

М. В. АЛЕШКОВ, канд. техн. наук, доцент, академик НАНПБ, заместитель начальника по научной работе Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: info@academygps.ru)

К. П. КУЗЬМЕНКО, канд. техн. наук, заместитель технического директора ЗАО "АРТСОК" (Россия, 142301, Московская обл., г. Чехов, Вишневый б-р, 8)

В. П. ИНЧИКОВ, начальник проектного бюро ЗАО "АРТСОК" (Россия, 142301, Московская обл., г. Чехов, Вишневый б-р, 8; e-mail: artsok@artsok.com)

УДК 614.844

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Представлен анализ экспериментальных данных, полученных по результатам полномасштабных огневых испытаний автоматических установок газового пожаротушения (УГП), в том числе экспериментальные данные по снижению температуры на защищаемом объекте при выпуске диоксида углерода из УГП. Затронуты проблемы применения УГП на базе МИЖУ для противопожарной защиты объектов электроэнергетики, в частности для защиты силового оборудования на открытых площадках.

Ключевые слова: электроэнергетика; диоксид углерода; автоматическая установка газового пожаротушения; пожаробезопасность.

Быстрый рост энергопотребления в нашей стране приводит не только к ускоренному развитию энергетики, но и к повышению актуальности проблем, связанных с обеспечением пожарной безопасности электроустановок.

Пожарная опасность электрооборудования в основном обусловлена наличием в них большого количества горючих материалов вместе с источниками воспламенения, образующимися в результате перегрузок, коротких замыканий, внутренних повреждений трансформаторов, воспламенения горючих жидкостей при попадании на горячие поверхности технологического оборудования.

Наиболее пожароопасными объектами в энергетике являются: маслонаполненное электрооборудование, кабельные сооружения, маслосистемы турбоагрегатов, маслобаки и т. д. Среди перечисленного оборудования необходимо выделить силовые масляные трансформаторы, которые наиболее подвержены возгораниям. Только в Московском регионе в течение последних нескольких лет зарегистрированы пожары на силовых трансформаторах, эксплуатировавшихся на ТЭЦ-26, ТЭЦ-27 "Северная" ОАО "Мосэнерго" и т. п.

В настоящее время для защиты масляных силовых трансформаторов применяются в основном автоматические установки водяного пожаротушения различных модификаций. Статистика пожаров по-

казывает, что существующие стационарные системы пожаротушения не ликвидируют горения в начальной стадии пожара, что локализация и тушение огня обеспечиваются пожарными подразделениями. Необходимо отметить, что при одной и той же продолжительности боевого развертывания пожарных подразделений время до начала тушения пожара на объектах электроэнергетики значительно выше по сравнению с объектами, пожары на которых не связаны с электроустановками [1]. К тому же наличие соседних электроустановок под напряжением существенно влияет на безопасность работы пожарных.

В связи с этим возникает необходимость внедрения новых средств и способов противопожарной защиты на объектах энергетики, лишенных ряда недостатков существующих систем.

Анализ установок противопожарной защиты показывает, что для объектов электроэнергетики в наибольшей степени подходят установки газового пожаротушения (УГП) с использованием в качестве газового огнетушащего вещества диоксида углерода CO_2 , способные не только ликвидировать пожар в начальной стадии, но и предотвратить повторное воспламенение. Кроме того, УГП на основе CO_2 в силу теплофизических свойств последнего применяются для защиты не только помещений, но и тех-

Таблица 1. Снижение температуры ΔT на объекте после выпуска диоксида углерода

№ п/п	Характеристика объекта	Тип модуля в УГП	Объект измерения	Способ пожаротушения	ΔT , °С
1	Помещение с электроникой объемом 40,5 м ³	МГП-16-80	Воздух в помещении	Объемный	19
2	Отсек газотурбинного двигателя объемом 18 м ³	МГП-16-100	Корпус ГТД	То же	45
3	Резервуар вертикальный стальной РВС-2000	МИЖУ-16/2.2	Стенка резервуара	Поверхностный	78
4	Резервуар вертикальный стальной РВС-5000	МИЖУ-16/2.2	То же	То же	86
5	Трансформатор ТДЦ-400000/220	МИЖУ-16/2.2	Стенка трансформатора	Локальный	75
6	Помещение с резинотехническими изделиями (автомобильными шинами) объемом 740 м ³	МИЖУ-5/2.2-АП	Воздух в помещении	Объемный	124

нологического оборудования, расположенного на открытых площадках [2].

