

УДК 614.844

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА

И. Н. НЕМКИН, Е. Е. РАСПОПИН

ПАО «Сургутнефтегаз»,
Российская Федерация, г. Сургут, ХМАО-Югра
E-mail: nemkin.igor@yandex.ru, dollar1102@gmail.com

В статье приводится сравнительный анализ методов обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли, в частности, в резервуарных парках. Рассмотрены конструктивные особенности и эксплуатация установок пожаротушения различных типов, даны рекомендации по их применению. Определены оптимальные варианты защиты резервуарных парков от пожаров.

Ключевые слова: установки пожаротушения, резервуарный парк, пожарная безопасность, тушение нефтепродуктов.

RESEARCH OF FIRE SAFETY METHODS AT OIL AND GAS ENTERPRISES THE COMPLEX AND THE DEFINITION OF THEIR OPTIMAL OPTION

I. N. NEMKIN, E. E. RASPOPIN

Surgutneftegas PJSC,
Russian Federation, Surgut, Khanty-Mansiysk region – UGRA
E-mail: nemkin.igor@yandex.ru, dollar1102@gmail.com

The article provides a comparative analysis of fire safety methods at oil and gas industry enterprises, in particular, in tank farms. The design features and operation of fire extinguishing installations of various types are considered, recommendations on their application are given. Optimal options for protecting tank farms from fires have been identified.

Keywords: fire extinguishing installations, tank farm, fire safety, extinguishing of petroleum products.

Нефтегазовый комплекс является одной из важнейших отраслей России, вносящей значительный вклад в бюджет страны. При этом, количество пожаров на объектах нефтегазового комплекса имеет тенденцию к увеличению. Риск возникновения аварийных ситуаций, приводящих к пожарам и прочим негативным последствиям на текущий момент достаточно высок, учитывая современные вызовы и угрозы национальной безопасности Российской Федерации. Таким образом, проблема обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса приобретает особую значимость.

Цель работы – провести исследование и сравнительный анализ актуальных технологических и технических решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности резервуарных парков с учетом современных вызовов и определить оптимальные варианты защиты их оборудования.

В результате анализа состояния и организации обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли на текущий момент установлено, что по частоте возникновения и сложности, на предприятиях нефтегазовой промышленности, являются пожары в резервуарных парках.

Пожары в резервуарных парках характеризуются причинением значительного экологического и материального ущерба, связанного с попаданием в окружающую среду большого количества токсичных продуктов горения, огнетушащих средств, мощным тепловым излучением, разрушением зданий, сооружений, гибелью людей, а также реальной возможностью возникновения и развития крупных техногенных аварий и катастроф (каскадного эффекта, эффекта «домино»).

Для усиления уровня пожарной безопасности и минимизации вышеуказанных ущербов на предприятиях нефтегазовой

отрасли требуется комплексно (системно) подходить и выбирать оптимальные, в том числе с экономической точки зрения, методы для обеспечения пожарной безопасности.

Необходимость организации и общие принципы комплексного, системного подхода установлены требованиями технического регламента¹.

Так, в соответствии с ч. 2, 3 ст. 5 технического регламента² целью создания системы обеспечения пожарной безопасности является:

- предотвращение пожара;
- обеспечение безопасности людей;
- обеспечение защиты имущества при пожаре.

Система обеспечения пожарной безопасности объекта должна включать в себя:

- систему предотвращения пожара;
- систему противопожарной защиты;
- комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

В этой связи, для реализации комплексного, системного подхода и достижения требуемых целей первоочередным является обеспечение качественного проектирования систем пожарной безопасности, являющихся ключевым элементом обеспечения пожарной безопасности. При проектировании системы пожарной защиты для нефтегазового производства необходимо предусмотреть систему противопожарной защиты не только для своевременного обнаружения опасной ситуации, но обеспечивающую полное и своевременное тушение пожаров на источниках опасности, а также обеспечивающую блокировку переднего фронта огня.

Одним из важнейших элементов системы противопожарной защиты является обеспечение пожарной безопасности резервуарных парков, достигаемое применением установок автоматического пожаротушения (АУПТ) – установок пожаротушения, автоматически срабатывающих при превышении контролируемым фактором (факторами) пожара установ-

ленных пороговых значений в защищаемой зоне³.

При проектировании системы пожарной защиты резервуарных парков проектировщик, и, при необходимости, совместно с заказчиком проектирования, должны осуществлять выбор типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащего вещества для обеспечения всего комплекса мер пожарной безопасности в резервуарном парке. При этом, критерии выбора типа автоматических установок пожаротушения требованиями законодательства РФ не установлены, что в свою очередь возлагает «груз» ответственности в части правильности выбора типа автоматических установок пожаротушения и соответствующих данным установкам огнетушащего вещества, на проектную организацию.

Так, нормативными и правовыми актами РФ в области пожарной безопасности^{4,5,6,7} определены ряд обязательных требований:

- к резервуарам для хранения ЛВЖ и ГЖ, которые подлежат защите автоматическими установками пожаротушения;
- к автоматическим установкам пожаротушения;
- к генеральному плану в части размещения резервуаров для хранения ЛВЖ и ГЖ, а также к зданиям, сооружениям и технологическим установкам как обеспечивающим их функционирование на территории резервуарного парка, так и к находящимся в районе размещения резервуарного парка.

Защите автоматическими установками пожаротушения подлежат наземные резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ объемом 5000 м³ и более. Исключением является случай, когда таких резервуаров (объемом 5000 м³) не более двух.

Для тушения пожаров резервуаров могут применяться следующие системы пожаротушения⁸ [1, 2]:

- установки пенного пожаротушения с подачей пены в верхний пояс РВС, подслоная подача пены;
- установки газового пожаротушения;

¹ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федер. закон Рос. Федерации от 22.07.2008 №123-ФЗ: Принят Гос. Думой 4 июля 2008 года, одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года.

² Там же.

³ Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования: свод правил СП 485.1311500.2020: утвержден приказом МЧС России от 31.08.2020 № 628.

⁴ Там же

⁵ Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности: свод правил СП

155.13130.2014: утвержден приказом МЧС России от 26 декабря 2013 г. № 837.

