# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ГАЗОРПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

***К. В. ПРОХОРЕНКО, С. Ю. СЕРЕБРЕННИКОВ*** *– ООО «ИВЦ Техномаш», г. Пермь*
***И. А. ЕЛДАШЕВ, А. Н. МАМЕДОВ*** *– ООО «ИВЦ «Техномир», г. Казань*

***Необходимость применения систем автоматического пожаротушения (САП) оборудования турбоприводных газоперекачивающих агрегатов (ГПА), размещенных в зданиях, блоках, отсеках и легкосборных укрытиях, определена нормативными документами, утвержденными в установленном порядке МЧС России [1, Приложение А] и [2].***

Основную пожарную опасность для ГПА представляют аварии, связанные с разгерметизацией газопроводов, разрушение лопаток и подшипников турбопривода и компрессора нагнетателя, разгерметизации узлов стыка трубопроводов, агрегатов и маслобаков системы маслоподачи.

Источниками загорания могут служить попадание и возгорание масла на разогретых поверхностях, технологические выхлопные газы, искры от поврежденного электрооборудования и, конечно, нарушение персоналом правил пожарной безопасности.

Взрывоопасность оборудования определяется возможностью образования взрывоопасных смесей транспортируемого газа, а также свойствами масел применяемых в системе смазки компрессора газотурбинного привода. В составе ГПА выделяются три зоны пожарной опасности: зоны размещения приводного газотурбинного агрегата, нагнетателя и маслоблока.

Для тушения пожаров на ГПА рекомендуется применять индивидуальные и комбинированные установки пожаротушения (КУП) [2]. КУП предполагает две очереди ввода в действие огнетушащих веществ (ОВ). Первым темпом обеспечивается подавление пожара в начальной стадии развития, вторым – ликвидируется возможность повторного воспламенения.

В КУП используются различные комбинации ОВ – пена средней кратности, порошок, распыленная вода, газ.

При выборе ОВ необходимо принимать во внимание их эксплуатационные возможности и эффективность при тушении турбинного масла, природного газа и электрических кабелей.

Выбор установок пожаротушения определяется типом исполнения помещения ГПА, эксплуатационными и экономическими параметрами.

За последнюю четверть века со дня выхода рекомендаций [2] были разработаны и получили широкое применение новые огнетушащие вещества и более совершенные конструкции установок пожаротушения.

Главным событием считается появление нового аэрозольного способа тушения. Разработаны и внедрены аэрозольобразующие огнетушащие составы (АОС) и низкотемпературные генераторы огнетушащего аэрозоля (ГОА).

Данные системы пожаротушения по области применения, типу тушения (объемное) аналогичны газовым системам, но имеют свои достоинства: простота конструкции, примерно на порядок ниже стоимость, отсутствие регламентного обслуживания.

Главным достоинством аэрозоля является безопасность для жизни людей в зоне срабатывания ГОА, в отличие от газовых систем, и в 5…10 раз более высокая пожаротушащая эффективность, чем у любых газов.

Появились принципиально новые конструкции порошкового пожаротушения с газогенераторной системой вытеснения.

Нашли свою область применения эффективные установки с тонкораспыленной водой.

Значительно модернизировался и расширился модельный ряд установок газового пожаротушения.

Основываясь на рекомендациях по выбору КУП [2] рассмотрим возможность применения различных существующих систем пожаротушения для типовых помещений ГПА.

Пенные установки по причине высокой инерционности срабатывания, низкой надежности, сложности и высокой стоимости регламентного обслуживания исключаются из рекомендаций на применение.

Установки тонкораспыленной воды применяются только для локального тушения по площади или объему. Отсутствие нормативных документов на проектирование данных установок, сложное и дорогое регламентное обслуживание существенно ограничивает их применение для объектов ГПА.

Для оценки эффективности КУП рассматриваются три варианта огнетушащих веществ:

- газ-порошок;
- аэрозоль-порошок;
- газ-газ.

Три модельных ряда установок пожаротушения:

- модули порошкового пожаротушения МПП (ОПАН);
- генераторы огнетушащего аэрозоля ГОА (АГАТ);
- газовые установки пожаротушения $CO_2$.