Механизм тушения CO₂ основан на снижении объемной концентрации кислорода до значения, при котором процесс горения прекращается, и на охлаждении не только зоны горения, но и защищаемого оборудования.

В табл. 1 представлены экспериментальные данные по снижению температуры на защищаемом объекте при выпуске диоксида углерода из УГП.

Анализ результатов натуральных экспериментов, представленных в табл. 1, свидетельствует о следующем:

- во-первых, при подаче CO₂ всегда происходит снижение температуры не только воздушной среды, но и оборудования, подвергающегося воздействию пламени;
- во-вторых, охлаждающий эффект в большей степени проявляется при выпуске диоксида углерода из модуля изотермического для жидкого диоксида углерода (МИЖУ), чем из модуля высокого давления МГП;
- в-третьих, чем выше температура окружающей среды в момент начала выпуска CO₂ из УГП, тем больше эффект охлаждения;
- в-четвертых, снижение температуры окружающей среды защищаемого объекта прямо зависит от продолжительности выпуска диоксида углерода.

Отмеченные свойства пожаротушения жидким диоксидом углерода учтены при масштабном распространении УГП с CO₂ на объектах ОАО “Газпром”, ОАО “АК “Транснефть”, ОАО “Новатэк”, ОАО “Лукойл”, АЭС и других отраслей промышленности.

Важной особенностью диоксида углерода являются его диэлектрические свойства, которые позволяют применять его в качестве ГОТВ для защиты объектов энергетического комплекса, трансформа-

торных подстанций и другого оборудования под напряжением.

Несмотря на положительный опыт эксплуатации установок газового пожаротушения, существует ряд факторов, сдерживающих более широкое внедрение и развитие данного направления пожаротушения для объектов топливно-энергетического комплекса страны:

- в настоящее время рекомендована к применению только методика гидравлического расчета установки углекислотного пожаротушения низкого давления на основе изотермических резервуаров;
- отсутствует методика гидравлического расчета установок углекислотного пожаротушения высокого давления на основе модулей газового пожаротушения;
- наблюдается расхождение экспериментальных данных с расчетными значениями, полученными с помощью существующей методики;
- инерционность подачи CO₂ ограничивается временем, равным 15 с;
- само понятие инерционности для установок газового пожаротушения носит декларативный характер.

Выполнение гидравлических расчетов при проектировании объектов защиты до настоящего времени остается весьма сложным и трудоемким процессом [3, 4]. В основном расчеты производятся по методике гидравлического расчета установок углекислотного пожаротушения на основе модулей изотермических [2] или по компьютерным программам, основанным на методиках, разработанных производителями оборудования газового пожаротушения.

Методика, представленная в [2] для изотермических резервуаров, является полуэмпирической и описывает в большей степени установившийся квазистационарный процесс. Однако движение CO₂ происходит в виде газожидкостной смеси с весьма

сложными явлениями, возникающими при течении двухфазной среды по разветвленному трубопроводу. Поэтому многие аналитические выражения, принятые в методике гидравлического расчета, не учитывают реальные процессы, происходящие в конкретной установке при выпуске диоксида углерода.

Вопрос достоверности полученных расчетных данных становится особенно актуальным при расчете АУГП силового электрооборудования. Это объясняется тем, что пожары, возникающие на силовых трансформаторах, характеризуются высокой скоростью распространения тепловой радиации, что ведет к быстрому разрушению агрегата и несущих конструкций укрытия. В связи с этим одним из решающих факторов эффективного применения УГП, например, для защиты отдельно стоящего силового трансформатора является соответствие времени подачи требуемой массы CO_2 в защищаемую зону полученному при гидравлическом расчете фактическому времени подачи. Увеличение времени подачи CO_2 особенно критично именно для локального по объему пожаротушения, которое в отличие от объемного сопровождается не только естественным оседанием газа и диффузией в окружающую воздушную среду, но и уносом его из зоны горения сильными конвективными и ветровыми потоками.

Данный факт подтвержден результатами экспериментов по тушению макета оборудования, установленного вне помещения, УГП на базе двух МГП с вместимостью баллонов 100 л локальным по объему способом (рис. 1, слева). По результатам девяти испытаний было установлено, что в четырех экспериментах, в которых время выпуска CO_2 составляло 19–27 с, происходила полная ликвидация модельных очагов пожара (см. рис. 1, справа). В пяти экспериментах, в которых время выпуска CO_2 из УГП составляло от 34 до 43 с, модельные очаги пожара были потушены только частично.

