

## ОТЗЫВ

на диссертационную работу Згарбула Андрея Викторовича по теме «Обоснование параметров тепловой защиты установочных электропроводок 0,38 кВ для повышения безопасности их эксплуатации», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – Охрана труда (по отраслям)(технические науки)

### 1. Актуальность и новизна научных положений

Согласно статистическим данным во многих странах от 20% до 35% общего числа составляют пожары, которые возникают из-за нарушения правил устройства и эксплуатации электроустановок (НПУиЭ).

Так, в России в 2018 г. произошло 41763 пожара при эксплуатации электротехнических изделий, что составляет 27% от общего их числа в стране. Число погибших на пожарах по этой причине составило 1901 человек.

В Донецкой народной республике в 2016 году произошел 551 пожар из-за нарушения правил устройства и эксплуатации электроустановок (НПУиЭ) или 11,1% общего числа, из них 82,3 % в жилых зданиях. При этом в 44,6% случаев КЗ предшествовала перегрузка.

На Украине по данным 2015 года произошло 13098 пожаров из-за нарушения правил устройства и эксплуатации электроустановок (НПУиЭ) или 16,5% общего числа. Число погибших по названной выше причине составило 394 человека.

Среди электротехнических изделий наибольшую пожарную опасность занимают провода и кабели – 69,6% (по данным ФГБУ ВНИИПО МЧС России) как по количеству, так и по наносимому ущербу и числу погибших на пожаре людей.

В диссертационной работе Згарбула А.А. рассматриваются два аспекта пожарной опасности проводов и кабелей:

-воздействие на сгораемые материалы нагретых частиц металла, разбрызгивающихся в результате к.з. между проводами различных потенциалов, а также определение вероятности зажигания горючих материалов такими частицами в зависимости от высоты падения и расстояния между электропроводкой и горючим материалом;

-разлет данных частиц наблюдается на расстояния, превышающие нормируемые в Правилах пожарной безопасности на Украине (п. 5.1.29), согласно которым не разрешается складирование горючих материалов ближе 1 м от электрооборудования и под электрощитами. Остается невыясненным, как влияет высота подвески проводников относительно расположения пожароопасной среды и как эти нормы согласуются с явлением продолжительного к. з., при котором происходит разбрызгивание горячего металла и его перемещение в область горючего материала. Недостатком существующих методик определения пожароопасных параметров тепловых источников является также отсутствие универсального критерия их воспла-

меняющей способности, что существенно усложняет определение безопасного расстояния нахождения легковоспламеняющегося материала и способов защиты;

- защита участка электрической сети от пожароопасных перегрузок на основе оптимизации время - токовых характеристик в зависимости от динамики теплового режима провода, что позволяет своевременно отключать этот участок от питающей сети и тем самым предотвращать возможное появление в ней аварийных токов короткого замыкания и дальнейшие пожароопасные режимы электропроводки.

Если температура в наиболее нагретой критической точке (на границе жила-изоляция) приближается к максимально длительно допустимой температуре нагрева жилы, составляющей  $+70^{\circ}\text{C}$  для провода или кабеля с ПВХ изоляцией, то начинается процесс ее интенсивного теплового износа, т. е. тепловое старение, в результате которого может произойти тепловой пробой.

В случае же достижения температурой в указанной точке значения  $+120^{\circ}\text{C}$  появляется дым, оплавление и размягчение изоляции, что делает ее практически непригодной для дальнейшего использования в эксплуатации.

Анализ показывает, что существующие устройства защиты электропроводок зданий и сооружений, не обеспечивают полностью соблюдение противопожарных требований в режиме перегрузок в области работы обратно зависимых время - токовых характеристик, например, тепловых расцепителей модульных автоматических выключателей.

Поскольку важнейшей задачей тепловой защиты является сохранение качества изоляции, которое падает при нагреве проводника, то, как правило, максимальная температура работы защиты ограничивается допустимой температурой изоляции. Допустимая температура продолжительного режима задается классом изоляции и составляет для ПВХ пластика, полимерной композиции и резиновой изоляции –  $55^{\circ}\text{C}$ , а для жилы с той же изоляцией –  $70^{\circ}\text{C}$ . При коротком замыкании предельная температура жил кабелей не должна превышать  $160^{\circ}\text{C}$  при условии достижения этой температуры за время, не превышающее 5 с (согласно ГОСТ Р МЭК 60724-2009).