Модули МПП-100, 50 (ОПАН-100, 50) аэрозольного наддува [3] имеют преимущества перед закачными и импульсными порошковыми системами:

- дополнительная эффективность тушения от присутствия в порошковой смеси АОС;

- удельный расход порошка 1 кг/м$^2$, соответствует рекомендациям ВНИИПО [4], в отличие от импульсных изделий;
- высокая надежность безотказной работы (P > 0,995) за счет электроинициатора УДП2 и динамического вспушивания порошка газогенератором наддува (конверсионные разработки);
- простота монтажа и регламентного обслуживания при сроке эксплуатации 10 лет.

Низкотемпературный взрывозащищенный генератор аэрозольного пожаротушения АГАТ-2А [5] обладает достоинствами:

- высокая пожаротушащая эффективность в диапазоне температур ±50°С и высокая надежность срабатывания;
- прочный взрывозащищенный корпус с АОС, виброзащищенное исполнение и срок эксплуатации 10 лет без регламентных работ;
- низкая температура газа на выходе из ГОА за счет теплосъема в конструкции охладителя;
- низкая стоимость, простота размещения и монтажа в укрытии;
- отсутствие влияния аэрозоля на электронную аппаратуру, материальные ценности и обслуживающий персонал.

Модули ОПАН и ГОА АГАТ-2А имеют необходимые сертификаты и разрешения ФСЭТА на применение в рабочих условиях ГПА.

Рассмотрим схемы пожаротушения основных типов укрытий ГПА.

В укрытиях блочно-контейнерного исполнения с газотурбинным авиационным приводом пожароопасное оборудование, двигатель, нагнетатель и маслоблок, размещены в изолированных помещениях общим объемом до 300 м$^3$.

Для блока двигателя, учитывая небольшой его объем, герметичность, пожароопасность материалов и конструктивные особенности работы газотурбинного привода, рекомендуется баллонная установка газового пожаротушения с использованием двуокиси углерода ($CO_2$) в качестве огнетушащего состава. Широкое применение для ГПА получили установки газового пожаротушения производства ЗАО «Артсок» г. Москва.

Рекомендации по применению газового пожаротушения в изолированных блоках газотурбинного агрегата действуют на все типы помещений ГПА. Это вызвано тем, что конструкторы газотурбинных двигателей согласовали пожарную защиту только газовыми системами.

Проведенные исследования показали, что аэрозоль также может решать эти задачи при существенном выйгрыше в стоимости и простоте эксплуатации.

В блоках нагнетателя и маслосистемы возможны следующие варианты КУП.

Схемы исполнения аэрозоль-порошок и газ-порошок приблизительно одинаковы по стоимости и эффективности. Первая схема более проста в размещении, монтаже и обслуживании и значительно меньше по стоимости.