Расхождение результатов расчета времени выпуска массы CO_2 по методике [2] с экспериментальными данными подтверждено многочисленными натурными испытаниями (табл. 2).

Другим сдерживающим фактором более широкого внедрения УГП на объектах топливно-энергетического комплекса является неопределенность в области проектирования УГП, связанная с понятием инерционности установки пожаротушения. В соответствии с [2] инерционность установки пожаротушения — это время с момента достижения контролируемым фактором пожара порога срабатывания чувствительного элемента пожарного извещателя до начала подачи огнетушащего вещества в защищаемую зону. Если с определением начала отсчета времени инерционности проблем почти нет, то с фик-



Рис. 1. Тушение УГП на базе двух МГП с вместимостью баллонов 100 л локальным по объему способом макета оборудования, установленного вне помещения

Таблица 2. Результаты испытаний УГП на базе МИЖУ

№ п/п	Длина магистрального трубопровода, м	Масса, кг, <u>выпускаемая</u> <u>расчетная</u>	Время выпуска, с, <u>фактическое</u> <u>расчетное</u>	Дата проведения испытаний
1	114	$\frac{9500}{7140}$	$\frac{132}{125}$	08.12.11
2	114	$\frac{6650}{3948}$	$\frac{60}{52}$	26.12.11
3	114	$\frac{6280}{3687}$	$\frac{57}{45}$	01.02.12
4	114	$\frac{4300}{1800}$	$\frac{43}{22}$	23.08.12
5	182	$\frac{5387}{2490}$	$\frac{54}{35}$	18.05.05
6	126	$\frac{8000}{5300}$	$\frac{93}{69}$	19.02.09
7	154	$\frac{39400}{21220}$	$\frac{71}{46}$	10.12.12

сацией момента начала подачи CO_2 в защищаемую зону возникают трудности.

Определение инерционности установки пожаротушения не вызывает затруднения применительно к водяным, пенным и порошковым установкам пожаротушения, в которых критерием начала подачи огнетушащего вещества из распылителей (спринклеров) является появление воды, пены или порошка в защищаемой зоне. Самым простым методом экспериментального определения инерционности таких систем является визуальный контроль.

Что касается установок газового пожаротушения, однозначно определить инерционность по моменту начала подачи ГОТВ, в том числе CO_2 , невозможно. В подтверждение этого на рис. 2 приведены кадры видеосъемки трех натурных испытаний УГП в момент начала подачи CO_2 . Длина магистральных трубопроводов данных установок составляет от 114 до 180 м.

Из рис. 2 видно, что после открытия запорно-пускового устройства (ЗПУ) МИЖУ воздух, нахо-

а



б



в



Рис. 2. Кадры видеосъемки трех различных натуральных испытаний на 3, 6, 9 и 12-й секундах (слева направо) подачи CO₂ с момента открытия запорно-пускового устройства МИЖУ

дящийся в трубопроводе, резко сжимается и под давлением, созданным движением CO₂ по трубопроводу, выходит из насадков, захватывая с собой окалину и ржавчину и образуя “ржавое облако”. Через несколько секунд после этого визуально можно наблюдать появление и постепенное увеличение струи газа в виде расширяющегося конуса белого цвета, но фиксировать инерционность установки по появлению данного конуса и принимать его за критерий начала подачи CO₂ некорректно. Кроме того, невозможно визуально оценить фазовое состояние подаваемого вещества перед насадком.

Как отмечалось выше, движение диоксида углерода по трубопроводу представляет собой нестационарный газожидкостный поток [5, 6]. После срабатывания УГП в трубопровод начинает поступать преимущественно газовая фаза CO₂, давление в трубопроводе при этом резко повышается, и дальше соотношение газовой и жидкой фаз меняется в сторону увеличения содержания последней. В определенный момент трубопровод заполняется жидкой фазой CO₂, и только тогда установка переходит в эффективный режим тушения (рис. 3), что может быть принято за начало подачи CO₂ в защищаемую зону. Тогда инерционность можно трактовать как время полного заполнения трубопровода жидкой фазой CO₂.

