

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-4-121-128
УДК 614.84

Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов, А.Ю. Карпова, Р.М. Султанов, А.А. Шарафутдинов
(Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ БЛОКА ГАЗОПОРШНЕВОЙ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Fanil Sh. Khafizov, Ildar F. Khafizov, Anna Yu. Karpova, Rifkat M. Sultanov,
Azat A. Sharafutdinov (Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation)

ANALYSIS OF FIRE HAZARD CRITERIA FOR THE GAS RECIPROCATING UNIT

Введение

Использование газообразного топлива в двигателях внутреннего сгорания нашло широкое распространение в нефтегазовой промышленности. Газопоршневые генераторные установки позволяют получить электроэнергию, используя в качестве сырья попутный нефтяной газ, но являются источником повышенной пожарной опасности, и требуются дополнительные мероприятия по соблюдению мер пожарной безопасности.

Цели и задачи

Разработка критерия для газопоршневой генераторной установки, обеспечивающего требуемую категорию взрывопожарной и пожарной опасности блоков установки при определенной кратности воздухообмена.

Результаты

Расчетным методом установлено, что применение 200-кратного воздухообмена исключает концентрацию топливного газа более 10 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени. Электроснабжение по первой категории надежности позволяет помещение машинного зала газопоршневой электростанции не относить к категории взрывопожароопасных - категории А.

По результатам расчетов установлено, что противопожарные расстояния между зданиями и сооружениями газопоршневой генераторной установки необходимо принимать равными 6 м.

Background

The use of gaseous fuels in internal combustion engines has found wide application in the oil and gas industry. Gas reciprocating units allow to generate electricity using associated petroleum gas as raw materials, but they are an increased fire hazard source, and additional measures are required to comply with fire safety measures.

Aims and Objectives

Development of a criterion for a gas reciprocating unit that provides the required fire and explosion hazard category at a certain multiplicity of air exchange.

Results

The calculation method established that the use of 200-fold air exchange eliminates the fuel gas concentration more than 10 % of the lower concentration flame propagation limit. Power supply in the first reliability category allows the engine room placement at gas reciprocating power plant not to be classified as explosive-heat-hazardous category A.

Based on the results of the calculations, it is established that the fireproof distances between the buildings and structures of the gas reciprocating unit should be taken equal to 6 m.

Ключевые слова: пожарная безопасность, нефтеперерабатывающая промышленность, нефтяное месторождение, газопоршневая генераторная установка, методика расчета, кратность воздухообмена

Key words: fire safety, oil refining industry, oil field, gas reciprocating unit, calculation procedure, air exchange rate

В условиях Крайнего Севера актуальной проблемой является обеспечение электроэнергией автономных месторождений. Для бесперебойного (постоянного) электроснабжения на месторождении предусмотрена газопоршневая электростанция (ГПЭС), предназначенная для постоянного электроснабжения. Источником сырья газопоршневой электростанции является попутный нефтяной газ, поступающий от блока подготовки газа к газопоршневой генераторной установке (ГПГУ), где с помощью двигателя внутреннего сгорания и генератора преобразуется в электроэнергию [1].

В соответствии со ст.16 Федерального закона от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ, технологическая среда ГПГУ относится к пожаро-взрывоопасной группе. Наибольшую опасность представляет машинный отсек. Причиной возникновения пожара является совокупность технологических, метеорологических и других условий или обстоятельств, в результате совместного (одновременного или последовательного) действия которых возникают все три фактора, необходимых для горения: горючее вещество, окислитель, источник зажигания [2-4].

За аварийную ситуацию принимается разгерметизация подводящего газопровода. В машинном отсеке ГПГУ предусмотрена общеобменная вытяжная вентиляция с механическим побуждением. В соответствии со ст.8 Федерального закона от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ, пожар, связанный с горением попутного нефтяного газа, используемого в качестве сырья для ГПГУ, относится к классу С.

В настоящее время одной из проблем энергетики является сложность подключения к централизованным сетям, так как требуются большие материальные затраты, которые

могут окупаться довольно продолжительный срок [5, 6].

