Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 136–146
Agrarian Scientific Journal. 2023;(6):136–146

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья
УДК 614.8
doi: 10.28983/asj.y2023i6pp136-146

# Обоснование условий функционирования складов нефтепродуктов предприятия АПК в соответствии с требованиями пожарной безопасности

**Анатолий Петрович Савельев[1], Владимир Степанович Шкрабак[2], Сергей Викторович Глотов[1], Светлана Анатольевна Еналеева[1], Александр Михайлович Чугунов[3], Роман Владимирович Шкрабак[2]**
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», г. Саранск, Россия.
[2] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, г. Санкт-Петербург-Пушкин, Россия
[3]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России им. Героя России Е.Н. Зиничева», г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: tbsap52@mail.ru

***Аннотация.*** Исследования показали, что при оценке условий безопасности возможно использовать методики расчетов последствий воздействия поражающих факторов пожара и взрыва: тепловое излучение пожара пролива; тепловое воздействие продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки; ударная волна при сгорании паровоздушного облака; тепловое излучение огненного шара Одновременно требуется проведение дополнительных исследований с целью корректировки нормативно-правовой базы в области пожарной безопасности.

***Ключевые слова:*** агропромышленный комплекс; склады нефти и нефтепродуктов; условия безопасного функционирования; противопожарное расстояние.
***Для цитирования:*** Савельев А. П., Шкрабак В.С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В. Обоснование условий функционирования складов нефтепродуктов предприятия АПК в соответствии с требованиями пожарной безопасности // Аграрный научный журнал, 2023. № 6. С. 136–146. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp136-146.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

# Optimization of fire safety measures at the agribusiness protection facility with a mass stay of people

**Anatoly P. Savelyev[1], Vladimir S. Shkrabak[2], Sergey V. Glotov[1], Svetlana A. Enaleeva[1], Aleksandr M. Chugunov[3], Roman V. Shkrabak[2]**
[1] Mordovia State University named after N. P. Ogarev, Saransk, Russia
[2] St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg – Pushkin, Russia.
[3] Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, St. Petersburg, Russia
e-mail: tbsap52@mail.ru.

***Abstract.*** Studies have shown that when assessing safety conditions, it is possible to use methods for calculating the consequences of exposure to damaging factors of fire and explosion: thermal radiation of a strait fire; thermal effects of combustion products of a vapor-air cloud in the event of a flash fire; shock wave during combustion of a vapor-air cloud; thermal radiation of a fireball. At the same time, additional research is required in order to adjust the regulatory framework in the field of fire safety.

***Keywords:*** agro-industrial complex; warehouses of oil and oil products; conditions for safe functioning; fire distance.
***For citation:*** Savelyev A.P., Shkrabak V.S., Glotov S.V., Enaleeva S.A., Chugunov A.M., Shkrabak R.V. Optimization of fire safety measures at the agribusiness protection facility with a mass stay of people. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(6):136–146. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp136-146.

©Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

***Введение.*** В развитии агропромышленного комплекса страны прослеживается тенденция создания крупных широкопрофильных предприятий, вбирающих в себя ранее существовавшие мелкие предприятия (колхозы, совхозы и т.п.), для реализации полного цикла сельскохозяйственного производства с поставкой продукции конечному потребителю. Это требует локализации ресурсов, в том числе и топливно-энергетических. Одновременно изменение структуры промышленности и развитие сетей корпоративных автозаправочных станций в значительной степени высвободило из использования склады нефтепродуктов в качестве промежуточных элементов хранения соответствующей продукции. Это касается и Республики Мордовии.

Совокупность вышеуказанных процессов предполагает возможность использования имеющейся инфраструктуры крупными агропредприятиями, которые приобретают существующие, но выведенные из активной эксплуатации склады нефтепродуктов. При реконструкции складов под свои нужды зачастую возникают проблемы, связанные с наличием на прилегающей к складам территории объектов общественного назначения, так как необходимо проходить разрешительные процедуры на соответствие условиям безопасной работы в изменившейся ситуации.