Как видно из рис. 3, давление перед насадком с момента открытия ЗПУ МИЖУ резко возрастает,

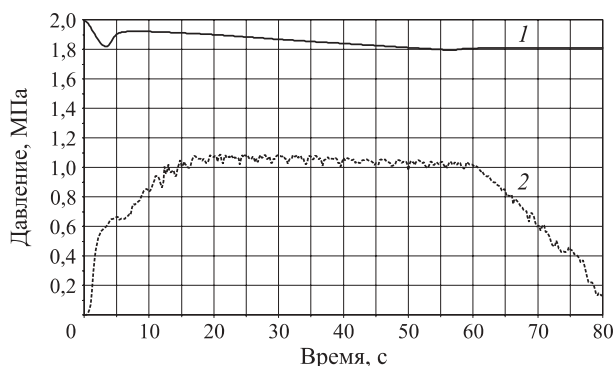


Рис. 3. Изменение давления внутри резервуара (1) и перед насадком (2) в системе, полученное при натуральных испытаниях УГП на базе МИЖУ

что характерно для начала подачи газовой фазы. Затем скорость нарастания давления падает, что характерно для увеличения содержания жидкой фазы в трубопроводе. Однако граница полного заполнения трубопровода жидкой фазой размыта, поэтому давление не является однозначным и четким критерием начала подачи CO₂ в защищаемую зону.

СП 5.13130.2009 [2] дает определение инерционности установки пожаротушения, но в нем отсутствует как методика расчета этого параметра, так и конкретная информация по критериям его экспериментального определения. Таким образом, при разработке проектной документации на установку газового пожаротушения невозможно подтвердить ее

соответствие требованию нормативного документа в части инерционности установки пожаротушения.

Подобный вопрос часто возникает при прохождении проектной документацией различного рода экспертиз, в том числе государственной. Проблема связана с обоснованием соответствия параметров проектируемой системы требованиям, предъявляемым к инерционности УГП. В условиях отсутствия расчетных методик определения инерционности в нормативной документации проектным организациям весьма затруднительно аргументированно подтвердить время инерционности УГП.

Кроме того, СП 5.13130.2009 [2] жестко ограничивает инерционность временем не более 15 с. Для применяемых в настоящее время УГП на базе одного или нескольких модулей МИЖУ, когда подаваемая на тушение масса CO_2 измеряется тоннами и даже десятками тонн, а расстояние от станции газового пожаротушения до защищаемого объекта может достигать нескольких сотен метров, настоящее требование морально устарело и практически невыполнимо.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что понятие инерционности для установок газового пожаротушения носит декларативный, условный характер. Аргументированно подтвердить выполнение требований нормативной документации по величине инерционности невозможно вследствие отсутствия необходимых критериев оценки и методик расчета. В создавшейся ситуации логично было бы исключить из нормативной документации по установкам газового пожаротушения применение данного термина как самостоятельного. Инерционность установки (15 с) следует добавить к временному интервалу, за который установка должна

обеспечить подачу не менее 95 % массы ГОТВ, необходимой для создания нормативной огнетушащей концентрации в защищаемом объеме; при этом для УГП на базе изотермических резервуаров допустимая инерционность должна быть увеличена до 30 с. Для УГП на базе МИЖУ указанный временной интервал является ничем иным, как временем открытого состояния ЗПУ, которое легко поддается визуальному контролю и может быть однозначно определено по рис. 3 (кривая 2).

Решение затронутых в настоящей статье проблем расчета УГП открывает перспективу широкого применения подтвердивших свою эффективность УГП на базе МИЖУ для противопожарной защиты объектов электроэнергетики, в частности наружного силового оборудования.

Выводы

1. Показано, что время выпуска диоксида углерода из УГП, полученное по существующей методике гидравлического расчета установок газового пожаротушения, расходится с результатами натуральных испытаний.

2. На основе экспериментальных данных установлено, что наиболее чувствительными к точности расчетного определения времени выпуска CO_2 являются УГП, реализующие локальный по объему способ пожаротушения.

3. Отмечен декларативный характер понятия инерционности для установок газового пожаротушения и необходимость его доработки.