В последнее время использование газообразного топлива в двигателях внутреннего сгорания получило большое распространение. Обусловлено это тремя основными причинами:

- увеличением разницы в стоимости жидкого и газообразного топлива;
- значительно меньшими вредными выбросами газотопливных двигателей по сравнению с жидкотопливными;
- постоянно увеличивающейся сетью газового снабжения [7].

Объект исследования - газопоршневая электростанция Чатылькинского месторождения предназначена для постоянного электроснабжения потребителей нефтепромыслов. В административном отношении рассматриваемый объект расположен в Красноселькупском районе Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области.

Сырьем для электростанции является попутный нефтяной газ, выделяющийся при сепарации нефти. Для подачи газа к двигателю ГПГУ используется внутренний газопровод, смонтированный в машинном зале в соответствии с действующими требованиями, предъявляемыми к таким установкам. На газовой линии установлены термозапорный клапан, газовый фильтр, счетчик расхода газа, электромагнитные запорные клапаны и другое необходимое оборудование.

Снижение концентрации взрывоопасных, токсичных веществ на площадке размещения оборудования до безопасного уровня достигается рассеиванием их в окружающей атмосфере [8].

Пожарная безопасность может быть обеспечена только с учетом характерных

свойств горючести обрабатываемых веществ - показателей пожарной опасности, определяющих условия возникновения, развития и прекращения горения.

ГПГУ состоит из *трех основных отсеков*: радиаторного, аппаратного и машинного.

Наибольшую опасность представляет *машинный отсек*. Так, например, в 2015 г. в энергоцентре ЗАО «САНЕКО» на Пункте подготовки и сбора нефти Кочевненского месторождения произошел несчастный случай, причиной которого стал взрыв газовой смеси в газопоршневой энергетической установке ГПГУ № 6 из-за разгерметизации фильтра газа в машинном отделении [9].

Расчет критериев взрывопожарной и пожарной опасности и определение категории блока ГПГУ проводятся согласно СП 12.13130.2009. Для подтверждения этой категории в работе выполнен расчет критериев взрывопожарной и пожарной опасности категории ГПГУ [10].

Помещение *радиаторного отсека* следует отнести к категории Д_н (пониженная пожароопасность) согласно СП 12.13130.2009.

В помещении *аппаратного отсека* отсутствуют вещества и/или материалы, способные образовывать газо-, паро-, пылевоздушные взрывоопасные смеси, поэтому произведен расчет критериев только по пожарной опасности.

В составе блоков системы управления присутствуют поливинилхлорид, карболит, твердые, горючие, не пылящие материалы [11].

Расчет критериев взрывопожарной и пожарной опасности через удельную пожарную нагрузку определяется по формуле (Б.2) СП 12.13130.2009.

Аппаратный отсек с фактической удельной пожарной нагрузкой (124,17 МДж/м²) следует относить к категории В4 ($g = 1 \div 180$ МДж/м²).

Определение категории машинного отсека

Характеристика помещения:

- длина $l = 6,34$ м;
- ширина $b = 3,03$ м;
- высота $h = 3$ м.

Минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса ферм перекрытия $H = 2,5$ м.

Характеристика веществ и материалов, обращающихся (находящихся) в помещении:

- а) попутный газ (в качестве топлива) - горючий газ
 - молярная масса - 16,043 кг/кмоль,
 - теплота сгорания - 50000 кДж/кг.
- б) масло для двигателей марки МС-8П - горючая жидкость
 - плотность - 875 кг/м³,
 - температура вспышки - 150 °С,
 - температура масла - 35 °С,
 - минимальная теплота сгорания - 43,11 МДж/кг.

Характеристика технологического процесса: в помещении газопоршневой электростанции происходит выработка электроэнергии.

Оборудование:

- коллектор с газом;
- газопоршневой двигатель, в маслосистеме двигателя находится 70 л (0,07 м³) масла;
- промежуточная расходная емкость с маслом 250 л (0,25 м³).

Расчет критериев взрывопожарной и пожарной опасности

Газ используется в качестве топлива, в случае аварии на газопроводе (падение давления) отключается подача газа. В машинном отсеке ГПГУ предусмотрена общеобменная вытяжная вентиляция с механическим побуждением (осевые вентиляторы производительностью 16800 м³/ч).

За аварийную ситуацию принимается разгерметизация подводящего газопровода.