Сравнительный анализ взаимного расположения построенных по паспортным данным ВТХ автоматических выключателей, предохранителей и экспериментально полученных тепловых характеристик кабельно-проводниковых изделий сечением  $1,5..4\text{ мм}^2$  показал, что имеются зоны кратности сверхтока, где тепловая характеристика провода располагается на графике ниже индивидуальных ВТХ защитных аппаратов. Причем эти аппараты защиты выбраны в соответствии в действующими техническими нормативными правовыми актами.

Еще одним недостатком существующих защитных аппаратов является возможность перегрузки проводов и кабелей в условиях их выбора согласно ПУЭ. Это связано с тем, что надежное срабатывание предохранителей происходит при токах, превышающих  $1,6 I_{\text{ном}}$ , а автоматических выключателей -  $1,45 I_{\text{ном}}$ . Так, если проводник работает длительно с нагрузкой  $145\% I_{\text{доп}}$ , его температура может достигать  $114^{\circ}\text{C}$ , а при возникновении тока к.з., например, 780 А даже в случае отключения в области отсечки за 20 мс, его температура достигнет  $160^{\circ}\text{C}$ , т.е. входит в диапазон температур  $160-250^{\circ}\text{C}$  для кабелей с пластмассовой изоляцией, при которых кабель уже не пригоден к дальнейшей эксплуатации. Для электропроводок зданий и

сооружений, как показали эксперименты, этот диапазон температур еще меньше и может составлять 120-160 °С.

В то же время, не допуская длительную перегрузку сверх 70 °С при возникновении тока к.з. 780 А в случае отключения в области отсечки за 20 мс, его температура достигнет всего 105 °С, что сохранит пригодность кабеля к дальнейшей эксплуатации.

Разработана математическая модель, которая описывает динамические процессы экспоненциального характера нагревания защищаемой электрической проводки зданий и сооружений, отличающаяся тем, что учитывает конвективный теплообмен с поверхности провода (кабеля) в зависимости от диаметра. Это позволяет рассчитывать температуру в критической точке на границе жила-изоляция провода (кабеля), не превышающей максимально допустимой для ПВХ изоляции (70°С).

Получены зависимости тепловых характеристик электропроводок 0,38/0,22 кВ зданий и сооружений от кратности тока перегрузки, что позволяет осуществлять непрерывный мониторинг ее температуры по величине протекающего тока и отключать защищаемый участок сети до начала воспламенения изоляции.

В диссертации Згарбула А.В. на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научно-техническая задача, состоящая в получении зависимости, которая позволяет прогнозировать существующий уровень пожарной безопасности и кроме того определять причастность частиц металлов, образующихся при к.з в электропроводке, к возгоранию пожароопасной среды, а также разработан способ тепловой защиты электропроводок, отличающийся тем, что он основан на прогнозировании времени допустимой перегрузки с использованием динамической модели нагрева-охлаждения.

Это в целом позволит обеспечить нормируемый по ГОСТ 12.1.004-91 уровень вероятности пожара от электропроводок 220/380 В, как самого массового и наиболее пожароопасного вида электроустановок.

Актуальность вопросов, поставленных в работе и связанных с предупреждением пожароопасных режимов электропроводки 0,38кВ, сомнений не вызывает.

## **2. Значимость научных положений и их обоснованность**

Наиболее существенные результаты работы, их научная новизна:

2.1. Впервые получена новая аналитическая зависимость температуры воспламенения пожароопасной среды частицами малого размера (до 3 мм), которые под воздействием динамических сил вылетают из зоны дугового разряда, причем доказано, что эта температура не зависит от формы частицы при соотношении ее радиуса и длины от 0,5 до 1,5.

2.2. На основе теории случайных процессов получена новая аналитическая зависимость вероятности возгорания пожароопасной среды в электрифицированном помещении в течение времени, отличающаяся от известной в ГОСТ 12.1.004-91 тем, что учитывает вероятность появления затянувшегося короткого замыкания проводников электрической проводки 0,4/0,22 кВ, надежность автоматической системы отключения защитного коммутационного аппарата; материал проводников; высоту подвески проводников относительно расположения пожароопасной среды

на объекте; тип пожароопасной среды; расстояние пожароопасной среды до возможного места появления экзогенного источника, расчетную величину тока короткого замыкания.