⁶ Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности: свод правил СП 231.1311500.2015: утвержден приказом МЧС России от 17.06.2015 № 302.

⁷ ГОСТ Р 58367-2019. Обустройство месторождений нефти на суше. Технологическое проектирование. М.: Стандартинформ, 2019. 121 с.

⁸ Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности: свод правил СП 231.1311500.2015: утвержден приказом МЧС России от 17.06.2015 № 302.

– установки газопорошкового пожаротушения.

Кроме того, в обязательном порядке наземные резервуары объемом 5000 м³ и более оборудуются стационарными установками охлаждения, подключенными к сети противопожарного водопровода.

Одним из основных факторов является соблюдение требований в части противопожарных расстояний от резервуаров до зданий, сооружений и технологических установок резервуарного парка и соседних производств при выполнении генерального плана товарного парка:

– расстояния от наземных резервуаров до зданий, сооружений и наружных технологических установок резервуарного парка варьируются от 10 метров до 75 метров в зависимости от назначения и категории по взрывопожарной и пожарной опасности объектов;

– расстояния от зданий, сооружений наружных технологических установок резервуарного парка до соседних производств варьируются от 30 метров до 200 метров в зависимости от назначения и категории по взрывопожарной и пожарной опасности объектов;

– в зависимости от типа резервуара, его номинального объема и вида хранимого нефтепродукта минимальное расстояние между группами резервуаров составляет от 0,5 Д (Д – диаметр резервуара) до 30 метров;

– расстояние между стенками ближайших резервуаров, расположенных в соседних группах, должно быть для наземных резервуаров номинальным объемом 20000 м³ и более – 60 метров, объемом до 20000 м³ – 40 метров;

– в пределах одной группы наземных резервуаров внутренними земляными валами или ограждающими стенами отделяются каждый резервуар объемом 20000 м³ и более или несколько меньших резервуаров суммарной вместимостью 20000 м³.

Вышеуказанные обязательные требования не являются исчерпывающими. Отсутствие методики выбора типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащего вещества, а также современная геополитическая ситуация и санкционное давление (экономическая составляющая вопроса) напрямую указывают на необходимость разработки соответствующей методики подбора типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащих веществ для защиты резервуарных парков предприятий нефтегазовой отрасли, что позволит системно подходить к реализации всех мер противопожарной защиты и выбирать оптимальные, в том числе с экономической точки зрения, способы и методы обеспечения пожарной безопасности.

Интересным в данном контексте представляется подход, изложенный в [6]. Авторы предлагают осуществлять выбор установки с помощью мультипликативного обобщенного показателя с учетом характеристик АУПТ в целом, который формируется на основе комплекса частных показателей, характеризующих интересующие проектировщика параметры. Однако, предложенный метод требует высокой квалификации проектировщиков.

Для разработки методики выбора типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащего вещества рассмотрим основные виды пожаротушения, огнетушащие вещества, механизмы тушения, эффективность, экономические, экологические и эксплуатационные характеристики автоматических установок пожаротушения.

Автоматические установки пожаротушения имеют следующую классификацию (рис. 1), в зависимости от применяемого огнетушащего вещества, способов тушения возгорания, конструктивного исполнения и способа запуска [2, 5]:

• по применяемым огнетушащим веществам подразделяют на:

- установки водяного типа;
- установки пенного типа;
- установки порошкового типа;
- установки газового типа;
- установки аэрозольного типа;
- установки комбинированного типа,

• в зависимости от способа тушения:

- объемными;
- поверхностными;
- локальными,

• в зависимости от конструктивного решения:

- модульными;
- агрегатными;
- дренчерного типа;
- спринклерного типа,

• по способу запуска:

- строго автоматические;
- строго ручные;
- комбинированного типа: основные

автоматические и в качестве дублирующего, ручные.

При всем многообразии факторов, влияющих на определение вида и типа автоматических установок пожаротушения, наиважнейшим фактором, влияющим на выбор системы, является тип используемого огнетушащего вещества. При этом, тип используемого огнетушащего вещества автоматических установок пожаротушения в полной мере должен соответствовать специфике защищаемых зданий, сооружений и технологических установок топливного парка [4].

Установки водяного и пенного пожаротушения

В автоматических установках водяного пожаротушения в качестве огнетушащего вещества используется вода. Вода – одно из традиционных и наиболее широко распространенных огнетушащих веществ. Преимуществом данного огнетушащего вещества является дешевизна, доступность и универсальность.

Вода хорошо охлаждает поверхности при возгорании, при нормальных условиях вода обладает высокой теплоемкостью, высокая скрытая теплота испарения, а также

химическая инертность по отношению к большинству веществ и материалов.

При этом, есть и ряд ограничений при использовании воды в качестве огнетушащего вещества: нельзя применять для тушения веществ, которые могут вступить в химическую реакцию с выделением тепла, горючих, а также токсичных и коррозионно-активных газов (ряд видов металлов, металлоорганических соединений, карбиды и гидриды металлов, раскаленный уголь и железо), нельзя применять при тушении нефти и нефтепродуктов (приведет к выбросу или разбрызгиванию горящих продуктов).



Рис.1. Классификация автоматических установок пожаротушения

Установки водяного пожаротушения можно классифицировать:

- по способу воздействия на очаг воспламенения:

объемного – обеспечение создания среды, не поддерживающей процесс горения во всем пространстве и (или) объеме защищаемого здания или сооружения;

локального – действие огнетушащим составом только на некоторую часть объема защищаемого здания или сооружения, и (или) на одну технологическую установку, аппарат или комплекс оборудования,

- по типу системы:

– **спринклерные** – представляют собой сеть трубопроводов, заполненную огнетушащим веществом, они используются для локального тушения очагов возгорания. В основе технологии применяются спринклеры, специаль-

ные насадки, которые автоматически открываются при повышении температуры окружающего пространства до определенного предела;

– **дренчерные** – используются для тушения пожаров на всей территории охраняемого объекта и представляют собой комплексную систему, оборудованную оросителями с открытыми выходными отверстиями. Вода, проходя по трубопроводной противопожарной системе, попадает к дренчерам, и распыляется строго над участком с возгоранием.

Наиболее распространенное решение для обеспечения охлаждения вертикальных стальных резервуаров – применение колец орошения с дренчерными оросителями.

