

## ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ВРЕМЯТОКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

АУШЕВ И. Ю.

*Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь*

В настоящее время анализ причин пожаров показывает, что наиболее пожароопасный вид электроустановок – кабельные изделия, а наиболее распространенные причины их пожарной опасности – перегрузки и короткие замыкания. В Республике Беларусь в среднем 20 % пожаров возникает по этим причинам [1].

Одним из основных пожароопасных проявлений электрического тока является то, что при его протекании по токоведущим жилам кабельного изделия последние нагреваются. При больших кратностях аварийного тока (токах перегрузки и КЗ) происходит значительное выделение тепловой энергии. В связи с этим возможен нагрев токоведущих жил и изоляционных покрытий кабельного изделия до температуры самовоспламенения изоляции [2–6].

Предотвратить воспламенение изоляции кабельных изделий можно путем выбора сечений токопроводящих жил по ПУЭ, а также быстрого отключения поврежденного участка аппаратами защиты еще на стадии проектирования электрических сетей. Принцип построения защиты заключается во взаимном расположении времятоковой характеристики (ВТХ) аппарата защиты (автоматического выключателя или предохранителя) и ВТХ кабельного изделия. ВТХ кабельного изделия должна располагаться выше ВТХ аппарата защиты [2, 3, 7, 8].

Изложенный выше принцип построения защиты кабельной линии от воспламенения изоляции проверен экспериментальными исследованиями, проведенными ВНИИПО МЧС России [5, 6]. На специальном стенде моделировались различные аварийные режимы в проводах АПВ  $1 \times 2,5 \text{ мм}^2$  и АПВ  $1 \times 6 \text{ мм}^2$ , защищаемых автоматическим выключателем или предохранителем. Полученные экспериментальные данные хорошо коррелируются с взаимным расположением времятоковых характеристик воспламенения изоляции кабельных изделий и времятоковых характеристик аппаратов защиты, используемых в экспериментах. Таким образом, зная времятоковую характеристику воспламенения изоляции кабельного изделия, можно выполнить защиту кабельных линий и электропроводок от воспламенения средствами аппаратов защиты, применяемых в распределительных сетях до 1 кВ – автоматическим выключателем или предохранителем [3].

Проанализировав работы [4–6], отметим, что при построении защиты кабельной линии авторами используются ВТХ воспламенения изоляции электропроводки. Воспользовавшись методом совмещения ВТХ, можно заключить, что к тому моменту времени, когда выбранный аппарат защиты должен будет отключить защищаемый проводник, температура нагрева жилы уже может достигнуть такой, при которой произойдет воспламе-

нение изоляции. Так, в [3] автор указывает: «В случае применения автоматического выключателя ВА51-25 при кратности аварийных токов  $9-16I_n$  существует большая вероятность того, что некоторые выключатели данной серии из-за разброса времятоковых характеристик не успеют отключить защищаемый проводник». Происходит воспламенение изоляции провода, что в свою очередь может привести к развитию пожароопасной ситуации в защищаемой электрической сети.

Поэтому логично предположить, что при построении защиты кабельной линии нельзя ориентироваться на температуру воспламенения изоляции, так как после достижения данной температуры, даже если аппарат защиты через небольшой интервал времени отключит сеть и не даст развиваться пожароопасной ситуации, защищаемый проводник необходимо заменить на новый. А это ведет к дополнительным экономическим затратам.

При выборе аппаратов защиты с учетом ВТХ кабельного изделия целесообразно использовать предельно допустимую температуру нагрева проводника, указанную для конкретного материала изоляции в нормативных документах [9, 10].

При превышении предельно допустимой температуры нагрева проводника прежде всего изменяются свойства механической прочности его изоляции. При потере механической прочности (размягчении изоляции) возможно смещение жил относительно друг друга, что может привести к короткому замыканию между жилами, между жилой и корпусом электроустановки и соответственно к возникновению пожароопасной ситуации.

Отключив проводник в аварийном режиме до достижения им предельно допустимой температуры, мы обеспечим отсутствие механических изменений в кабельном изделии и возможность его дальнейшей эксплуатации. Для того чтобы воспользоваться данным принципом, необходимо знать ВТХ аппаратов защиты и кабельных изделий. ВТХ аппаратов защиты являются технической характеристикой изделия и приводятся в каталогах или паспортах для заданной серии в виде логарифмических графиков.