Определение категории помещений осуществляется путем последовательной проверки их принадлежности к категориям, приведенным в таблице 1 СП 12.13130.2009.

Расчет избыточного давления взрыва производится по формуле:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{mZ \cdot 100 \cdot 1}{V_{\text{св}} \rho_{\text{п}} C_{\text{ст}} K_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где P_{max} - максимальное давление взрыва стехиометрической газозвушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным, кПа. При отсутствии данных допускается принимать равным 900 кПа;

P_0 - начальное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа);

Z - коэффициент участия горючего вещества во взрыве;

K_H - коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения (допускается принимать равным 3);

$V_{св}$ - свободный объем помещения, м³;

$$V_{св} = V_n K = (3,03 \cdot 6,34 \cdot 3) \cdot 0,8 = 46 \text{ м}^3, \quad (2)$$

где V_n - объем помещения, м³;

K - коэффициент свободного объема помещения, принимается равным 0,8;

m - масса газа, вышедшего в результате расчетной аварии в помещение, кг;

ρ_n - плотность газа при расчетной температуре t_p , кг/м³, вычисляемая по формуле:

$$\rho_n = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367 t_p)}, \quad (3)$$

где M - молярная масса, кг/кмоль;

V_0 - мольный объем, м³/кмоль;

t_p - расчетная температура, °C,

$$\rho_n = 16,04 / 22,413(1 + 0,00367 \cdot 37) = 0,63 \text{ кг/м}^3,$$

$C_{ст}$ - стехиометрическая концентрация паров, % объемн., вычисляемая по формуле:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (4)$$

где $\beta = n_c + \frac{(n_H - n_x)}{4} - \frac{n_o}{2}$ - стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания;

n_c, n_H, n_o, n_x - число атомов С, Н, О и галогенов в молекуле горючего,

$$\text{для метана (CH}_4\text{)} \quad \beta = 1 + \frac{4-0}{4} - \frac{0}{2} = 2;$$

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36\%.$$

Определение коэффициента участия газа во взрыве $Z = 0,5$ проводится в соответствии с приложением СП 12.13130.2012.

Масса газа m (кг), поступившего в окружающее пространство при расчетной аварии, определяется по формуле:

$$m = m_a + m_T = (V_a + V_m) \rho_z, \quad (5)$$

где m_a - масса газа, поступившего в помещение из аппарата, кг;

V_a - объем газа, вышедшего из аппарата, м³;

m_T - масса газа, вышедшего из трубопровода, кг;

V_m - объем газа, вышедшего из трубопровода, м³;

ρ_z - плотность газа, кг·м⁻³.

Объем газа, вышедшего из аппарата, $V_a = 0$, поскольку топливо (газ) в аппарате сжигается при поступлении в него.

Таким образом,

$$m = m_T = V_m \cdot \rho_z, \quad (6)$$

при этом

$$m_T = m_{1T} + m_{2T} = (V_{1m} + V_{2m}) \cdot \rho_z,$$

где m_{1T} - масса газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, кг;

V_{1m} - объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения, м³;

m_{2T} - масса газа, вышедшего из трубопровода после отключения, кг;

V_{2m} - объем газа, вышедшего из трубопровода после отключения, м³.

Масса газа, вышедшего из трубопровода до его отключения:

$$m_{1T} = g T, \quad (7)$$

где g - расход газа, поступающего в помещение через поврежденный участок трубопровода, 0,0694 м³/с;

T - время отключения, с (принято 5 с согласно паспортным данным для двойного отсекателя).

Отсюда объемный расход газа, поступающего в помещение через поврежденный участок трубопровода, будет равен

$$m_{1T} = 0,34 \text{ м}^3.$$

Масса выделившегося газа равна 0,21 кг.