Применение дренчерных оросителей обеспечивает:

– подачу водяных струй на охлаждаемую стенку с равномерным распылом под

соответствующим углом к защищаемой поверхности, что исключает потери воды на орошение;

- исключается засорение отверстий орошения за счет применения фильтра в составе оросителя;

- исключается закрашивание выпускных отверстий в период эксплуатации.

Пенные установки пожаротушения – применяют для тушения легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в резервуарах, горючих веществ и нефтепродуктов, расположенных внутри и вне зданий.

В качестве огнетушащего вещества в системах и установках пенного пожаротушения используется раствор пенообразователя или смягчителя для образования пены. Пена – наиболее эффективное и широко распространенное огнетушащее вещество изолирующего действия. Она представляет собой коллоидную систему из жидких пузырьков, наполненных газом, которые позволяют эффективно изолировать горючее от окислителя и охладить очаг горения.

Установки пенного пожаротушения можно классифицировать по следующим видам:

- по способу воздействия на очаг воспламенения:

- *обще-поверхностные устройства* обеспечивают защиту от воспламенения всей имеющейся поверхности, они эффективны для защиты хранилищ с горючими жидкостями;

- *локально-поверхностные установки* рассчитаны на тушение пожара на определенных участках подконтрольных площадей, объектов, аппаратов и т.п.;

- *обще-объемные конструкции* – общий принцип действия основывается на заполнении загоревшихся объектов пожаронейтрализующей смесью;

- *локально-объемные устройства* заполняют определенную часть объема технологических конструкций, помещений;

- *комбинированные установки* объединены принципы локально-объемного и локально-поверхностного тушения пожара, при этом происходит двойное воздействие: огнетушащая смесь подается в объем объекта, а также на его поверхность, исходя из кратности применяемой пены⁹ – это безразмерная величина, равная отношению объемов пены и исходного раствора пенообразователя, содержащегося в ней:

- *противопожарные установки низкой кратности* – генерируется тяжелая пена низкой кратности от 4 до 20;

- *установки ликвидации пожара средней кратности* – производится пена среднетяжелой кратности от 20 до 200;

- *установки нейтрализации возгорания высокой кратности* – используется более легкая пена высокой кратности от 200 до 1500.

- по типу дозатора:

- с *балансирующим дозатором*;

- бак-дозатор с диафрагменным дозатором*;

- с *турбинным дозатором*,

- по продолжительности действия:

- кратковременного действия* – менее 10 мин;

- средней продолжительности* – менее 15 мин;

- длительного действия* – более 15 мин,

- по инерционности (продолжительности срабатывания):

- не более 3 сек*;

- не более 30 сек*;

- более 30 сек, не менее 180 сек.*

Независимо от предлагаемой вышеуказанной классификации установки водяного и пенного пожаротушения содержат следующие элементы (рис. 2):

- источники воды (резервуары для хранения воды);

- насосные станции (противопожарная насосная станция и насосная станция пенотушения);

- резервуары хранения и дозирования пенообразователя;

- дренчерные оросители, пенные оросители, генераторы пены;

- целевое пожарное оборудование и блочно-модульные решения (пожарные фильтры, успокоители, пенные шкафы, блок-контейнеры и др.);

- водопроводы и растворопроводы.

Механизм работы установок водяного и пенного пожаротушения основан на сочетании свойства огнетушащих веществ (вода и воздушно-механическая пена)¹⁰ эффективно охлаждать горящие материалы, соседние сооружения (резервуары), а также покрывать эти материалы и перекрывать доступ кислорода в зону горения.

Огнетушащее действие воздушно-механической пены заключается в изоляции поверхности горючего от факела пламени, снижении вследствие этого скорости испарения жидкости

⁹ ГОСТ Р 53280.1-2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водоразводимых горючих жидкостей подачей сверху.

Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2010. – 7 с.

¹⁰ Там же

и сокращении количества горючих паров, поступающих в зону горения, а также охлаждении горячей жидкости. Роль каждого из этих факторов в процессе тушения изменяется в зависимости от свойств горячей жидкости, качества пены и способа ее подачи.

При подаче пены одновременно происходит разрушение пены от факела пламени и нагретой поверхности горючего. Накапливающийся слой пены экранирует часть поверхности горючего от лучистого теплового потока

пламени, уменьшает количество паров, поступающих в зону горения, снижает интенсивность горения. Одновременно выделяющийся из пены раствор пенообразователя охлаждает горючее. Кроме того, в процессе тушения в объеме горючего происходит конвективный тепло-массообмен, в результате которого температура жидкости выравнивается по всему объему, за исключением «карманов», в которых тепло-массообмен происходит независимо от основной массы жидкости.

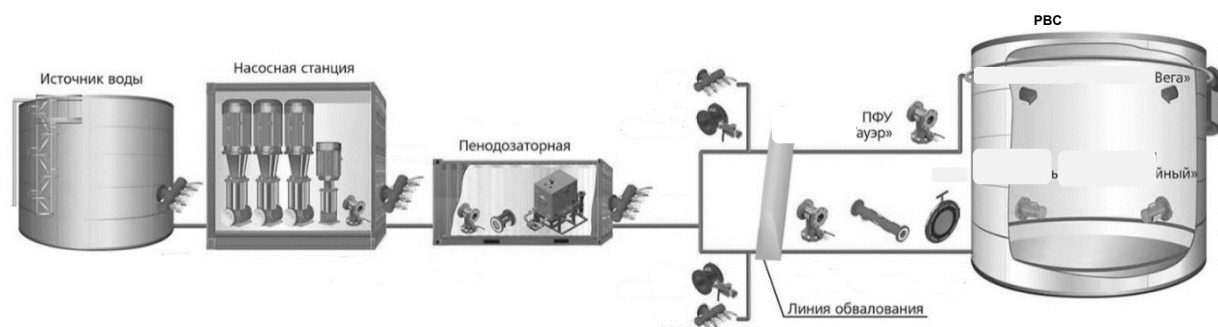


Рис. 2. Принципиальная схема установки водяного и пенного пожаротушения

Для резервуаров типа РВС выравнивание температуры по всему объему горячей жидкости при нормативной интенсивности подачи раствора пенообразователя происходит в течение 15 минут тушения при подаче пены сверху и в течение 10 минут при подаче под слой горючего [3]. Это время необходимо принимать в качестве расчетного при определении запаса пенообразователя для тушения нефти и нефтепродуктов воздушно-механической пеной. Нормативный запас пенообразователя следует принимать из условия обеспечения трехкратного расхода раствора пенообразователя на один пожар.

