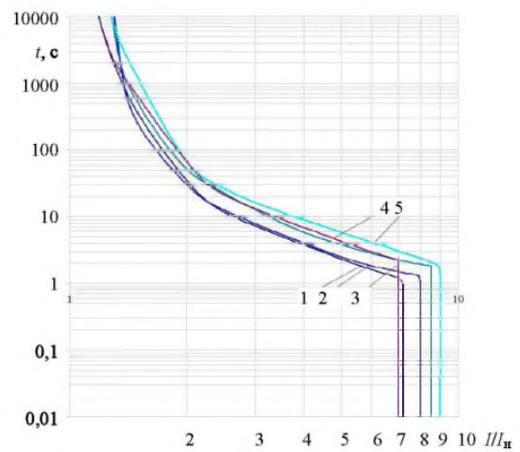


Рис. 7. Экспериментальные ВТХ АВ разных производителей, номинальный ток расцепителей 16 А: 1 – ЭКФ; 2 – ЭТП; 3 – «Полос»; 4 – Moeller; 5 – ИЭК

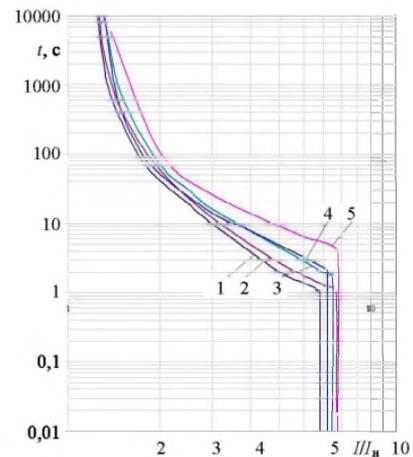


Рис. 8. Экспериментальные ВТХ АВ разных производителей, номинальный ток расцепителей 20 А: 1 – ЭКФ; 2 – ИЭК; 3 – «Полос»; 4 – ЭТП; 5 – Moeller

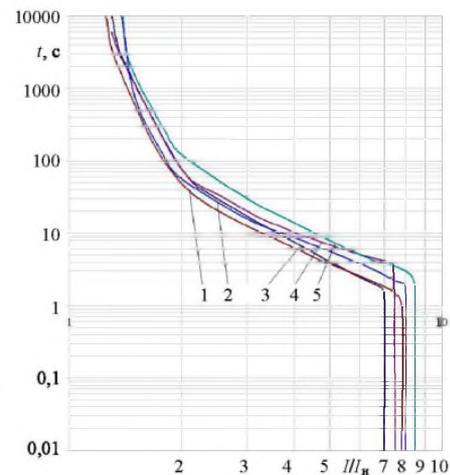


Рис. 9. Экспериментальные ВТХ АВ разных производителей, номинальный ток расцепителей 25 А: 1 – ИЭК; 2 – ЭТП; 3 – ЭКФ; 4 – Moeller, 5 – «Полос»

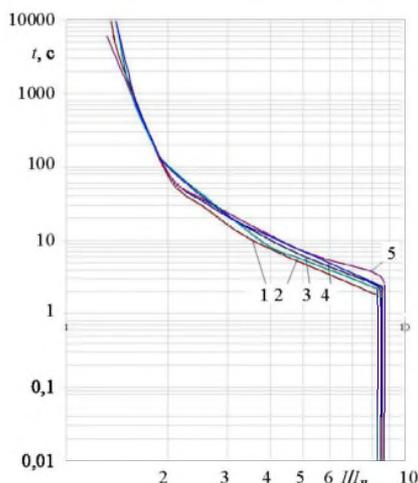


Рис. 10. Экспериментальные ВТХ АВ разных производителей, номинальный ток расцепителей 32 А: 1 – ИЭК; 2 – «Полус»; 3 – ЭКФ; 4 – ЭТП; 5 – Moeller

Так, при рассмотрении ВТХ, изображенных на рис. 8, можно увидеть, что при кратности сверхтока I/I_n время полного отключения АВ фирмы «ЭКФ» составляет около 2 с, в то время как время полного отключения АВ фирмы Moeller равняется 9 с, что в 4,5 раза дольше ранее указанного. При одних и тех же условиях работы АВ (температура окружающей среды, количество полюсов АВ) защищаемый ими проводник будет находиться в различных температурных режимах работы.

Из графиков видно (рис. 7–10), что с увеличением номинального тока расцепителей АВ разброс средних значений времени полного отключения уменьшается. Об этом же говорится в литературных источниках [1, 3].

Установленная в результате экспериментальных исследований разница по времени срабатывания АВ может существенно влиять на пожарную безопасность кабельных изделий. С уменьшением номинального тока расцепителей АВ разброс средних значений ВТХ увеличивается, в то время как для кабельных изделий малого сечения даже небольшие по величине перегрузки являются пожароопасными. Это необходимо учитывать при выборе аппаратов защиты электрических проводов.

ВЫВОДЫ

1. Проведены экспериментальные исследования и получены новые данные по взаимному расположению времятоковых характеристик однополюсных автоматических выключателей бытового назначения серии ВА47-63 (номинальные токи расцепителей 16; 20; 25 и 32 А) с характеристикой расцепления *C* разных фирм-производителей.

2. Впервые экспериментально установлено, что время полного отключения автоматических выключателей одной серии различных производителей может отличаться при разных кратностях сверхтока в несколько раз. С уменьшением номинального тока расцепителя разброс по времени полного отключения автоматических выключателей различных фирм-производителей увеличивается.

3. Времятоковые характеристики автоматических выключателей непосредственно влияют на пожарную безопасность защищаемых кабельных изделий, и этот факт необходимо учитывать при выборе аппаратов защиты.

4. Разработана и применяется в практической деятельности Учреждения образования «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь методика входного контроля аппаратов защиты электропроводок.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Беляев, А. В.** Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ / А. В. Беляев. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.
2. **Смелков, Г. И.** Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г. И. Смелков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
3. **Черкасов, В. Н.** Пожарная безопасность электроустановок: учеб. / В. Н. Черкасов, Н. П. Костарев. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.
4. **Янукович, Г. И.** Расчет токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов / Г. И. Янукович. – Минск: БГАТУ, 2007. – 215 с.
5. **Выключатели** автоматические. Общие технические условия: ГОСТ 9098–1993. – Введ. 01.07.96. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1993. – 33 с.
6. **Аппаратура** распределения и управления низковольтная. Ч. 2. Автоматические выключатели: ГОСТ 30011.2–2002 (МЭК 60947–2–98). – Введ. 19.03.03. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 97 с.
7. **Автоматические выключатели** для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения: ГОСТ 30325–1995 (МЭК 898–87). – Введ. 22.07.98. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1995. – 87 с.
8. **Аппаратура** распределения и управления низковольтная. – Ч. 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.
9. **Все об электротехнике** в одном месте [Электронный ресурс]: Электрон. дан. (127 Мб). – М.: iElectro, 2006. – Электрон. опт. диски (CD-ROM): Автоматические выключатели – 1 диск; Предохранители – 1 диск.
10. **Лившиц, Д. С.** Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 В / Д. С. Лившиц. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 42 с.

Поступила 10.02.2010