2.3. Получила дальнейшее развитие математическая модель защищаемой электропроводки зданий и сооружений, которая позволяет определять ее температуру от протекающего тока в режимах динамических перегрузок и физических свойств электропроводки, а также алгоритм функционирования тепловой защиты и программный комплекс на основе построения и определения параметров температурно-токовых характеристик при изменяющейся токовой нагрузке, что дает возможность своевременного отключения защищаемой части сети, и тем самым не допускает возгорания электропроводки.

Соискатель обладает достаточно широкой научной эрудицией, что следует из значительного объема литературных источников и отражено, в частности, в состоянии вопроса в диссертации.

Обоснованность результатов и выводов работы подтверждается применением данных о статистике пожаров, причиной которых стали электротехнические изделия; математическим моделированием методом «сеток» тепловых процессов зажигания горючих веществ частицами металла при коротких замыканиях в электропроводке, а также процессов нестационарного нагрева проводов и кабелей в режиме перегрузок; экспериментальным исследованием тепловых режимов жил электропроводки и ее изоляции под действием электрического тока с последующей математической обработкой; методами проектирования и программирования микропроцессорного устройства тепловой защиты электропроводки.

### **3. Общая характеристика соискателя**

Згарбул Андрей Викторович является сотрудником ДонНТУ с 2013 г. – инженером, с 2015 г. – ассистентом, а с 2016 г. – аспирантом кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий и городов». За время работы освоил ряд учебных курсов: «Микропроцессорная техника», «Современные пакеты прикладных программ», «Противоаварийная автоматика электротехнических комплексов», «Моделирование физических процессов» и другие.

Принимал участие в выполнении трех научных работ кафедры по общему направлению «Совершенствование существующих и разработка новых методов оценки и прогнозирования пожарной опасности систем электроснабжения напряжением до 1000 В», принял активное участие в разработке способа, реализующего микропроцессорное устройство тепловой защиты электропроводки напряжением 220 В.

Имеет положительный опыт разработки статических и динамических моделей формирования возгорания и схемы минимального пожароопасного совмещения для оценки пожаробезопасности электрифицированного помещения, разработал критерий воспламеняющего действия твердых горючих материалов локальным источником ограниченной энергоемкости при КЗ в электропроводке.

В процессе работы над диссертацией проявил способности к алгоритмизации и программированию микропроцессорных устройств, в частности разработал

функциональную часть тепловой защиты и программный комплекс по определению параметров температурно-токовых характеристик электропроводки при изменяющейся токовой нагрузке. Применял специализированные языки программирования 32 разрядных микроконтроллеров STM32 (Rust), а также Python3, взаимодействие с базой данных SQLite3, за счет чего существенно повысил эффективность программных продуктов.

Основные положения диссертации опубликованы в 12 печатных работах: 6 в специальных научных журналах и сборниках, 5 в докладах и тезисах конференций, 1 нормативной методике. Подана заявка на изобретение – Патент Украины «Способ защиты распределительных электрических сетей от токов перегрузки», которая проходит квалификационную экспертизу.

Кроме того адекватность разработанных математических моделей и результатов моделирования экспериментальным данным проверялась в лаборатории взрывобезопасности и пожаробезопасности систем подземного электроснабжения и кабелей МакНИИ, г. Макеевка.

Отдельные положения диссертации получили положительную оценку главного научного сотрудника ФГБУ ВНИИПО МЧС России д. т. н., профессора Смелкова Г. И., а также докладывались на круглом столе в МакНИИ «Новые способы и средства обеспечения безопасности применения электрической энергии в шахтах».

### Заключение

Исходя из актуальности темы, уровня научной новизны, апробации основных положений, теоретической и практической значимости и полноты изложения в опубликованных трудах считаю, что диссертационная работа отвечает требованиям основных пунктов «Типового регламента...», а ее автор, Згарбул Андрей Викторович, заслуживает присуждения ему научной степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 - Охрана труда (по отраслям)(технические науки).

Научный руководитель,  
доктор техн. наук, доцент,  
профессор кафедры «Электроснабжение  
промпредприятий и городов  
ГОУ ВПО ДОННТУ»

И.А. Бершадский

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮЩАЯ  
Начальник ОК