Дальность растекания пены средней кратности по поверхности горючей жидкости обычно не превышает 25 м.

При подаче пены в нижний пояс резервуара, непосредственно в слой горючей жидкости (подслойный способ тушения пожара), используются пены низкой кратности, которые получают из фторосодержащих пленкообразующих пенообразователей.

Применение фторосодержащих пенообразователей является необходимым условием, поскольку пена на их основе инертна к воздействию углеводородов в процессе длительного подъема пены на поверхность нефтепродуктов¹¹ [3]. Применение пены, получаемой на

основе обычных пенообразователей для подачи под слой горючей жидкости, недопустимо, так как при прохождении через слой горючей жидкости она насыщается парами углеводородов и теряет огнетушащую способность.

Быстрой изоляции пеной горячей поверхности способствует саморастекающаяся из пены водная пленка раствора пенообразователя, имеющая поверхностное натяжение ниже натяжения горючей жидкости, а также конвективные потоки, которые направлены от места выхода пены к стенкам резервуара. В результате конвективного теплообмена снижается температура жидкости в прогретом слое до среднеобъемной. Вместе с тем интенсивные восходящие потоки жидкости приводят к образованию на поверхности локальных участков горения, в которых скорость движения жидкости достигает максимальных значений. Эти участки, приподнятые над остальной поверхностью и называемые «бурунами», играют важную роль в процессе тушения. Чем выше буруны, тем больше пены необходимо накопить для покрытия всей поверхности горячей жидкости. Для снижения высоты буруна пена подается через пенные насадки с минимальной скоростью.

Пена, всплывающая на поверхность через слой горючего, способна обтекать затонувшие конструкции и растекаться по всей

¹¹ ГОСТ Р 53280.1-2010. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 1. Пенообразователи для тушения пожаров водораст-

воримых горючих жидкостей подачей сверху. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2010. – 7 с.

поверхности горючего. Значительное снижение интенсивности горения достигается через 90-120 секунд с момента появления пены на поверхности. В это время наблюдаются отдельные очаги горения у разогретых металлических конструкций резервуара и в местах образования бурунов. В дальнейшем в течение 120-180 секунд происходит полное прекращение горения.

После полной ликвидации горения и прекращения подачи пены на всей поверхности горючей жидкости образуется устойчивый пенный слой толщиной до 10 см, который в течение 2-3 часов защищает поверхность горючей жидкости от повторного воспламенения.

Вода для приготовления раствора пенообразователя не должна содержать примесей нефтепродуктов.

Для приготовления раствора из отечественных пенообразователей в системах подслоного тушения запрещается использовать воду с жесткостью более 30 мг-экв/л.

Использование оборотной воды для приготовления раствора пенообразователя не допускается.

При тушении пожаров горючих жидкостей в обваловании допускается применение пены низкой кратности, получаемой из синтетических пенообразователей общего и специального назначения.

Стоимость оборудования: высокая – необходимо строительство капитальных инженерных сооружений: насосные станции (противопожарная насосная станция и насосная станция пенотушения), противопожарные резервуары, подземная прокладка трубопроводной системы и обеспечение дополнительной защиты под проезжей частью, дренажные системы.

Эксплуатационные расходы: периодическая замена и утилизация пенообразователя. Фторсодержащие пленкообразующие пенообразователи требуют проведения ежегодного лабораторного анализа. Поддержание положительной температуры всей системы для сохранения ее работоспособности.

Вероятный ущерб для объекта защиты и окружающей среды: высокая коррозионная активность пены существенно увеличивает затраты на восстановление самой системы пожаротушения, защищаемого помещения и оборудования. Требуется утилизации экологически опасных продуктов.

Эффективность: установки водяного и пенного пожаротушения эффективны для тушения пожаров класса А и В, пенное пожаротушение дает возможность тушить таким способом не только твердые материалы, но и горючие жидкости, препятствуя доступу кислорода и охлаждая очаг возгорания.

Возможность подбора оптимального состава пенообразователя (кратность, химический состав, способ подачи) в соответствии с пожарной нагрузкой. Необходимо учитывать, что установки пенного пожаротушения зависят от источников водоснабжения, следовательно, имеют высокую инерционность.

Установки газового пожаротушения

В установках газового пожаротушения в качестве огнетушащего вещества используются сжиженные и сжатые газы, имеющие свойство не поддерживать горение. Основным преимуществом, а в то же время недостатком, является возможность тушения локально по объему пожара. Огнетушащим веществом для тушения пожара в резервуаре является двуокись углерода.

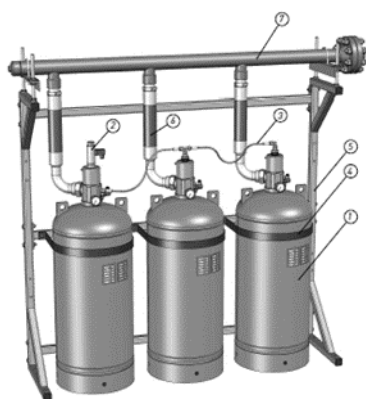
Его особенность – способность образовывать при распылении хлопья «сухого снега», который перекрывает доступ кислорода к очагу возгорания и тем самым прекращает процесс горения. При этом значительно снижается температура огнетушащего газового состава (до 72 °), за счет чего огнетушащее действие диоксида углерода дополняется охлаждением очага горения.

Установки газового пожаротушения используются преимущественно как альтернатива водяным и пенным установкам пожаротушения в тех случаях, когда необходимо обеспечить полное отсутствие ущерба при тушении пожара или при ложном срабатывании.