ВТХ кабельных изделий остаются неизвестными. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по определению ВТХ кабельных изделий. Исследования проводились по методике [11] на испытательной установке (рис. 1). Проводники марок ВВГ  $2 \times 2,5$ , ВВГ  $2 \times 4$  и ВВГ  $2 \times 6$  нагружались сверхтоком в диапазоне от  $1,2I_n$  до  $3,6I_n$ .

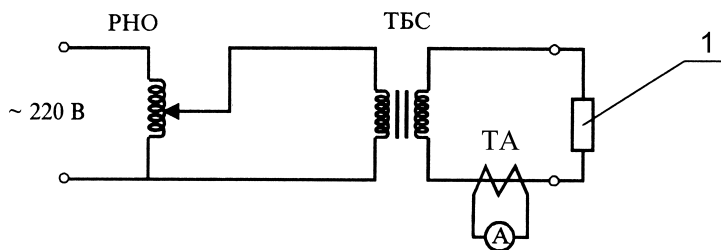


Рис. 1. Принципиальная схема установки: 1 – испытуемый проводник; РНО – однофазный автотрансформатор; ТБС – понижающий трансформатор; ТА – трансформатор тока; А – амперметр

Экспериментально установлено, что при температуре жилы 160 °С происходит термическое разложение (плавление) изоляции провода. Данная температура нагрева жилы является критической для изоляции провода, так как при ее превышении дальнейшая безопасная эксплуатация проводника невозможна. Достижение проводником критической температуры происходит при протекании сверхтока кратностью  $1,8I_n$  и выше.

На основании проведенных натурных исследований ВТХ электрических кабелей марок ВВГ 2×2,5, ВВГ 2×4 и ВВГ 2×6 были определены временные интервалы достижения жилой критической температуры (160 °С) при кратностях тока перегрузки от  $1,8I_n$  до  $3,6I_n$ . Испытания проводились на открыто проложенных проводниках, номинальный ток нагрузки определялся в соответствии с [9].

Для оценки существующей методики выбора аппаратов защиты с точки зрения обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий при перегрузках выберем аппараты защиты для кабелей марок ВВГ 2×2,5; ВВГ 2×4 и ВВГ 2×6 согласно ПУЭ. Для упрощения расчетов сделаем допущение – расчетный ток в цепи равен длительно допустимому току для проводов указанных марок, сеть работает без кратковременных перегрузок, режим КЗ рассматривать не будем.

Проведем выбор автоматических выключателей и устройств защитного отключения со встроенной защитой от сверхтоков. Выбор аппаратов защиты будем проводить для проводников с поливинилхлоридной изоляцией.

Аппараты защиты должны удовлетворять следующим условиям [7–9]:

1. Номинальные токи автомата  $I_{н.а}$  и расцепителей  $I_{н.эл.м; н.тепл}$  должны быть больше или равны расчетному току  $I_p$  сети:  $I_{н.а} \geq I_p$ ;  $I_{н.эл.м; н.тепл} \geq I_p$ .

2. Автоматы должны отключать сеть при длительных перегрузках.

При защите сетей автоматическим выключателем, имеющим только электромагнитный расцепитель:

- для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией

$$I_{ср.эл.м} / I_{доп} \leq 0,8; \quad (1)$$

- для проводников, прокладываемых в невзрывоопасных производственных помещениях промышленных предприятий, а также для кабелей с бумажной изоляцией

$$I_{ср.эл.м} / I_{доп} \leq 1. \quad (2)$$

При защите сетей автоматическим выключателем, имеющим регулирующую токовую характеристику теплового расцепителя для проводников всех марок:

$$I_{н.тепл} / I_{доп} \leq 1. \quad (3)$$

При защите сетей автоматическим выключателем, имеющим регулирующую токовую характеристику теплового расцепителя, для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией

$$I_{\text{ср.тепл}} / I_{\text{доп}} \leq 1. \quad (4)$$

В соответствии с формулами (1)–(4) для кабеля марки ВВГ 2×2,5 подходят автоматические выключатели со следующими характеристиками:

1)  $I_{\text{н.а}} \geq 30 \text{ A}$ ;  $I_{\text{н.эл.м; н.тепл}} \geq 30 \text{ A}$ ;

2)  $I_{\text{ср.эл.м}} \leq 30 \text{ A}$  ( $0,8 \cdot 30 = 24 \text{ A}$  – для автоматических выключателей, имеющих только электромагнитный расцепитель);  $I_{\text{ср.тепл}} \leq 30 \text{ A}$ .