Одним из условий безопасности является обеспечение противопожарных расстояний от зданий и сооружений складов нефтепродуктов до граничащих с ними объектов иного назначения [2, 15].

Исследования показали, что при оценке условий безопасности возможно использовать методики расчетов последствий воздействия поражающих факторов пожара и взрыва: тепловое излучение пожара пролива; тепловое воздействие продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки; ударная волна при сгорании паровоздушного облака; тепловое излучение огненного шара [28–30]. Одновременно требуется проведение дополнительных исследований с целью корректировки нормативно-правовой базы в области пожарной безопасности.

Обозначенные исследования выполнялись на примере территории Республики Мордовии, где до 2000 г. размещалось около десятка складов нефти и нефтепродуктов с категорией складов от IIIа до IIIв [15]. До сегодняшнего времени большинство из них утратили свою прежнюю значимость. Кроме того, был ослаблен надзор за соблюдением требований безопасности. Отдельные объекты на складах нефтепродуктов фактически были распроданы и функционально выведены из территорий складов. Это привело к тому, что на территории отдельных складов нефтепродуктов фактически существуют объекты общественного назначения, функционально не связанные с основным назначением.

Решение видится либо в возвращении ранее утраченных объектов в структуру склада нефтепродуктов, что требует значительных финансовых затрат и согласия на сделку собственников этих объектов, либо проведения исследований фактически существующих объектов с целью возможности их функционирования и оценки их соответствия требованиям пожарной безопасности, а также принятия дополнительных мер в этой сфере.

Существующая нормативная и правовая база в области пожарной безопасности [2, 15] позволяет провести такие исследования, тем более если обеспечить соблюдение требований пожарной безопасности без демонтажа строений не представляется возможным.

Требования пожарной безопасности к объектам хранения нефти и нефтепродуктов регламентированы федеральным законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2] и СП 155.13130.2014 [15].

Требования пожарной безопасности объектов общественного назначения регламентированы комплексом нормативно-правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности [1–14]. Проблемы профилактики от пожаров на объектах АПК нашли отражение в ряде изданий [20, 21].

В рамках данного исследования предлагаются к рассмотрению результаты проведенных исследований по обоснованию условий функционирования склада нефти и нефтепродуктов предприятия АПК на территории временно выведенной из эксплуатации районной нефтебазы Республики Мордовия, проблемы обоснованности отдельных требований пожарной безопасности на основании проведенных расчетов.

***Методика исследований.*** В ходе исследования применялись следующие методы: аналитический, натурного обследования и сопоставления.

***Результаты исследований.*** Ранее в структуру нефтебазы категории IIIв по СП 155.13130.2014 [15] входило здание административного назначения. К моменту реанимации нефтебазы под склад нефтепродуктов предприятия у этого здания появился собственник. Это здание имеет II степень огнестойкости,

© Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

класс конструктивной пожарной опасности С0, класс по функциональной пожарной опасности Ф 3.6 (фитнес-центр) [2] и функционально не связано со складом нефтепродуктов.

Расстояние от объектов склада нефтепродуктов до этого здания не соответствует нормативным требованиям (100 м). В частности, расстояние от автомобильной сливо-наливной эстакады до здания фитнес-центра составляет 76 м (рис. 1), что является нарушением требований Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2], и СП 155.13130.2014 [15]. Вместе с тем, это расстояние не превышает регламентированного СП 155.13130.2014 [15], противопожарного расстояния, если бы здание входило в состав склада нефтепродуктов.

***Рис. 1. Склад нефти и нефтепродуктов***

Автомобильная сливо-наливная эстакада представляет собой наружную установку, расположенную под навесом и объединяющую в себе 6 наливных стояков для отпуска светлых нефтепродуктов: дизельного топлива и автомобильных бензинов. Максимальный объем топлива, перевозимого автоцистерной, составляет 8 м$^3$.

Приоритетной целью данного исследования являлось определение степени выполнения противопожарных мероприятий, влияющих на обеспечение безопасности людей, находящихся в общественном здании. Площадь исследуемого общественного здания составляет 256,9 м$^2$. Объем – 913,1 м$^3$.