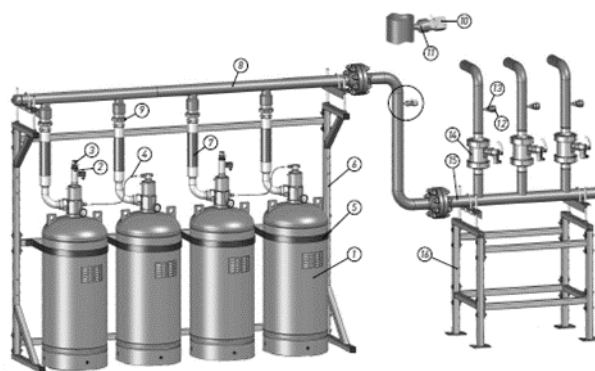
Применение установок газового пожаротушения является наиболее щадящим и эффективным в архивах, музеях, банковских хранилищах, серверных, в энергетике. При этом, в помещениях, в которых отсутствует герметичность, эффективность данных установок низкая [4].

Установки газового пожаротушения можно классифицировать:

- по условиям хранения огнетушащего вещества (рис. 3):
 - централизованные;
 - модульные;
- по компоновке:
 - батареи;
 - модули;
 - изотермические емкости;
- по схеме разводки труб:
 - трубопроводные;
 - без разводки труб;
- по способу пуска:
 - электрический;
 - пневматический;
 - механический;
 - комбинированный.



Модульная установка



Централизованная установка

Рис. 3. Типовые схемы подключения установок газового пожаротушения

Принцип действия установки газового пожаротушения основан на заполнении защищаемого помещения газовым огнетушащим веществом с вытеснением кислорода и снижением его концентрации за счет поступления в зону реакции инертного газа. При этом в случае сжиженных газов, их выпуск из баллона сопровождается снижением температуры, что ведет к уменьшению температуры и в зоне реакции.

Выпуск огнетушащего газа осуществляется на расстояние от 15 до 40 м, направление подачи струи через насадки осуществляется с отклонением от центральной оси РВС, так, как только при подаче двуокиси углерода под определенным углом обеспечивается создание вихревых потоков и рикошет боковой струи от стенок РВС. Данное конструктивное решение обеспечивает равномерное распределение огнетушащего газа над поверхностью нефтепродукта для более эффективного тушения возгорания.

Для тушения вертикальных стальных резервуаров с нефтью и нефтепродуктами емкостью до 10 000 м³ включительно допускается применять установки газового пожаротушения, оснащенные модулями изотермическими для жидкой двуокиси углерода (МИЖУ).

По способу хранения огнетушащего вещества установки подразделяются на централизованные и модульные. В централизованных установках сосуды (баллонные батареи, изотермические сосуды) с огнетушащим веществом размещены в помещении станции пожаротушения, в модульных – модули газового пожаротушения (баллоны с запорно-пусковым устройством (ЗПУ) и ОТВ) размещены в защищаемом помещении или рядом с ним.

Установка газового пожаротушения может состоять из нескольких МИЖУ, при этом выпуск двуокиси углерода из всех МИЖУ должен производиться одновременно.

Расчетное количество (масса) двуокиси углерода в установках локального по объему пожаротушения должно обеспечивать подачу не менее 13 кг на 1 м² горизонтальной поверхности (площади основания) резервуара независимо от его конструкции и не менее 6 кг/м³.

Расчетный объем при локальном по объему пожаротушении определяется произведением высоты защищаемого агрегата или оборудования на площадь проекции на поверхность основания. При этом все расчетные габариты (длина, ширина и высота) агрегата или оборудования должны быть увеличены на 1 м.

Время выпуска расчетной массы двуокиси углерода из насадков, сек:

- в резервуар не должно превышать 90 с учетом инерционности;
- при локальном по объему пожаротушении не более 60 с учетом инерционности.

Стоимость оборудования: установки газового пожаротушения находятся в верхнем ценовом сегменте. Это обусловлено высокой стоимостью модулей, большим количеством дополнительных компонентов: весовые стойки, распределительные устройства, трубная разводка и т.д. В централизованных установках сосуды следует размещать в станциях пожаротушения. При эксплуатации модулей с газом используются холодильные агрегаты и электронагреватели. Относительно высокая стоимость систем газового пожаротушения становится оправданной для тех предприятий и организаций, которым необходимо свести к минимуму воздействие огнетушащего вещества на защищаемое оборудование и материальные ценности.

Эксплуатационные расходы: оборудование необходимо устанавливать в отапливаемое помещение или блок-контейнер. Диапазон температур эксплуатации от -50 до +50 °С. Для поддержания необходимого давления в модуле

с газом его требуется постоянно охлаждать или нагревать.

Вероятный ущерб для объекта защиты и окружающей среды: воздействие на озоновый слой атмосферы. Опасность для человека.

Эффективность тушения: установки газового пожаротушения применяются для ликвидации пожаров классов А, В, С и электрооборудования по ГОСТ 27331-87 (СТ СЭВ 5637-86) «Пожарная техника. Классификация пожаров». Газовое пожаротушение в отличие от водяного, аэрозольного, пенного и порошкового пожаротушений, не вызывает коррозии защищаемого оборудования, а последствия его применения легко устранимы. Установки газового пожаротушения не замерзают.

Установки газопорошкового пожаротушения

Комбинированные установки пожаротушения представляют собой систему, которая обеспечивает ликвидацию очага возгорания или тления с использованием двух или нескольких типов огнетушащих веществ. Комбинированные установки пожаротушения применяются в тех случаях, когда невозможно эффективно ликвидировать возгорание одним видом огнетушащего вещества.

Например, на объекте в силу особенностей технологического процесса производства или порядка хранения материальных ценностей требуется одновременно несколько видов систем пожаротушения, так как материалы на объекте защиты обладают различными физико-химическими свойствами.

Конечно, при разработке комбинированных установок пожаротушения учитывается совместимость огнетушащих веществ между собой. В расчет также принимается пожарная нагрузка в том или ином помещении, здании, сооружении, чтобы ликвидация и локализация очагов возгорания проходила наиболее эффективно.

Применение комбинированного метода тушения требует дополнительных сил и средств, поэтому комбинированный метод целесообразен в тех случаях, когда тушение одним огнетушащим веществом не достигается.