Для кабеля марки ВВГ 2×4 подходят автоматические выключатели со следующими характеристиками:

1)  $I_{\text{н.а}} \geq 41 \text{ A}$ ;  $I_{\text{н.эл.м; н.тепл}} \geq 41 \text{ A}$ ;

2)  $I_{\text{ср.эл.м}} \leq 41 \text{ A}$  ( $0,8 \cdot 41 = 32,8 \text{ A}$ );  $I_{\text{ср.тепл}} \leq 41 \text{ A}$ .

Для кабеля марки ВВГ 2×6 подходят автоматические выключатели со следующими характеристиками:

1)  $I_{\text{н.а}} \geq 50 \text{ A}$ ;  $I_{\text{н.эл.м; н.тепл}} \geq 50 \text{ A}$ ;

2)  $I_{\text{ср.эл.м}} \leq 50 \text{ A}$  ( $0,8 \cdot 50 = 40 \text{ A}$ );  $I_{\text{ср.тепл}} \leq 50 \text{ A}$ .

Для проведения анализа надежности защиты проводов указанных марок автоматическими выключателями, выбранными в соответствии с ПУЭ, совместим ВТХ аппаратов защиты, взятые из паспортных данных, и проводов, полученных в результате экспериментальных испытаний. С помощью электронных таблиц Excel построены совмещенные графики в единой логарифмической системе координат (рис. 2, 3). На оси абсцисс отложено отношение ожидаемого тока в цепи  $I$  (тока перегрузки) к номинальному току расцепителя  $I_{\text{н}}$ , а на оси ординат – время полного отключения автоматического выключателя  $t$ .

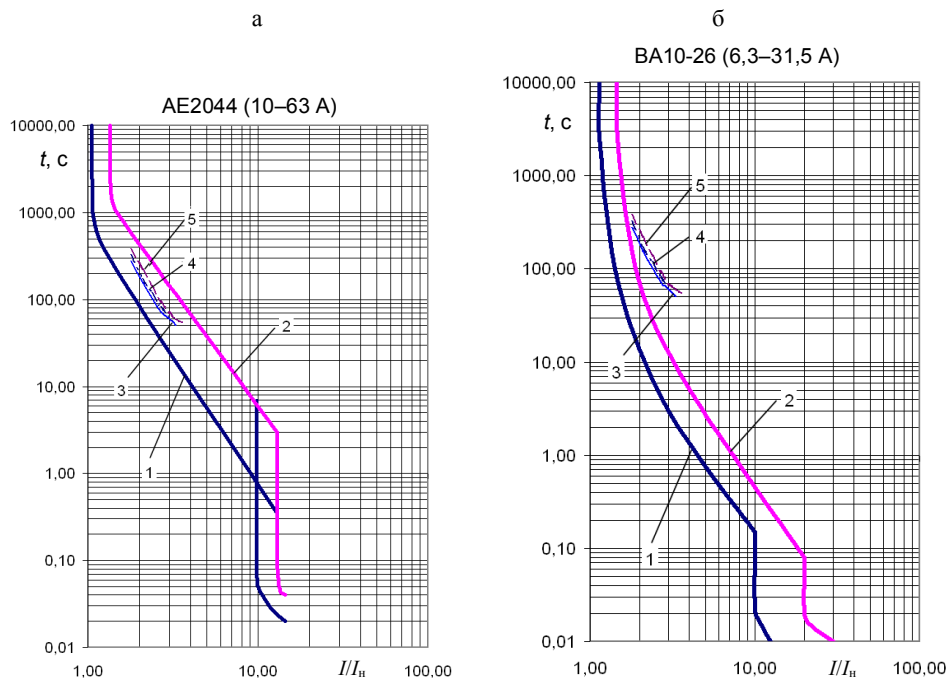


Рис. 2. Совмещенные графики времятоковых характеристик автоматических выключателей и проводников: 1 – нижняя граница ВТХ; 2 – верхняя граница ВТХ; 3 – ВВГ 2×2,5; 4 – ВВГ 2×4; 5 – ВВГ 2×6

Проследим динамику роста температуры электрического провода в зависимости от протекающего по нему тока и возможность его отключения аппаратом защиты с заданными характеристиками. Проанализировав графики, можно сделать вывод: не все автоматические выключатели, выбранные в соответствии с ПУЭ, обеспечивают своевременное отключение электропроводки при некоторых режимах перегрузки.