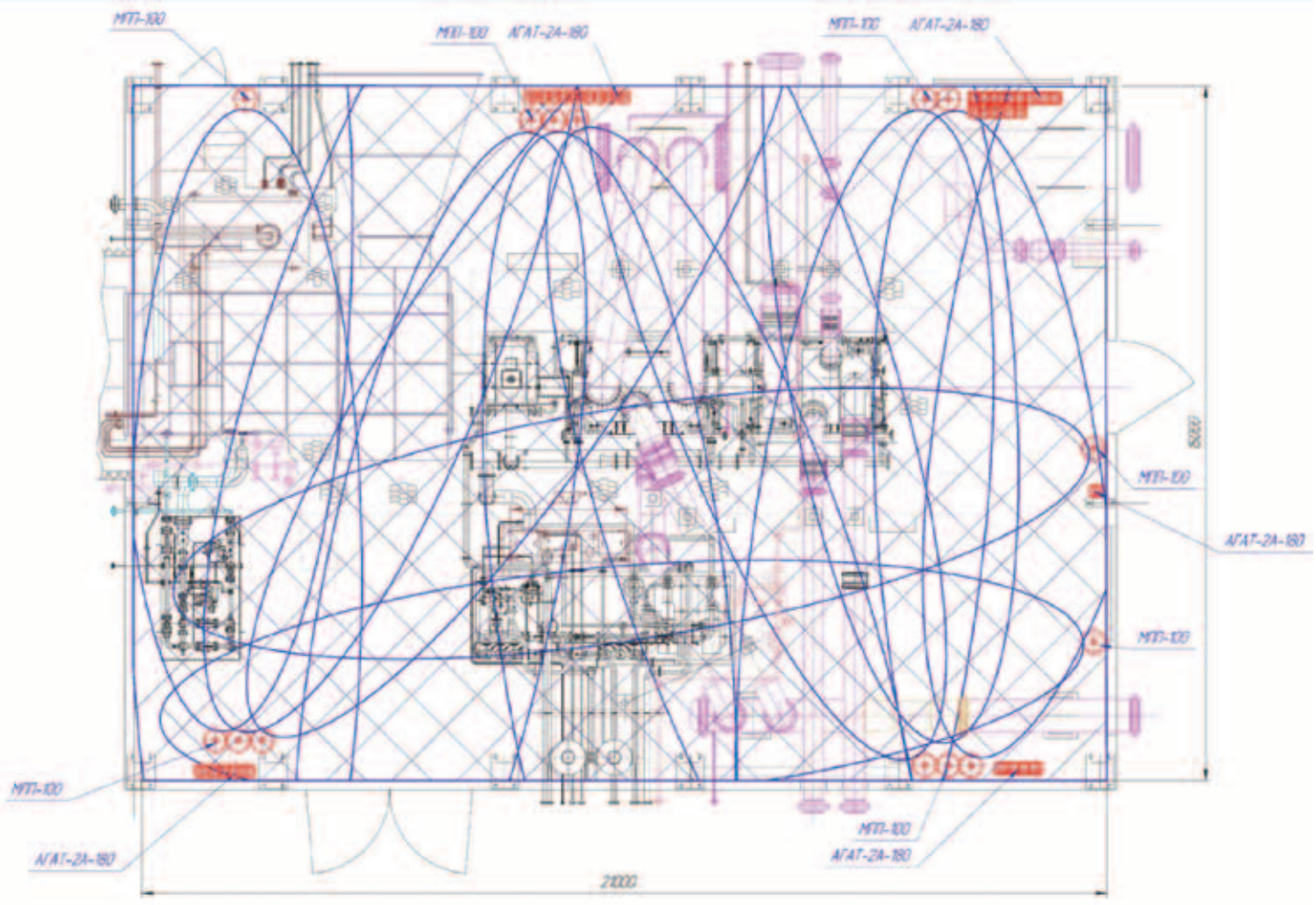


*Рис. 1. Схема размещения ГОА АГАТ-2А и МПП-100 (ОПАН) и эпюры распыла порошка в укрытии ГПА 66ГЦ-1162 ОА «СибурТюменьГаз»*

*Рис. 2. Комбинированная установка КУП «аэрозоль + порошок» ГПА 66ГЦ-1162 АО «СибурТюменьГаз», расположенная в свободных зонах укрытия объемом 3860 м³*

Эти два варианта имеют существенное преимущество перед схемой газ-газ в случае, если пожароопасная ситуация сопровождается хлопком или взрывом с частичным разрушением конструктивных легких стеновых панелей.

Условия герметичности нарушаются, и процесс газового или аэрозольного тушения становится неэффективным. В этих условиях только порошковое тушение вторым темпом может обеспечить локализацию и тушение пожара в блоках. Срабатывание порошковой установки производится автоматикой САП, ручным запуском из операторной или с кнопки у дверей ГПА.

Такая авария произошла в 2002 г. на ГКС «Сысерть» ООО «Уралтрансгаз» в Свердловской области.

В результате взрыва в отсеке произошло раскрытие дверей, что отключило автоматический запуск газовой установки, но автоматически была запущена порошковая установка МПП (ОПАН-100), которая погасила пожар через 8 секунд.

Наибольшее распространение получили укрытия ГПА индивидуального типа с капитальным или легкосборным зданием.

Схема с легкосборными конструкциями является основной для проектируемых и строящихся зданий ГПА.

Рабочая структура таких укрытий включает основное здание ГПА объемом от 1000 м³ до 6000 м³ и высотой помещения до 15 м, блок маслоохладителей двигателя и компрессора, и других вспомогательных блоков.

В основном здании находятся компрессор с маслосистемой и блок двигателя привода. Они имеют, соответственно, категорию помещений А и Г по [1] и класс зон по ПУЭ В-1 и П-1. Остальные блоки имеют эти классификации Д и П-2а.

Возможны варианты исполнения укрытия с отдельным блоком маслосистемы.

Системой пожаротушения оборудуются помещения блока двигателя и помещение компрессора с маслосистемой [1].

Для данных укрытий ГПА возможны схемы КУП: аэрозоль-порошок; газ-порошок; газ-газ.