4. Предложено внести изменения в нормативные документы, касающиеся понятия “инерционность” применительно к установкам газового пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешков М. В., Пушкин Д. С., Колбасин А. А. Особенности развития и тушения пожаров на объектах электроэнергетики // Технологии техносферной безопасности. — 2010. — № 3 (31). URL : <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-3/09-03-10.ttb.pdf> (дата обращения: 19.07.2013 г.).
2. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 175; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 103 с.
3. Меркулов А. В., Меркулов В. А. Газовое пожаротушение. Подход к выбору и расчету установок газового пожаротушения // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. — 2004. — № 1. — С. 30–35.
4. Меркулов А. В., Меркулов В. А., Мотов А. Н. Проектирование установок газового пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 3. — С. 74–79.
5. Цариченко С. Г., Пастон С. А., Пастон А. Р., Жаров С. А., Куянов А. В. Расчет времени выхода огнетушащего вещества под давлением газа-вытеснителя для систем газового пожаротушения на основе сжиженных газов // Пожарная безопасность. — 2007. — № 4. — С. 38–44.
6. Николаев В. М., Смирнов Н. В., Никонова Е. В., Копылов С. Н., Цариченко С. Г. Гидродинамические параметры течения двухфазных сред в трубопроводах установок газового пожаротушения // Пожарная безопасность. — 2006. — № 2. — С. 91–100.

Материал поступил в редакцию 5 августа 2013 г.

PERSPECTIVE OF USE OF GAS-EXTINGUISHING PLANT ON THE BASE OF CARBON DIOXIDE FOR FIRE EXTINGUISHING ON ELECTROENERGETICS FACILITIES

ALESHKOV M. V., Candidate of Technical Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Deputy Head on Scientific Work of State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: info@academygpps.ru)

KUZMENKO K. P., Candidate of Technical Sciences, Deputy Technical Director, ZAO ARTSOK (ARTSOK, JSC) (Vishnevyy Parkway, 8, Moscow Region, Chekhov, 142301, Russian Federation)

INCHIKOV V. P., Head of Project Office, ZAO ARTSOK (ARTSOK, JSC) (Vishnevyy Parkway, 8, Moscow Region, Chekhov, 142301, Russian Federation; e-mail address: artsok@artsok.com)

ABSTRACT

Present article shows that use of gas-extinguishing plants (GEP) with carbon dioxide (CO₂) as gas extinguishing agent is most perspective for fire protection of electroenergetics facilities. Problems of use of GEP on the base of MIZhU for fire protection of electroenergetics facilities are touched, particularly, for power facilities' safety on open space. It is shown that discharging time of carbon dioxide, calculated with existing hydraulic calculation method, differs from natural tests' results. Based on experimental data, it is determined that effectiveness of local by volume fire extinguishing method mostly depends on computational accuracy of discharging time of carbon dioxide. Accentuated declarative type of lag's conception for gas-extinguishing plant. Proposal to amend regulations, concerning conception "lag" with regard to gas extinguishing plant, are stated.

Keywords: electroenergetics; carbon dioxide; automatic extinguishing plant; fire safety.

REFERENCES

1. Aleshkov M. V., Pushkin D. S., Kolbasin A. A. Osobennosti razvitiya i tusheniya pozharov na obyektakh energetiki [Features of development and suppression of fires on objects of power]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti — Technosphere Security Technology*, 2010, vol. 31, no. 3. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-3/09-03-10.ttb.pdf> (Accessed 19 July 2013).
2. *Set of Rules 5.13130.2009. Systems of fire protection. Automatic fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 103 p. (in Russian).
3. Merkulov A. V., Merkulov V. A. Gazovoye pozharotusheniye. Podkhod k vyboru i raschetu ustanovok gazovogo pozharotusheniya [Gas-extinguishing. Approach to selection and calculation of gas-extinguishing plants]. *Protivopozharnyye i avariyno-spatatelnyye sredstva — Fire-Fighting and Search-and-Rescue Products*, 2004, no. 1, pp. 30–35.
4. Merkulov A. V., Merkulov V. A., Motov A. N. Proektirovaniye ustanovok gazovogo pozharotusheniya [Design of firefighting equipment for gas]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2003, vol. 12, no. 3, pp. 74–79.
5. Tsarichenko S. G., Paston S. A., Paston A. R., Zharov S. A., Kuyanov A. V. Raschet vremeni vykhoda ognetushashchego veshchestva pod davleniyem gaza-vytesnitelya dlya sistem gazovogo pozharotusheniya na osnove szhizhennykh gazov [Calculation of time of gas extinguishing agent's outlet under gas-displacer pressure for gas-extinguishing systems on the base of liquid gases]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2007, no. 4, pp. 38–44.
6. Nikolaev V. M., Smirnov N. V., Nikonova E. V., Kopylov S. N., Tsarichenko S. G. Gidrodinamicheskiye parametry techeniya dvukhfaznykh sred v truboprovodakh ustanovok gazovogo pozharotusheniya [Hydrodynamical characteristics of two-phase medium's current in pipe lines of gas-extinguishing plants]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2006, no. 2, pp. 91–100.