Так, при использовании автоматического выключателя АЕ2044 с номинальными токами расцепителей от 10 до 63 А (рис. 2а) тепловая характеристика кабелей марок ВВГ 2×2,5; ВВГ 2×4 и ВВГ 2×6 располагается между верхней и нижней границами ВТХ автомата, т. е. в зоне разброса ВТХ, в зоне неопределенности. Следовательно, с учетом разброса средних значений ВТХ появляется вероятность того, что некоторые автоматические выключатели данной серии не обеспечат своевременное отключение электропроводки до начала термического разрушения изоляции. Это приведет к быстрому разрушению изоляции и возникновению пожароопасной ситуации.

При использовании автоматического выключателя ВА10-26 с номинальными токами расцепителей от 6,3 до 31,5 А (рис. 2б) защита проводников будет обеспечена во всем диапазоне токов перегрузки – тепловая характеристика проводов лежит выше времятоковой характеристики аппарата защиты.

Устройство защитного отключения ВАД11 со встроенной защитой от сверхтоков (характеристика С) (рис. 3а), а также с номинальными токами расцепителей от 6 до 40 А обеспечивает защиту кабелей марок ВВГ 2×2,5; ВВГ 2×4 и ВВГ 2×6 во всем диапазоне токов перегрузки.

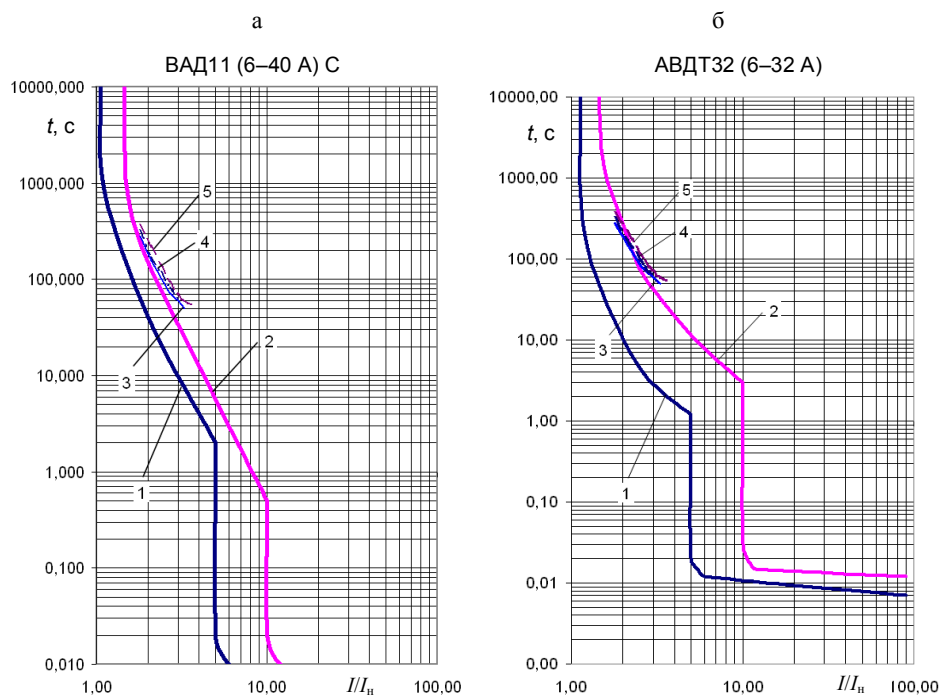


Рис. 3. Совмещенные графики времятоковых характеристик УЗО со встроенной защитой от сверхтоков и проводников: 1 – нижняя граница ВТХ; 2 – верхняя граница ВТХ; 3 – ВВГ 2×2,5; 4 – ВВГ 2×4; 5 – ВВГ 2×6

УЗО АВДТ32 с номинальными токами расцепителей 6–32 А (рис. 3б) не обеспечивают защиту проводников до токов перегрузки  $2,4I_n$ . При кратности токов перегрузки указанного выше значения времятоковая характеристика проводов лежит выше времятоковой характеристики УЗО, следовательно, защита обеспечивается.