Вычислим объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения, по формуле:

$$V_{2T} = 0.01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2 + \dots + r_n^2 \cdot L_n), \quad (8)$$

где P_2 - максимальное давление в трубопроводе по технологическому регламенту, кПа;

r - внутренний радиус трубопроводов, м;

L - длина трубопроводов от аварийного аппарата до задвижек, м.

$$V_{2T} = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 0,35 \cdot 102 \cdot 0,000625 \cdot 4 = 0,002 \text{ м}^3, \\ m_{2T} = V_{2T} \rho_n = 0,002 \cdot 0,63 = 0,0017 \text{ кг.} \quad (9)$$

При обращении в помещении горючих газов для определения значения входящей массы m допускается учитывать работу вентиляции при условии расположения устройства для удаления воздуха из помещения в непосредственной близости от места возможной аварии [12, 13]. На ГПЭС предусмотрено электроснабжение по I категории надежности, также газопровод оборудуется отсекающими с датчиками давления.

Предлагается обеспечить постоянный 200-кратный воздухообмен при рабочем режиме, кратность воздухообмена учитывается в коэффициенте K . Кратность воздухообмена - это отношение часового объема удаляемого воздуха к строительному объему помещения.

При этом массу m горючих газов, нагретых до температуры вспышки и выше, поступивших в объем помещения, следует разделить на коэффициент K , определяемый по формуле [14]:

$$K = A T + I, \quad (10)$$

где A - кратность воздухообмена, создаваемого вентиляцией, с^{-1} (при расчете кратности учтена приточная вытяжная система $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$);

$T = 5 \text{ с}$ - продолжительность поступления горючих газов в объем помещения, с.

Таким образом,

$$K = \left(\frac{19300}{3600 \cdot 46} \cdot 5 \right) + 1 = 1,58.$$

Следовательно, масса газа m (кг), поступившего в окружающее пространство при расчетной аварии, составит:

$$m = m_T = (m_{1m} + m_{2T}) / K = (0,21 + 0,0017) / 1,58 = 0,13 \text{ кг.}$$

Избыточное давление взрыва для метана в соответствии с нормами при значении $Z = 0,5$, может быть определено по формуле:

$$\Delta P = (P - P_0) \frac{m \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_i} \cdot \frac{100}{C_{CT}} \cdot \frac{1}{K_H} = (706 - 101) \cdot \frac{0,13 \cdot 0,5}{46 \cdot 0,63} \cdot \frac{100}{9,36} \cdot \frac{1}{3} = 4,8,$$

где P_{max} - максимальное давление взрыва стехиометрической газозвушной смеси в замкнутом объеме, равное для метана 706 кПа;

$P_0 = 0,101 \text{ МПа}$ - начальное (атмосферное) давление;

Z - коэффициент участия горючего во взрыве, который принимается равным 0,5;

K_H - коэффициент, учитывающий неадиабатичность процесса горения, принимаемый равным 3.

Таким образом, при 200-кратном воздухообмене, исключающем концентрацию топливного газа более 10 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени, при электроснабжении по первой категории надежности помещение машинного зала ГПЭС не относится к категории А (взрывопожароопасные), поскольку расчетное избыточное давление взрыва смеси метана с воздухом равно 4,8 кПа, т.е. менее 5 кПа [15].

Выводы

1. Расчетным методом установлено, что применение 200-кратного воздухообмена исключает концентрацию топливного газа более 10 % от нижнего концентрационного предела распространения пламени. Электроснабжение по первой категории надежности позволяет помещению машинного зала газопоршневой электростанции не относить к категории взрывопожароопасных - категории А.

2. По результатам расчетов установлено, что противопожарные расстояния между зданиями и сооружениями газопоршневой генераторной установки необходимо принимать равными 6 м.