Первая схема обладает существенными преимуществами по простоте конструктивного исполнения, обслуживания, надежности работы и экономическим показателям.

Стоимость оборудования по схеме газ-порошок примерно в 5 раз, а по схеме газ-газ в 10 раз больше КУП аэрозоль-порошок.

Это определяется тем, что огнетушащая концентрация газа (CO2 = 0,70 кг/м3) в 14 раз выше чем у аэрозоля (0,050 кг/м³), что требует больших объемов газа для тушения. Конструкции установок для хранения и подачи газа габаритные, дорогие и сложные при монтаже и эксплуатации.

По первой и второй схеме КУП возможна ликвидация пожара при вскрытии легкосборных конструкций укрытия от хлопка или взрыва. По схеме газ-газ эта задача невыполнима.

Рассмотрим пример исполнения САП оборудования турбоприводного компрессорного агрегата 66ГЦ-1162/1.3-38 ГТУ, размещенного в блоках, отсеках и легкосборном здании.

Площадь укрытия – 330 м². Объем – 3860 м³.

САП агрегата делится на две части по защищаемым помещениям:

- установка газового пожаротушения в блоке двигателя;
- КУП аэрозольного и порошкового пожаротушения компрессора и маслосистемы в укрытии ГПА.

Газовая система пожаротушения блока двигателя (V = 87 м³) выполнена на базе оборудования ЗАО « Артсок» г. Москва с использованием баллонов CO2 в качестве огнетушащего состава.

Комбинированный способ тушения производится ГОА «АГАТ-2А-180» и порошковыми модулями МПП-100 (ОПАН-100) производства ООО «ИВЦ Техномаш» г. Пермь.

Аэрозольное пожаротушение выполняется по всему объему здания V = 3780 м³.

Расчет установок аэрозольного пожаротушения производится согласно [1, Приложение К].

Суммарная масса аэрозольобразующего состава (АОС):

$$M_{АОС} = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times q_н \times V_н;$$

$$V_н = 3780 м^3;$$

$$q_н = 0,05 \, кг/м^3 - нормативная\ огнетушащая\ способность\ АОС;$$

$$K_1 = 1,4 - неравномарность\ распределения\ АОС;$$

$$K_2 = 1 + U^* \cdot \tau_л - коэффициент\ негерметичности\ помещения;$$

$$U^* = 0,0237 c^{-1} - по\ табл.\ К.1\ при\ \delta = 0,003,\ \psi = 0,9;$$

$$\tau_л = 6 c;$$

$$K_2 = 1,142;\ K_3 = 1,0;\ K_4 = 1,0;$$

$$M_{АОС} = 1,4 \times 1,142 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,05 \times 3780 = 306\ кг;$$

*Рис. 3. Кассетная схема размещения ГОА АГАТ-2А-180*

*Рис. 4. Работа КУП аэрозоль-порошок на производственном объекте*

Общее количество генераторов «АГАТ-2А-180» с массой заряда одного ГОА–9 кг

$$N = \frac{306}{9} = 34 шт.$$

Время работы генераторов $\tau_{гр} = 20 \ \ сек.$

Расчет избыточного давления при подаче АОС в помещения укрытия производится по [1, Прил. Л. 2]. Параметр А < 0,01, т.е. установка удовлетворяет условию, где избыточное давление $P_m < P_{пред.}$

Проведенные термодинамические расчеты и результаты огневых испытаний показали, что даже при температуре в помещении + 50°С, осредненная температура смеси аэрозоля и воздуха не превышает + 60°С.

Порошковое пожаротушение предусматривает локальное тушение по объему укрытия, где размещено пожароопасное оборудование.

Локальный объем определяется по площади укрытия и высоте от пола Н = 5,0 м:

$$V_{л.з.} = 5 \times 3{,}15 = 1580 \, м^3.$$

Расчет количества модулей МПП-100 (ОПАН-100) ведется по [1, Прил. И, п. 3.1.2]:

$$N = \frac{V_{л.з.}}{V_н} \times 1{,}15 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4;$$

$$V_{л.з.} = 1580 \, м^3;$$

$V_н = 180 \, м^3$ – *нормативный объем, защищаемый одним модулем ОПАН* – 100;

$K_1 = 1{,}0$ – *коэффициент неравномерности распыления порошка*;

$K_2 = 1{,}3$ – *коэффициент запаса на затененность очага пожара*;

$K_3 = 1{,}0;$

$K_4 = 1{,}0;$

$N = 14 шт.$

Генераторы АГАТ-2А-180 и МПП-100 (ОПАН-100) размещаются у стен укрытия в любых свободных местах.