ВТХ проводов строились при достижении жилой критической температуры 160 °С, определенной в результате экспериментальных исследований. В ПУЭ приводится значение предельно допустимой температуры нагрева изолированных проводов с медными жилами и поливинилхлоридной изоляцией, равное 150 °С. ВТХ проводов, построенные при температуре нагрева жилы 150 °С, будут располагаться еще ниже экспериментальных, что свидетельствует о невозможности существующей методики выбора аппаратов защиты обеспечить надежную, гарантированную защиту кабельных изделий. Это подтверждает анализ графиков взаимного расположения ВТХ аппаратов защиты и проводов.

С точки зрения обеспечения пожарной безопасности, значения температур электрического проводника при определенных кратностях тока перегрузки, находящиеся правее верхней границы ВТХ аппарата защиты данной серии, являются безопасными. Аппарат защиты отключит нагрузку при заданном значении кратности тока перегрузки, протекающего по токоведущей жиле, ранее нагрева жилы до пожароопасной температуры. Значения температур электрического проводника, которые находятся левее нижней границы ВТХ аппарата защиты данной серии, являются опасными. Аппарат защиты не успеет отключить нагрузку при заданном значении кратности тока, жила нагреется до пожароопасной температуры. При опасной температуре нагрева жилы в полосе между верхней и нижней границами ВТХ аппарата защиты опасная ситуация носит вероятностный характер. Часть аппаратов серии сможет отключить нагрузку, другая часть не сможет этого сделать.

Безусловное обеспечение пожарной безопасности электрических проводов возможно лишь при расположении всех точек тепловой характеристики изолированного проводника правее верхней границы ВТХ аппарата защиты выбранной серии.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что при существующем способе выбора аппаратов защиты, изложенном в ПУЭ, не все аппараты выбранной серии с одинаковой степенью эффективности защищают электропроводку от токов перегрузки.

## ВЫВОДЫ

1. С точки зрения обеспечения пожарной безопасности электропроводки, при выборе аппаратов защиты необходимо учитывать взаимное расположение ВТХ электрического проводника и ВТХ аппарата защиты;

2. При построении ВТХ кабельных изделий необходимо использовать предельно допустимую температуру, достигнув которой не происходит изменение геометрических размеров изоляции, но не температуру воспламенения или начала термической деструкции изоляции кабельного изделия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А у ш е в, 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. Г р и ш и н, Е. В. Воспламеняемость проводов при аварийных режимах / Е. В. Гришин, Г. В. Боков // Пожарное дело. – 1982. – № 1.
3. М а с л о в, А. В. Разработка методов и способов повышения пожарной безопасности распределительных сетей до 1 кВ на промышленных предприятиях: дис. ... канд. техн. наук / А. В. Маслов. – М., 2006. – 128 с.
4. М о н а х о в, А. Ф. Защитные меры электробезопасности в электроустановках / А. Ф. Монахов. – М.: Энергосервис, 2006. – 151 с.
5. С м е л к о в, Г. И. Влияние электрической защиты на пожарную опасность электропроводок / Г. И. Смелков // Пожарная профилактика в электроустановках: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1985. – С. 5–12.
6. С м е л к о в, Г. И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г. И. Смелков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
7. П о ж а р н а я безопасность. Электропроводка и аппараты защиты внутри зданий. Правила устройства и монтажа: ТКП 121–2008 (02300). – Минск: НИИ ПБ и ЧС, 2008. – 28 с.
8. Ч е р к а с о в, В. Н. Пожарная безопасность электроустановок: учеб. / В. Н. Черкасов, Н. П. Костарев. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2002. – 377 с.
9. П р а в и л а устройства электроустановок. – 6-е изд. – М.: ЗАО «Энергосервис», 1998. – 608 с.
10. Э л е к т р о у с т а н о в к и зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков: ГОСТ 30331.9–95 (МЭК 364-4-473–77). – Введ. 01.06.99. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. – 7 с.
11. М е т о д и к а экспериментального исследования пожарной опасности элементов электропроводок в зависимости от вида конструкции электропроводок, величины протекающего электрического тока, режимов работы электрической сети / Н. С. Мисюкевич [и др.] – Минск, 2006. – 13 с.

Представлена кафедрой пожарной  
аварийно-спасательной техники

Поступила 03.03.2009

УДК 621.316:631.371

### **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**Докт. техн. наук, проф. РУСАН В. И., инж. ПУХАЛЬСКАЯ О. Ю.**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого*

Под надежностью электроснабжения понимается свойство системы электроснабжения обеспечивать потребителей электроэнергией в требуемом объеме и заданного качества. К сожалению, к настоящему времени проблема обеспечения надежного электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения по-прежнему остается актуальной. В ре-