Список литературы

1. Хафизов Ф.Ш., Бакиров И.К. Расчет пожарных рисков объектов топливно-энергетического комплекса // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 11. С. 31-35.
2. Черемных Д.Н. и др. Газопоршневые установки как альтернативный способ генерации электроэнергии // Молодой ученый. 2014. № 21. С. 245-247.
3. Гринац А.В. Автономные электростанции. Обзор, сравнение, ресурс, эксплуатация // Технологии третьего тысячелетия. 2001. № 1. С. 16-18.
4. Хафизов Ф.Ш., Кудрявцев А.А., Шевченко Д.И. Определение структуры и параметров регуляторов для задач моделирования процессов в компьютерных тренажерах при ограниченном информационном обеспечении // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. № 1. С. 336-349.
5. Виталий Поляков. Своя электростанция - актив или разоряющий пассив. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.escoecosys.ru/frames/contents.htm>.
6. Шарафутдинов А.А., Хафизов Ф.Ш., Кудрявцев А.А., Каримов Р.Р. Применение автоматизированной системы связи и оперативного управления подразделениями пожарной охраны государственной противопожарной службы при тушении крупных пожаров // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. № 1. С. 345-363.
7. Пат. 70153 РФ, МПК В 01 D 47/06. Кавитационно-вихревой абсорбер / Ф.Ш. Хафизов, А.Ш. Хайбрахманов, В.Г. Афанасенко, М.А. Аликин, И.Ф. Хафизов (РФ). 2007136840/22; Заявлено 04.10.2007, Опубл. 20.01.2008. Бюл. № 2.
8. Хафизов Ф.Ш., Закиров Н.Н., Хафизов И.Ф., Доронин Д.Б., Мухин И.А. Применение кавитационно-вихревого эффекта в аппарате абсорбции сернистых соединений из нефти // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2012. № 4. С. 67-70.
9. Михайлин М.П. К чему приведет снижение административного давления на бизнес // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. 2016. № 6. С. 24.
10. Тарасов П.С., Хатьков В.Ю. Развитие конкуренции в газовой отрасли: тенденции и реалии // Газовая промышленность. 2015. № 10. С. 8-14.
11. Маммадов С.М. К вопросу о стратегии освоения газового потенциала западно-арктического шельфа России // Нефтегазовая технология. Теория и практика. 2017. Т. 12. № 2.
12. Строительство шести мини-ТЭЦ в Оренбургской области установленной мощностью 32 МВ // Электронный журнал ЭСКО. Электрон. дан. Режим доступа: http://escoecosys.narod.ru/2009_5/index.htm.
13. Дубинин В.С., Лаврухин К.М. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии в котельных // Новости теплоснабжения. 2002. № 4. С. 44-47.
14. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по

References

1. Khafizov F.Sh., Bakirov I.K. Raschet pozharnykh riskov ob'ektov toplivno-energeticheskogo kompleksa [Calculation of Fire Risks of Objects of Fuel and Energy Complex]. *Pozharovzryvobezopasnost' - Fire and Explosion Safety*, 2010, Vol. 19, No. 11, pp. 31-35. [in Russian].
2. Cheremnykh D.N. e.a. Gazoporshevnye ustanovki kak al'ternativnyi sposob generatsii elektroenergii [Gas Piston Units as an Alternative Method of Generating Electricity]. *Molodoi uchenyi - Young Scientist*, 2014, No. 21, pp. 245-247. [in Russian].
3. Grinats A.V. Avtonomnye elektrostantsii. Obzor, sravnienie, resurs, ekspluatatsiya [Autonomous Power Plants. Review, Comparison, Resource, Operation]. *Tekhnologii tret'ego tysyacheletiya - Technologies of the Third Millennium*, 2001, No. 1, pp. 16-18. [in Russian].
4. Khafizov F.Sh., Kudryavtsev A.A., Shevchenko D.I. Opredelenie struktury i parametrov regulyatorov dlya zadach modelirovaniya protsessov v komp'yuternykh trenazherakh pri ogranichennom informatsionnom obespechenii [The Determination of Structure and Regulator's Parameters for the Tasks of Computer Simulator Model Building While There Is not Enough Information]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2011, No. 1, pp. 336-349. [in Russian].
5. Vitalii Polyakov. *Svoya elektrostantsiya - aktiv ili razoryayushchii passiv* [Own Power Plant Is an Asset or a Devastating Liability]. Elektron. dan. Available at: <http://www.escoecosys.ru/frames/contents.htm>. [in Russian].
6. Sharafutdinov A.A., Khafizov F.Sh., Kudryavtsev A.A., Karimov R.R. Primenenie avtomatizirovannoi sistemy svyazi i operativnogo upravleniya podrazdeleniyami pozharnoi okhrany gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhby pri tushenii krupnykh pozharov [The Use of Automated Communication System and Operational Management of Fire Departments of the State Fire Service when Fighting Large Fires]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2015, No. 1, pp. 345-363. [in Russian].
7. Khafizov F.Sh., Khaibrakhmanov A.Sh., Afanasenko V.G., Alikin M.A., Khafizov I.F. *Kavitatsionno-vikhrevoi absorber* [Cavitation-Vortex Absorber]. Patent RF, No. 70153, 2008. [in Russian].
8. Khafizov F.Sh., Zakirov N.N., Khafizov I.F., Doronin D.B., Mukhin I.A. Primenenie kavitatsionno-vikhrevoogo effekta v apparate absorptsii sernistykh soedinenii iz nefiti [Use of Cavity-Vortex Effect in the Apparatus for Absorption of Sulfides from Crude Oil]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz - Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2012, No. 4, pp. 67-70. [in Russian].
9. Mikhailin M.P. K chemu privedet snizhenie administrativnogo davleniya na biznes [What will the Reduction of Administrative Pressure on Business Result in]. *Promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost', okhrana truda - Industrial and Environmental Safety, Labor Protection*, 2016, No. 6, pp. 24. [in Russian].

взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением № 1).

15. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (с изменениями на 2 июля 2013 года).

10. Tarasov P.S., Khat'kov V.Yu. Razvitiye konkurentsii v gazovoi otrasli: tendentsii i realii [Development of Competition in the Gas Industry: Trends and Realities]. *Gazovaya promyshlennost' - Gas Industry*, 2015, No. 10, pp. 8-14. [in Russian].

11. Mammadov S.M. K voprosu o strategii osvoeniya gazovogo potentsiala zapadno-arkticheskogo shel'fa Rossii [The Gas Potential Development Strategy of the Western Arctic Russian Shelf]. *Neftegazovaya tekhnologiya, Teoriya i praktika - Oil and Gas Technology, Theory and Practice*, 2017, Vol. 12, No. 2. [in Russian].

12. Stroitel'stvo shesti mini-TETs v Orenburgskoi oblasti ustanovlennoi moshchnost'yu 32 MV [Construction of Six Mini-Plants in the Orenburg Region with Installed Capacity of 32 MW]. *Elektronnyi zhurnal ESKO - Electronic Journal of the ESCO*. Elektron. dan. Rezhim dostupa: http://escococosys.narod.ru/2009_5/index.htm. [in Russian].

13. Dubinin B.C., Lavrukhin K.M. Kombinirovannaya vyrabotka teplovoi i elektricheskoi energii v kotel'nykh [Combined Generation of Heat and Electric Energy in Boiler Houses]. *Novosti teplosnabzheniya - Heat Supply News*, 2002, No. 4, pp. 44-47. [in Russian].

14. SP 12.13130.2009. *Opreделение kategorii pomeshchenii, zdanii i naruzhnykh ustanovok po vzryvopozharnoi i pozharnoi opasnosti (s izmeneniyami № 1)* [SP 12.13130.2009. Definition of the Categories of Premises, Buildings and External Installations for Explosion and Fire Hazard (with Change No. 1)]. [in Russian].

15. *Federal'nyi zakon ot 30.12.2009 № 384-FZ «Tekhnicheskii reglament o bezopasnosti zdanii i sooruzhenii» (s izmeneniyami na 2 iyulya 2013 goda)* [Federal Law No. 384-FZ dated 30.12.2009 «Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures» (as amended on July 2, 2013)]. [in Russian].

Авторы

• Хафизов Фаниль Шамильевич, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Заведующий кафедрой «Пожарная и промышленная безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243-18-13

• Хафизов Ильдар Фанильевич, д-р техн. наук, доцент
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

The Authors

• Khafizov Fanil Sh., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Fire and Industrial Safety Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 243-18-13

• Khafizov Ildar F., Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

• Карпова Анна Юрьевна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Пожарная
и промышленная безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: anuta-06@mail.ru

• Karpova Anna Yu.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Fire and Industrial Safety
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: anuta-06@mail.ru

• Султанов Рифкат Мухатьярович, д-р хим. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Профессор кафедры «Пожарная
и промышленная безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243-18-13

• Sultanov Rifkat M., Doctor of Chemical Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Fire and Industrial Safety
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 243-18-13

• Шарафутдинов Азат Амирзагитович, канд.
техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Пожарная
и промышленная безопасность»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: azat_sharaf@mail.ru

• Sharafutdinov Azat A., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Fire and Industrial Safety
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: azat_sharaf@mail.ru