Генераторы аэрозольного пожаротушения АГАТ устанавливаются при сборке в кассету болтовым соединением их стоек. Размещение генераторов АГАТ-2А-180 и модулей ОПАН-100 с прямой подачей порошка из направляющего трубопровода и соответствующими эпюрами распыла порошка представлены на рис. 1, 2, 3, 4.

Стоимость оборудования газового пожаротушения блока двигателя около 300 000, 0 рублей. Стоимость аэрозольной системы на базе АГАТ-2А для этих целей составила бы 50 000,0 рублей.

Стоимость технологического оборудования для защиты укрытия по схеме аэрозоль и порошок:

$$C_{Т.О.} = C_{АГАТ} \times N_A + C_{ОПАН} \times N_O;$$

$C_{АГАТ} = 32000{,}0$ – *стоимость комплекта ГОА АГАТ* – 2*А* – 180;

$N_A = 34 шт.;$

$C_{ОПАН} = 33000{,}0 \, руб.$ – *стоимость одного комплекта модуля МПП* – 100(*ОПАН* – 100);

$N = 14 шт;$

$C_{Т.О.} = 1550000{,}0 \ \ руб., \ включая \ НДС.$

Для сравнения рассмотрим стоимость защиты укрытия КУП по схеме газ-газ.

Для защиты укрытия $V_з м = 3860^3$ при огнетушащей концентрации 0,7 кг/м³ требуется 5500 кг жидкой двуокиси углерода ($CO_2$).

Хранение и подачу такой массы $CO_2$ может обеспечить изотермический пожарный резервуар РИП-6/22, производства ЗАО «Пожарная автоматика-сервис», который включает в себя:

- изотермическую емкость объемом 6 м³ (длина – 6,6 м; ширина и высота – 2,5 м) с запасом двуокиси углерода;
- холодильный агрегат со шкафом управления в отдельном помещении;
- система подогрева жидкого $CO_2$;
- весовое устройство, трубопровод, запорная арматура и т.д.

Особенности и сложности в эксплуатации таких систем подробно рассмотрены в [6] и [7].

Сравнительная стоимость аэрозольно-порошковой и газовой технологии пожаротушения укрытия ТКА-66ГЦ представлена в таблице 1.

**Таблица 1**

| Затраты | Аэрозольно-порошковая система, руб. | Газовая установка, руб. |
|---|---|---|
| Стоимость оборудования | 1 550 000,0 | 12 000 000,0 |
| Стоимость монтажных работ | 150 000,0 | 700 000,0 |
| Стоимость годового регламентного обслуживания | – | 400 000,0 |
| Всего, включая НДС | 1 700 000,0 | 13 100 000,0 |

На затраты по противопожарной защите одного укрытия газовой системой можно защитить аэрозольно-порошковой системой восемь укрытий.

Оценку стоимости технологии аэрозольно-порошковой установки пожаротушения укрытий ГПА возможно произвести через коэффициент приведенной стоимости $K_{ПС}$.

Для защищаемого объема укрытия $V_З$ [м³]:

$$K_{ПС} = \frac{C_П}{V_З} \quad \left[руб./м^3\right];$$

$$C_П = C_{АГАТ} + C_{ОПАН} + C_{монт} \quad [руб.] -$$
*полная стоимость технологии пожаротушения*;

$$C_{АГАТ} = N_A \times C_{1A} \quad [руб.] -$$
*стоимость оборудования аэрозольного тушения*;

$$C_{1A} = 32000{,}0 - стоимость\ комплекта\ "АГАТ-2А-180";$$

$$N_A = \frac{V_З K_2}{V_{НА}} - количество\ ГОА\ АГАТ\ на\ объем\ \ укрытия;$$

$$K_2 = 1{,}15 \times 1{,}4 = 1{,}63 - коэффициент\ запаса$$
*на герметичность и неравномерность по высоте* [1];