При определении соответствия требованиям пожарной безопасности общественного здания были рассмотрены следующие вопросы:

исследование обеспеченности здания подъездами для пожарных машин;

исследование мероприятий по обеспечению предотвращения распространения пожара и пределов огнестойкости несущих конструкций здания;

исследование наружного противопожарного водоснабжения;

исследование обеспечения безопасности при эвакуации из здания;

исследование системы электроснабжения на соответствие требованиям пожарной безопасности;

исследование автоматической системы пожарной сигнализации (СПС) и системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ);

исследование системы отопления и вентиляции на соответствие требованиям пожарной безопасности;

оснащенность первичными средствами пожаротушения.

Проведенными исследованиями установлено следующее.

К исследуемому общественному зданию обеспечен подъезд со всех сторон, что соответствует требованиям пожарной безопасности.

©Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

Конструктивное исполнение здания соответствует II степени огнестойкости, что, с учетом площади и этажности здания, соответствует требованиям СП 2.13130.2020 [5].

На прилегающей территории к зданию и территории нефтебазы имеются находящие в рабочем состоянии пожарные гидранты и искусственные противопожарные водоемы, обеспечивающие требуемый расход воды на наружное пожаротушение (10 л/с в соответствии с СП 8.13130.2020 [11]).

Эвакуационные выходы из здания соответствуют требованиям пожарной безопасности, предусмотренным Федеральным законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2] и СП 1.13130 [4].

Нарушения требований пожарной безопасности [16-19], предъявляемые к системе электроснабжения, не выявлены.

Нарушений требований пожарной безопасности, предусмотренных СП 7.13130 [10], в системах отопления и вентиляции не выявлено.

В исследуемом общественном здании количество и расстановка первичных средств пожаротушения соответствуют требованиям пожарной безопасности, предусмотренным Правилами противопожарного режима в Российской Федерации [3].

СПС и СОУЭ в здании соответствуют требованиям пожарной безопасности, предусмотренным СП 484.1311500 [7].

Таким образом, здание общественного назначения соответствует требованиям пожарной безопасности. Вместе с тем, оно размещено на прилегающей территории к складу нефтепродуктов на расстоянии от автомобильной сливо-наливной эстакаде менее нормативного, что является нарушением действующих требований [2, 15].

В имеющихся нормативных источниках и результатах исследований минимальное расстояния от объектов хранения нефтепродуктов до соседних зданий, сооружений и строений не обосновано [15]. Нормативные требования к расстояниям между указанными объектами, предположительно, могут предъявляться, исходя из технико-экономических показателей, в том числе, степени возможного ущерба соседним объектам, причиненного в результате возникновения пожаровзрывоопасных ситуаций на сооружениях складов нефтепродуктов с учетом статистики их возникновения.

Анализ значений показателей, приведенных в Федеральном законе «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2] и в СП 155.13130.2014 [15], показывает, что величина противопожарных расстояний между зданиями, сооружениями складов нефти и нефтепродуктов и граничащими с ними объектами, в частности, общественного назначения, не изменяются в зависимости от категории склада нефтепродуктов и составляют 100 метров (за исключением склада категории I), что дает основания предполагать, что данные расстояния не обоснованы какими-либо расчетами и носят чисто нормативный характер.

В рамках данного исследования был проведен сравнительный анализ степени воздействия поражающих факторов пожара (тепловое излучение) и взрыва (ударная волна), возникающих при аварийных пожароопасных ситуациях на автомобильной сливо-наливной эстакаде [22], на исследуемое здание общественного назначения при требуемом (100 м) и фактическом (76 м) расстоянии между данными объектами.

Исходя из анализа источников [23–30] были определены четыре основных поражающих фактора пожара и взрыва, определение последствий которых проводилось в соответствии с порядком вычисления расчетных величин пожарного риска на объекте [30].

*1. Тепловое излучение пожара пролива*

При проливе жидкости на неограниченную поверхность площадь пролива вычисляется по следующей формуле:

$$F_{пр} = f_p \cdot V_{ж},$$

где $f_p$ – коэффициент разлития (при отсутствии данных допускается принимать равным 150 м$^{-1}$ при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие, 20 м$^{-1}$ при проливе на грунтовое покрытие); $V_{ж}$ – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, м$^3$.

© Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023



АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
6
2023

Эффективный диаметр пролива определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{пр}}{\pi}}.$$

Высота пламени пожара пролива, м, вычисляется по следующей формуле:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left[ \frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right]^{0,61},$$

где $m'$ – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м²·с), $\rho_a$ – плотность окружающего воздуха, кг/м³; $g$ – ускорение свободного падения, принимаемое равным 9,81 м/с².

Угловой коэффициент облученности $F_q$ определяется по формуле

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2},$$

где $F_V$, $F_H$ – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые с помощью выражений:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{S} \cdot arctg\left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ arctg\left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot arctg\left( \sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}} \right) \right\} \right]$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{(B - 1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot arctg\left( \sqrt{\frac{(B+1)\cdot(S-1)}{(B-1)\cdot(S+1)}} \right) - \frac{(A - 1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot arctg\left( \sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}} \right) \right]$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S},\ B = \frac{1 + S^2}{2 \cdot S},\ S = \frac{2 \cdot r}{d},\ h = \frac{2 \cdot H}{d},$$

где $r$ – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

Коэффициент пропускания атмосферы $\tau$ для пожара пролива определяется по следующей формуле:

$$\tau = \exp\left[ -7 \cdot 10^{-4} (r - 0{,}5 \cdot d) \right].$$

Интенсивность теплового излучения $q$ (кВт/м²) для пожара пролива вычисляется по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau,$$

где $E_f$ – среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м².

Критическая интенсивность теплового потока для горючих материалов, которые входят в конструкции облучаемого объекта, определяется по справочным данным и сравнивается с рассчитанным значением интенсивности теплового излучения пожара пролива [28–30]. После чего можно сделать вывод о возможности воспламенения горючих конструкций облучаемого объекта.

*2. Тепловое воздействие продуктов сгорания паровоздушного облака в случае пожара-вспышки*

Сгорание паровоздушной смеси в свободном пространстве при зажигании источником с малым тепловым импульсом (искра) обычно происходит с малыми видимыми скоростями пламени. Амплитуды волны давления не принимаются во внимание при оценке поражающего воздействия в связи с их малозначительностью. Реализуется так называемый «пожар-вспыш-

©Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

ка», при котором зона поражения совпадает с максимальным размером облака продуктов сгорания [28–30].

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака $R_F$ определяется по следующей формуле:

$$R_F = 1{,}2 \cdot R_{НКПР},$$

где $R_{НКПР}$ – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, определяемый для легковоспламеняющихся жидкостей по формуле:

$$R_{НКПР} = 3{,}2 \cdot \sqrt{\frac{T}{3600}} \cdot \left(\frac{P_H}{C_{НКПР}}\right)^{0{,}8} \cdot \left(\frac{m_n}{\rho_n \cdot P_H}\right)^{0{,}33},$$

где $T$ – продолжительность поступления паров в открытое пространство, но не более 3600 с; $P_H$ – давление насыщенных паров при расчетной температуре, кПа; $C_{НКПР}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени паров, % об.; $m_n$ – масса паров, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, но не более 3600 с, определяемая по формуле

$$m_n = F_{пр} \cdot W \cdot \tau_E,$$

где $W$ – интенсивность испарения, определяемая по формуле:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H,$$

где $\eta$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от скорости воздушного потока и температуры окружающего воздуха, для открытых пространств допускается принимать равным 1; $M$ – молярная масса жидкости, кг/кмоль.

$\rho_n$ – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, определяемая по формуле

$$\rho_n = \frac{M}{22{,}4 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot t)},$$

где $t$ – расчетная температура, °С.

Давление насыщенных паров можно определить по уравнению Антуана:

$$\lg P_H = A - \frac{B}{C_A + t},$$

где $A$, $B$, $C_A$ – константы уравнения Антуана, определяемые по справочным данным.