В газопорошковых автоматических установках пожаротушения в качестве огнетушащего вещества используются огнетушащий порошок и огнетушащий газ. Газопорошковое огнетушащее вещество в большинстве случаев состоит из 73 % (± 1 %) огнетушащего порошка и 27 % (± 1 %) огнетушащего газа. Огнетушащий газ содержит 90 % (± 1 %) углекислоты и 10 % (± 1 %) осушенного воздуха либо азота. Тушение пожара при помощи таких установок

происходит за счет подачи в очаг возгорания газопорошковой смеси.

Наибольшее распространение газопорошковый тип пожаротушения получил на производственных объектах, а также в помещениях хранения ГСМ, транспортных объектах. При этом имеется ряд недостатков, характерных для установок газового и порошкового пожаротушения: порошок не всегда проникает в труднодоступные места (недостаточность заполняемости объема), опасность для людей.

Применение автоматических установок газопорошкового пожаротушения допускается для тушения вертикальных стальных резервуаров с нефтью и нефтепродуктами емкостью до 10 000 м³ включительно.

Автоматические установки газопорошкового пожаротушения состоят из:

- пожарной сигнализации;
- средств электроуправления установкой;
- двух батарей с газопорошковым огнетушащим веществом (основной и резервной);
- трубопроводов подачи газопорошкового огнетушащего вещества;
- распределительных устройств;
- обратных клапанов;
- системы ввода газопорошкового огнетушащего вещества в РВС;
- насадков.

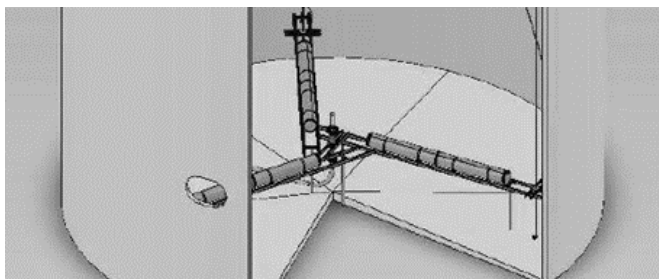
Установки газопорошкового пожаротушения можно классифицировать по расположению насадка распыления (рис.4):

- **в центре резервуара** – для резервуаров со стационарной крышей без понтона;
- **по периметру в верхнем поясе резервуара** – для всех типов резервуаров.

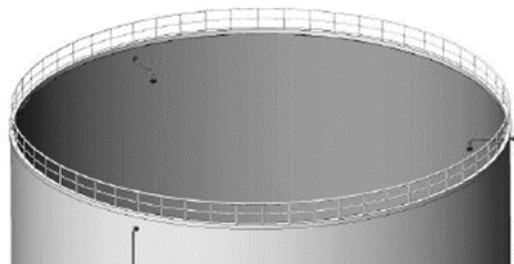
Установка газопорошкового пожаротушения позволяет ликвидировать возгорание в первые секунды, не допуская разрушения конструкции резервуара и предотвращая разлив. Основным принципом действия установок газопорошкового пожаротушения следующий.

После активации модулей газопорошковая смесь по трубопроводу поступает к распылителю и распространяется над очагом возгорания – от центра хранилища к периферии, в результате происходит механический срыв пламени и снижение температуры в зоне горения. Образуется плотная пелена из огнетушащего вещества, разделяющая зоны испарения и горения и препятствующая поступлению кислорода к поверхности ЛВЖ.

На первом этапе происходит газодинамический срыв пламени. Далее газопорошковая смесь задействует все основные механизмы тушения: охлаждение, изоляция, ингибирование и разбавление.



Расположение насадка
в центре резервуара



Расположение насадка
по периметру резервуара

Рис. 4. Типовая схема расположения насадка

Открытие распределительного устройства и запуск запорно-пускового устройства газовых баллонов основной батареи (приведение системы автоматического пожаротушения в действие) производится при одновременном сигнале «Пожар» не менее чем от двух пожарных извещателей.

Командный импульс на пуск запорно-пускового устройства газовых баллонов основной батареи подается после получения от распределительного устройства сигнала, соответствующего его положению «Открыто».

Резервная батарея запускается в ручном режиме в случае необходимости.

Промежуток времени между запуском первого и последнего газового баллона каждой батареи не должен превышать 1 сек.

Отключение автоматического пуска основной батареи допускается только при проведении регламентных и ремонтных работ внутри резервуара.

В качестве распределительных устройств следует использовать прямоточную, полнопроходную, нормально закрытую трубопроводную арматуру с классом герметичности по ГОСТ 9544-2015 «Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов» не ниже D, с электромагнитным приводом с инерционностью не более 2 сек, способную обеспечивать выдачу сигнала о своем состоянии (закрыто/открыто) по запросу аппаратуры управления пожаротушением.

Установки должны обеспечивать инерционность не более 30 сек.

Насадок должен постоянно находиться на оси резервуара на расстоянии $0,35 \pm 0,05$ м над поверхностью горючего в резервуаре. Максимально допустимое отклонение осей сопел насадка от горизонтали не должно превышать 1° .

Тушение возгорания в резервуаре достигается за счет образования в пограничном слое над поверхностью горючего сплошного огнетушащего слоя из газопорошкового огнетушащего вещества, блокирующего тепловой

поток от пламени к поверхности горючего, доступ воздуха к поверхности горючего, охлаждающего поверхность горючего и гасящего пламя в зоне своего распространения.

Огнетушащий слой формируется за счет истечения струй газопорошкового огнетушащего вещества из насадка, расположенного на оси резервуара над поверхностью горючего. Общее количество сопел в распылителе должно составлять 18 шт. Сопла должны быть расположены равномерно по окружности распылителя (через 20° друг от друга).

Количество газовых баллонов определяется из условия обеспечения заданного расхода огнетушащего газа.

Стоимость оборудования: верхний ценовой сегмент.

Эксплуатационные расходы: не нуждается в водоснабжении, не требует отапливаемых помещений для размещения – диапазон температур эксплуатации от -50 до $+50^\circ\text{C}$. Срок службы модулей до 20 лет. Возможна многократная перезарядка.

Вероятный ущерб для объекта защиты и окружающей среды: газопорошковый состав не оказывает воздействия на защищаемые изделия, материалы, оборудование и нефтепродукты. Безопасен для окружающей среды. Обладает прямым ингаляционным воздействием на человека, резко уменьшается видимость в защищаемых помещениях.