$$V_{НА} = 180 м^3 - нормативный\ объем\ защиты\ АГАТ-2А-180);$$

$$C_{АГАТ} = 300 \cdot V_З [руб.];$$

$$C_{ОПАН} = N_o \times C_{1o} [руб.] - стоимость\ порошкового\ пожаротушения;$$

$$N_o = \frac{V_{зл} \times K_{ло} \times K_\Sigma}{V_{но}} - \quad количество\ модулей\ ОПАН-100;$$

$$V_{зл} = 0{,}5 \times V_З \left[м^3\right] - локальный\ объем\ защиты\ укрытия;$$

$$K_{ло} = 1{,}15; \quad K_\Sigma = 1{,}3 - соответственно,\ коэффициент\ защиты$$
*локального объема и запас на затененность* [1];

$$V_{но} = 180 м^3 - нормативный\ объем\ защиты\ ОПАН-100;$$

$$C_{ОПАН} = 140 \cdot V_З [руб.];$$

$$C_{монт} = 0{,}1\left(C_{АГАТ} + C_{ОПАН}\right) = 0{,}1\left(300 \cdot V_З + 140 \cdot V_З\right) = 44 \times V_З -$$
*стоимость монтажа*;

$$K_{ПС} = 485\left[руб./м^3\right].$$

$$C_П = 485 \times V_З [руб.] - стоимость\ технологии\ пожаротушения$$
*аэрозоль – порошок укрытия ГПА.*

Для рассмотренной схемы аэрозольно-порошкового пожаротушения фирмой Инженерно-Внедренческий Центр «Техномир» г. Казань при участии фирмы ООО «ИВЦ Техномаш» г. Пермь выполнен проект и в 2010 году смонтирована САП на объектах АО «СибурТюменьГаз».

Аналогичные схемы КУП находятся в разработке на объектах Казахстана, других стран СНГ, а также на предприятиях Китая, Индии и Турции.

Несколько странным выглядит позиция ОАО ГАЗПРОМ, – наиболее заинтересованной организации в эффективной защите ГПА. Техническая политика ГАЗПРОМа строится только на КУП «газ + газ», дорогих, сложных и недостаточно эффективных системах пожарозащиты взрывоопасных объектов в диапазоне температур ±50° С.

Исключается применение даже порошковых систем, единственных, спасающих ГПА после «газового хлопка». Игнорируются рекомендации [8], что при пожаре в легкосборных укрытиях, имеющих в конструкциях детали из сплавов Al, Mg, чрезвычайно взрывоопасна подача воды и $CO_2$ в очаги горения этих металлов.

История развития цивилизации показывает, что невозможно создать на все случаи жизни универсальное средство для решения определенной технической задачи.

Только комплексный подход с оценкой вариантов по эффективности, надежности, стоимости и других факторов может привести к правильному решению.

По нашему мнению, применение КУП «аэрозоль + порошок» позволит ОАО «Газпром» повысить уровень пожаровзрывобезопасности ГПА и сэкономить значительные средства, особенно в настоящих экономических условиях. Доля государства в «ГАЗПРОМе» составляет больше половины, а это деньги налогоплательщиков, поэтому необходимо решать все вышеуказанные задачи по государственному.

**ЛИТЕРАТУРА:**


1. Свод правил СПБ.13130.2009 г. МЧС России, ФГУ ВНИИПО МЧС России, Москва, 2009 г.
2. Противопожарная защита газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистральных газопроводов. Обобщенные рекомендации. ВНИИПО. 1986 г.
3. Тех. Описание и руководство по эксплуатации МПП ОПАН-100, ОПАН-50.
4. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средств их тушения. Справочник под ред. А.Н. Баратова, А.Я. Корольченко, Химия, Москва, 1980 г.
5. Руководство по эксплуатации АГАТ-2А.
6. Копылов Н.П. Применение автоматических углекислотных установок низкого давления // Пожарная автоматика, 2009.
7. Серебренников С.Ю., Прохоренко К.В. Решение проблемы защиты от объемных пожаров крупных компрессорных и насосных станций нефтегазового комплекса // Экспозиция Нефть Газ, № 1/Н (13) февраль, 2011.
8. Серебренников С.Ю., Малинин В.И., Бербек А.М. Анализ особенностей горения порошков металлов в смесях с воздухом, водой и диоксидом углерода // Пожаровзрывобезопасность, № 4, 2010. ■



**ООО «ИВЦ Техномаш»**
**614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 21**
**тел./факс (342) 239-13-87, 239-13-84**
**e-mail: thm@perm.ru**
**www.technomash.com**