В случае если радиус воздействия продуктов сгорания больше, чем расстояние до рассматриваемого объекта, то данный объект попадает в зону поражения тепловым излучением пожара-вспышки.

*3. Ударная волна при сгорании паровоздушного облака*

Методика количественной оценки параметров воздушных волн давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака (далее – облако) [28–30] распространяется на случаи выброса горючих газов, паров или пыли в атмосферу.

Режим сгорания облака выбирается исходя из степени загроможденности окружающего пространства и класса горючего вещества по отношению к чувствительности ко взрыву.

Бензин [22, 23] по чувствительности ко взрыву относится к классу 3, режим сгорания на открытом пространстве относится к классу 5.

Скорость фронта пламени определяется по формуле

$$u = 43 \cdot m_n^{1/6}.$$

© Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

Величина безразмерного расстояния рассчитывается по следующей формуле:

$$R_x = \frac{R}{\left(E/P_0\right)^{1/3}},$$

где $R$ – расстояние от центра облака, м; $E$ – эффективный энергозапас смеси, Дж; $P_0$ – атмосферное давление, Па.

Величины безразмерного давления и импульса фазы сжатия для классов 2–6 режима сгорания облака рассчитываются по формулам:

$$P_{x1} = \left(\frac{u^2}{C_0^2}\right)\cdot\left(\frac{\sigma-1}{\sigma}\right)\cdot\left(\frac{0{,}83}{R_x} - \frac{0{,}14}{R_x^2}\right);$$

$$I_{x1} = W\cdot(1-0{,}4\cdot W)\cdot\left(\frac{0{,}06}{R_x} + \frac{0{,}01}{R_x^2} - \frac{0.0025}{R_x^3}\right);$$

$$W = \frac{u}{C_0}\cdot\left(\frac{\sigma-1}{\sigma}\right),$$

где $\sigma$ – степень расширения продуктов сгорания (для газопаровоздушных смесей допускается принимать равным 7, для пылевоздушных смесей 4); $u$ – видимая скорость фронта пламени, м/с; $C_0$ – скорость звука в воздухе (может быть принята 340 м/с).

Формулы для расчета безразмерного давления и импульса фазы сжатия справедливы для значений $R_x$ больших величины $R_{кр1} = 0{,}34$, в случае, если $R_x < R_{кр1}$, в формулы вместо $R_x$ подставляется величина $R_{кр1}$.

Размерные величины избыточного давления и импульса фазы сжатия определяются по следующим формулам:

$$\Delta P = P_x \cdot P_0,$$

$$I^+ = I_x \cdot P_0^{2/3} \cdot E^{1/3} / C_0 .$$

В зависимости от величины избыточного давления определяется степень поражения рассматриваемого объекта либо по детерминированным, либо по вероятностным критериям.

*4. Огненный шар*

Интенсивность теплового излучения огненного шара определяется аналогично интенсивности теплового излучения пожара пролива:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau,$$

где $E_f$ допускается принимать равной 450 кВт/м$^2$.

Значение $F_q$ определяется по формуле

$$F_q = \frac{H/D_S + 0{,}5}{4\cdot[(H/D_S + 0{,}5)^2 + (r/D_S)^2]^{1.5}},$$

где $H$ – высота центра огненного шара, м; $D_S$ – эффективный диаметр огненного шара, м; $r$ – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Эффективный диаметр огненного шара $D_S$, м, определяется по формуле

$$D_S = 5{,}33\cdot m^{0{,}327},$$

величину $H$ допускается принимать равной $D_S/2$.

©Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

Время существования огненного шара $t_S$, с, определяется по формуле

$$t_S = 0{,}92 \cdot m^{0{,}303}.$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывается по формуле

$$\tau = \exp[-7{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_S / 2)].$$

В случае если радиус огненного шара (половина эффективного диаметра) больше, чем расстояние до рассматриваемого объекта, то данный объект попадает в зону поражения тепловым излучением огненного шара.