Эффективность тушения: применяются для тушения объемным способом или локально по объему пожаров классов А, В, С и электрооборудования без ограничения по пробивному напряжению. Минимальная инерционность срабатывания и высокая интенсивность подачи огнетушащего вещества позволяет ликвидировать возгорание в начальной стадии. Порошок движется в газовой смеси, быстро и равномерно заполняя весь объем.

В качестве критериев для анализа технологий и систем пожаротушения воспользуемся требованиями, предъявляемыми к

автоматическим установкам пожаротушения в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования» (таблица 2).

Автоматические установки пожаротушения должны обеспечивать:

- срабатывание в течение времени менее начальной стадии развития пожара и одновременно выполнять функцию пожарной сигнализации;
- локализацию пожара в течение времени, необходимого для введения в действие оперативных сил и средств, в том числе подразделений пожарной охраны;
- тушение пожара с целью его ликвидации;
- интенсивность подачи и концентрация огнетушащего вещества;
- требуемую надежность функционирования.

Дополнительно, при выборе того или иного типа автоматической установки пожаротушения, следует обращать внимание на следующие факторы:

- безопасность установки – безопасность систем пожаротушения по отношению к персоналу на защищаемом объекте, и к

оборудованию и материальным ценностям, которые там находятся;

- эффективность борьбы с пожаром – сюда относится эффективность борьбы с пожаром определенного класса на конкретном объекте, а также скорость нейтрализации очагов возгорания того или иного вида;

- эксплуатационные характеристики автоматических установок пожаротушения – простота монтажа, техническое обслуживание и поддержание в рабочем состоянии;

- экономическая эффективность – сюда относится эффективность от снижения затрат на строительство и эксплуатацию защищаемых объектов, в случае реализации того или иного типа автоматической установки пожаротушения.

В таблице представлена сводная информация оценки автоматических установок пожаротушения по ключевым характеристикам.

По причине невозможности и (или) неэффективности применения для тушения резервуаров для хранения ЛВЖ и ГЖ в сводной информации (таблица) не рассматриваются такие типы автоматических установок пожаротушения: водяной, аэрозольный, порошковый.

Таблица. Информация оценки автоматических установок пожаротушения по ключевым характеристикам

№ п/п	Значимые характеристики	Ед. изм.	Тип автоматической установки пожаротушения				
			Пенное			Газовое	Комбинированное газопорошковое
			комбинированное (подслойное (нижний пояс РВС) и верхний пояс РВС)	Подслойное (нижний пояс РВС)	Верхний пояс РВС		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Времени срабатывания	сек.	не более 3			не более 15	не более 20
2.	Инерционность	сек.	от 30 до 180			до 30	
3.	Выполнение функции пожарной сигнализации	-	да	да	да	да	да
4.	Время локализации пожара	мин.	до 10	до 10	до 15	до 0,7	до 2
5.	Эффективность огнетушащего вещества	-	высокая, используются вода и пенообразователь			высокая, используются сжиженные и сжатые газы	высокая, используются огнетушащий порошок и огнетушащий газ

№ п/п	Значимые характеристики	Ед. изм.	Тип автоматической установки пожаротушения				
			Пенное			Газовое	Комбиниро- ванное газо- порошковое
			комбиниро- ванное (под- слойное (нижний пояс РВС) и верхний пояс РВС)	Подслойное (нижний пояс РВС)	Верхний пояс РВС		
1	2	3	4	5	6	7	8
6.	Эффективность ту- шения с целью лик- видации пожара	-	высокая, не зависимо от объема РВС	высокая, не зависимо от объема РВС	высокая, не зависимо от объема РВС	высокая, РВС до 10000 м³	высокая, РВС до 10000 м³
7.	Надежность функ- ционирования: – возможность мно- гозарового исполь- зования, – температурный диапазон эксплуа- тации	- °C	Да +50 до -50	да +50 до -50	да +50 до -50	да +50 до -50	да +50 до -50
8.	Экологическая без- опасность	-	негативное влияние на растительный и животный мир			оказывает влияние на озоновый слой	загрязнение атмосфер- ного воздуха, негативное влияние на растительный и животный мир
9.	Эксплуатационные расходы	-	закупка огнетушащего вещества, испытание огнетушащего вещества, отсутствие необходимости отправки оборудования для проведения перио- дических испытаний в сертификацион- ных центрах, минимальный штат ква- лифицированных работников			обслуживание системы (штат квалифицированных работников по нескольким направлениям (газобаллон- ное оборудование (ГБО), трубопроводы, КИПиА), за- правка ГБО огнетушащим веществом, запасные ча- сти КИПиА, испытание и подтверждение соответ- ствия ГБО сертификацион- ными центрами	
10.	Экономическая со- ставляющая	-	высокая стоимость строительства, простота в обслуживании, возможность замены оборудования в пределах объ- екта, доступность запасных деталей отечественного производства			высокая стоимость моду- лей и дополнительного оборудования, большое ко- личество приборов элект- роуправления, отсутствие возможности заправки ГБО в пределах объекта, при- боры контроля и пуска в большей части импортного производства, незначи- тельное количество серти- фикационных центров за- правки ГБО – в основном расположены в крупных ад- министративных городах	

В результате анализа сводной информации (таблица) можно сделать выводы о том, что технические и эксплуатационные характеристики, влияющие на эффективность локализации и тушения пожара по всем рассматриваемым установкам автоматического пожаротушения, в той или иной степени аналогичным, не отклоняются от нормативных требований пожарной безопасности.