*5. Вычисление пробит-функции*

Детерминированные критерии поражения избыточным давлением при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей зданий и людей, в том числе находящихся в здании [27], приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Детерминированные критерии поражения людей и зданий избыточным давлением ударной волны**

| Степень поражения | Избыточное давление, кПа |
|---|---|
| Полное разрушение зданий | 100 |
| 50%-е разрушение зданий | 53 |
| Средние повреждения зданий | 28 |
| Умеренные повреждения зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т.п.) | 12 |
| Нижний порог повреждения человека волной давления | 5 |
| Малые повреждения (разбита часть остекления) | 3 |

В качестве вероятностного критерия поражения используется понятие пробит-функции [27]. В общем случае пробит-функция Pr описывается формулой:

$$\Pr = a + b \cdot \ln S,$$

где *a, b* – константы, зависящие от степени поражения и вида объекта; *S* – интенсивность воздействующего фактора.

Пробит-функции для разрушения зданий имеют следующий вид:

для тяжелых разрушений:

$$\Pr = 5{,}0 - 0{,}26 \cdot \ln V;$$

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P}\right)^{8{,}4} + \left(\frac{290}{I^+}\right)^{9{,}3};$$

для полного разрушения:

$$\Pr = 5{,}0 - 0{,}22 \cdot \ln V;$$

$$V = \left(\frac{40000}{\Delta P}\right)^{7{,}4} + \left(\frac{460}{I^+}\right)^{11{,}3}.$$

Расчет поражающих факторов пожара и взрыва

Исходные данные для проведения расчетов представлены в табл. 2.

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Так как величины пробит-функции для поражающего воздействия избыточного давления при вспышке паровоздушного облака получились отрицательными, то данный фактор не представляет опасности.

© Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

Таблица 2

**Исходные данные для проведения расчетов.**

| № п/п | Параметр | | Значение |
|---|---|---|---|
| 1 | Марка топлива | | Бензин “Регуляр-92” |
| 2 | Объем топлива, м$^3$ | | 8 |
| 3 | Плотность топлива, кг/м$^3$ | | 780 |
| 4 | Масса топлива цистерне, кг | | 6240 |
| 5 | Коэффициент разлития, м$^{-1}$ | | 150 |
| 6 | Расчетная температура, °С | | 39 |
| 7 | Среднеповерхностная интенсивность излучения при горении пролива, кВт/м$^2$ | | 47 |
| 8 | Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м$^2$·с) | | 0,06 |
| 9 | Расстояние от центра пролива (облака) до объекта, м | | 76 (100) |
| 10 | Нормальная температура кипения, К | | 400 |
| 11 | Давление насыщенных паров, кПа | | 37,35 |
| 12 | Интенсивность испарения, кг/(м$^2$·с) | | $3{,}7 \cdot 10^{-4}$ |
| 13 | Плотность паров бензина, кг/м$^3$ | | 3,83 |
| 14 | Плотность воздуха, кг/м$^3$ | | 1,14 |
| 15 | Масса паров, кг | | 1599,1 |
| 16 | Площадь пролива, м$^2$ | | 1200 |
| 17 | Эффективный диаметр пролива, м | | 39,1 |
| 18 | Высота пламени, м | | 44,5 |
| 19 | Угловой коэффициент облученности | | 0,0962 (0,0577) |
| 20 | Коэффициент пропускания атмосферы | | 0,961 (0,945) |
| 21 | Скорость фронта пламени, м/с | | 147,0 |
| 22 | Импульс фазы сжатия, Па·с | | 14,78 (11,16) |
| 23 | Безразмерное расстояние | | 5,46 (7,18) |
| 24 | Константы уравнения Антуана | A | 4,12311 |
| 25 | | B | 664,976 |
| 26 | | $C_A$ | 221,695 |
| 27 | Молярная масса, кг/кмоль | | 98,2 |
| 28 | НКПР, % об. | | 1,06 |
| 29 | Коэффициент испарения, η | | 1 |
| 30 | Время испарения, с | | 3600 |

Таблица 3

**Результаты расчетов**

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Интенсивность теплового излучения, кВт/м$^2$ | 4,35 (2,56) |
| Радиус воздействия продуктов сгорания, м | 147,2 |
| Избыточное давление, кПа | 2,39 (1,83) |
| Эффективный диаметр огненного шара, м | 92,8 |
| Пробит-функция для тяжелых разрушений | -2,20 (-2,88) |
| Пробит-функция для полного разрушения | -3,55 (-4,25) |

Таким образом, на основании проведенных исследований можно заключить следующее.