Отметим ряд особенностей, которые значительно влияют на выбор установок автоматического пожаротушения для защиты резервуаров хранения ГЖ, ЛВЖ:

– независимо от применяемого огнетушащего вещества в установках автоматического пожаротушения товарного парка, согласно требованиям СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности», наземные резервуары объемом 5000 м³ и более оборудуются стационарными установками охлаждения, подключенными к сети противопожарного водопровода. Соответственно, неизбежны капитальные затраты на строительство и эксплуатацию капитальных инженерных сооружений (противопожарная насосная станция, сети противопожарного водопровода, резервуары запаса воды на пожарные нужды и т.д.). Учитывая обязательность применения такого огнетушащего вещества как вода для защиты резервуаров товарного парка, соответственно, экономически выгодным выбором типа установки пожаротушения станут установки пенного пожаротушения;

– установки газового и газопорошкового автоматического пожаротушения эффективны только на резервуарах объемом 10 000 м³. Данные обстоятельства повлекут определенные ограничения и дополнительные затраты на модернизацию системы пожаротушения товарного парка при необходимости защиты резервуаров более 10 000 м³ – потребуются капитальные затраты на строительство и эксплуатацию капитальных инженерных сооружений для монтажа дополнительной установки автоматического пожаротушения;

– эксплуатационные расходы на установки газового и газопорошкового автоматического пожаротушения значительно превышают эксплуатационные расходы на установки пенного пожаротушения. Так, для их обслуживания требуется больший штат квалифицированных работников (газобаллонное оборудование, трубопроводы, КИПиА), газобаллонное оборудование требует периодических испытаний в сертификационных центрах с выпуском и заправкой огнетушащего вещества. Сертификационные центры в основной своей массе располагаются в крупных городах, что дополнительно приводит к значительным транспортным расходам, необходимости наличия резервного запаса модулей пожаротушения, либо организации собственного сертифицированного центра. Немаловажный фактор – приборы контроля и пуска установки газового и газопорошкового автоматического пожаротушения в большей части импортного производства. В зависимости от огнетушащего вещества его стоимость может превышать 3–5 раз стоимость пенообразователей для тушения пожаров, используемых в автоматических установках пенного пожаротушения.

Заключение

Анализ экономических, экологических, технических и эксплуатационных характеристик автоматических установок пожаротушения показал, что наибольшее количество положительных факторов, влияющих на эффективность обеспечения пожарной безопасности резервуарных парков, имеют автоматические установки пенного пожаротушения.

Ограниченность обязательных требований к выбору типа автоматических установок пожаротушения и отсутствие методики выбора типа автоматических установок пожаротушения указывают на необходимость разработки соответствующей методики подбора типа автоматических установок пожаротушения и огнетушащих веществ для защиты резервуарных парков предприятий нефтегазовой отрасли.

Список литературы

1. Бабуров В. П., Бабуринов В. В., Фомин В. И. Автоматические установки пожаротушения. Вчера. Сегодня. Завтра. – М.: Пожнаука, 2007. – 294 с.
2. Смирнов Н. В. Установки пожаротушения: проектирование, монтаж, техническая эксплуатация. Сборник учебно-методических материалов. – М.: НОУ «Такир», 1998. – 104 с.
3. Котляревский В. А., Шаталов А. А., Ханухов Х. М. Безопасность резервуаров и

трубопроводов. – М.: Экономика и информатика, 2000. – 553 с.

4. Волков О. М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 397 с.

5. Смирнов Н. В., Цариченко С. Г., Копылов Н. П. Нормативно-техническая документация о проектировании, монтаже и эксплуатации автоматических установок пожаротушения. Учебно-методическое пособие. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2000. – 171 с.

6. Буцынская Т. А., Членов А. Н. Выбор вида автоматической установки пожаротушения на основе функции полезности Харрингтона-Менчера // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 1 (50). С. 57-64. EDN: QXXRWA.

References

1. Baburov V. P., Baburin V. V., Fomin V. I. *Avtomaticheskie ustanovki pozharotusheniya. Vchera. Segodnya. Zavtra* [Automatic Fire Extinguishing Systems. Yesterday. Today. Tomorrow]. – Moscow: Pozhnauka, 2007. – 294 p.
2. Smirnov, N. V. *Ustanovki pozharotusheniya: proektirovanie, montazh, tekhnicheskaya ekspluatsiya. Sbornik uchebno-metodicheskikh materialov* [Fire extinguishing installations: design, installation, technical operation. Collection of educational and methodological materials.]. – Moscow: NOU «Takir», 1998. – 104 p.
3. Kotlyarevskij V. A., Shatalov A. A., Hanuhov N. M. *Bezopasnost' rezervuarov i*

truboprovodov [Tank and pipeline safety]. – Moscow: Ekonomika i informatika, 2000. – 553 p.

4. Volkov O. M. *Pozharnaya bezopasnost' rezervuarov s nefteproduktami* [Fire safety of oil product tanks]. – SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta, 2010. – 397 p.

5. Smirnov N. V., Carichenko S. G., Kopylov N. P. *Normativno-tekhnicheskaya dokumentatsiya o proektirovanii, montazhe i ekspluatsii avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya. Uchebno-metodicheskoe posobie* [Regulatory and technical documentation on the design, installation and operation of automatic fire extinguishing systems. Educational and methodological manual]. – Moscow: VNIPO MChS Rossii, 2000. – 171 p.

6. Bucynskaya T. A., Chlenov A. N. *Vy`bor vida avtomaticheskoy ustanovki pozharotusheniya na osnove funktsii poleznosti Xarringtona-Menchera* [Selection of the type of automatic fire extinguishing system based on the Harrington-Mencher utility function]. *Sovremennyye problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2024, vol. 1 (50), pp. 57-64. EDN: QXXRWA.

Немкин Игорь Николаевич

ПАО «Сургутнефтегаз»,

Российская Федерация, г. Сургут, ХМАО-Югра,

Заместитель главного инженера ПАО «Сургутнефтегаз» – начальник управления промышленной безопасности и охраны труда

E-mail: nemkin.igor@yandex.ru

Nemkin Igor Nikolaevich

Surgutneftegas PJSC,

Russian Federation, Surgut, Khanty-Mansiysk region – UGRA

Deputy Chief Engineer – Division Head, Occupational Health and Safety Division of Surgutneftegas PJSC

E-mail: nemkin.igor@yandex.ru

Распопин Егор Евгеньевич

ПАО «Сургутнефтегаз»,

Российская Федерация, г. Сургут, ХМАО-Югра,

Заместитель директора научно-исследовательского института «СургутНИПИнефть» по проектированию

E-mail: dollar1102@gmail.com

Raspopin Egor Evgenievich

Surgutneftegas PJSC,

Russian Federation, Surgut, Khanty-Mansiysk region – UGRA

Deputy Director for Design of Surgut Research & Designing Institute «SurgutNIPIneft» Surgutneftegas PJSC

E-mail: dollar1102@gmail.com