1. Интенсивность теплового излучения при горении пролива, произошедшего на сливо-наливной эстакаде, при изменении расстояния от 100 до 76 м приводит к увеличению плотности теплового излучения на 70 % и составляет 4,35 кВт/м$^2$, что не приведет к воспламенению горючих материалов, входящих в состав конструкций исследуемого общественного здания с внешней стороны, обращенной в сторону эстакады;

2. Независимо от расстояния в 76 или 100 м рассматриваемое исследуемое общественное здание попадает в зону воздействия продуктов горения при вспышке паровоздушного облака на сливо-наливной эстакаде;

3. При развитии аварии на сливо-наливной эстакаде с возникновением огненного шара рассматриваемое общественное здание не попадает в зону непосредственного воздействия огненного шара.

©Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

С учетом ранее приведенных результатов исследования склада нефтепродуктов и общественного здания на соответствие их требованиям пожарной безопасности можно заключить, что фактическое размещение данного здания и объектов склада нефтепродуктов не снижает уровень пожарной безопасности, что можно учитывать при реконструкции территории склада нефтепродуктов для нужд агропромышленного предприятия.

***Заключение.*** Встраивание складов нефти и нефтепродуктов в структуру крупных агропромышленных предприятий предполагает их реконструкцию с учетом объема и характеристик хранящегося топлива, а также требует учета уже сложившейся инфраструктурной сферы сельских населенных пунктов.

Проведенными исследованиями показана возможность при оценке пожарной опасности складов нефтепродуктов, реконструируемых для нужд предприятий агропромышленного комплекса, использовать методики расчетов последствий воздействия поражающих факторов пожара и взрыва. Что позволяет действительно оценить влияние этих факторов на расположенные рядом объекты общественного назначения.

Кроме того, результаты исследований продемонстрировали исключительно нормативный характер существующих требований пожарной безопасности по обеспечению противопожарных расстояний между зданиями и сооружениями складов нефти и нефтепродуктов и граничащими с ними объектами иного назначения, что потребует проведения дополнительных исследований с целью корректировки нормативно-правовой базы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ. «О пожарной безопасности» // СПС «Гарант».
2. Федеральный закон от 22.07.08 № 123-ФЗ «Технический регламент о пожарной безопасности» // СПС «Гарант».
3. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» // СПС «Гарант».
4. СП 1.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы // СПС «Гарант».
5. СП 2.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты // СПС «Гарант».
6. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности // СПС «Гарант».
7. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования // СПС «Гарант».
8. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям // СПС «Гарант».
9. СП 6.13130.2021. Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности» // СПС «Гарант».
10. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования // СПС «Гарант».
11. СП 8.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности // СПС «Гарант».
12. СП 10.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования // СПС «Гарант».
13. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения // СПС «Гарант».
14. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности // СПС «Гарант».
15. СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности // СПС «Гарант».
16. ПУЭ. Правила устройства электроустановок // СПС «Гарант».
17. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). Введены в действие с 1 июля 2003 г. // СПС «Гарант».
18. ВСН 59-88. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования // СПС «Гарант».
19. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий // СПС «Гарант».
20. Соколов А.В., Расчетин Г.А. Охрана сельскохозяйственных предприятий от пожаров. М., 1971. 214.
21. Зозуля В.М., Беспалый И.К., Логинов Ф.Л., Милеев Э.Б. Пожарная профилактика в промышленности и сельском хозяйстве. М., 1974. 387 с.
22. Автомобильные цистерны для транспортирования нефтепродуктов / К.В. Рыбаков [и др.]. М., 1979. 160 с.
23. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения: Справ. изд.: в 2 кн.; кн. 1 / А.Н. Баратов [и др.]. М., 1990. 496 с.
24. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения: Справ. изд.: в 2 кн.; кн. 2 / А.Н. Баратов[и др.]. М., 1990. 384 с.
25. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле / П.Н. Романенко [и др.]. М., 1977.


© Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023

26. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / пер. с англ. К.Г. Бомштейна; под ред. Ю.А. Комисарова, В.Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990.
27. Востоков В.Ю. К вопросу выбора вида пробит-функции для определения вероятности поражения человека ударной волной // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2008. Т. 15. № 1. С. 130-133.
28. Постановление Правительства РФ от 31.03.2009 №272 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска» // СПС «Гарант».
29. Приказ МЧС России №404 от 10.07.2009 года (зарегистрирован в МинЮсте РФ 17.08.2009 года, регистрационный №14541) // СПС «Гарант».
30. Приложение к приказу МЧС России №404 от 10.07.2009 года. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах // СПС «Гарант».

REFERENCES

1. Federal Law No. 69-FZ of 21.12.1994. “About fire safety”. URL: https://www.garant.ru/
2. Federal Law No. 123-FZ of 22.07.08 “Technical Regulations on fire safety”. URL: https://www.garant.ru/
3. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1479 dated 09/16/2020 “On approval of the Rules of the fire regime in the Russian Federation”. URL: https://www.garant.ru/
4. SP 1.13130.2020. Fire protection systems. Escape routes and exits. URL: https://www.garant.ru/
5. SP 2.13130.2020. Fire protection systems. Ensuring fire resistance of protection objects. URL: https://www.garant.ru/
6. SP 3.13130.2009. Fire protection systems. The system of notification and management of evacuation of people in case of fire. Fire safety requirements. URL: https://www.garant.ru/
7. SP 484.1311500.2020. Fire protection systems. Fire alarm systems and automation of fire protection systems. Norms and rules of design. URL: https://www.garant.ru/
8. SP 4.13130.2013. Fire protection systems. Limiting the spread of fire at protection facilities. Requirements for space-planning and design solutions. URL: https://www.garant.ru/
9. SP 6.13130.2021. Fire protection systems. Low-voltage electrical installations. Fire safety requirements”. URL: https://www.garant.ru/
10. SP 7.13130.2013. Heating, ventilation and air conditioning. Fire protection requirements. URL: https://www.garant.ru/
11. SP 8.13130.2020. Fire protection systems. Outdoor fire-fighting water supply. Fire safety requirements. URL: https://www.garant.ru/.
12. SP 10.13130.2020. Fire protection systems. Internal fire-fighting water supply. Norms and rules of design. URL: https://www.garant.ru/
13. SP 11.13130.2009. Locations of fire protection units. The procedure and methodology of determination. URL: https://www.garant.ru/
14. SP 12.13130.2009. Determination of categories of premises, buildings and outdoor installations for explosion and fire hazards. URL: https://www.garant.ru/.
15. SP 155.13130.2014. Warehouses of oil and petroleum products. Fire safety requirements. URL: https://www.garant.ru/.
16. PUE. Rules for the installation of electrical installations. URL: https://www.garant.ru/
17. Rules of technical operation of electrical installations of consumers (PTEEP). Entered into force on July 1, 2003. URL: https://www.garant.ru/.
18. VSN 59-88. Electrical equipment of residential and public buildings. Design standards. URL: https://www.garant.ru/
19. SP 31-110-2003. Design and installation of electrical installations of residential and public buildings. URL: https://www.garant.ru/.
20. Sokolov A.V., Raschetin G.A. Protection of agricultural enterprises from fires. Moscow, 1971. 214 p.
21. Zozulya V.M., Bespaly I.K., Loginov F.L., Mileev E.B. Fire prevention in industry and agriculture. Moscow, 1974. 387 p.
22. Automobile tanks for the transportation of petroleum products / K.V. Rybakov et al. Moscow, 1979. 160 p.
23. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them: Reference edition: in 2 books; book 1 / A.N. Baratov et al. Moscow, 1990. 496 p.
24. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them: Reference edition: in 2 books; book 2 / A.N. Baratov et al. Moscow,, 1990. – 384 p.
25. Thermodynamics and heat transfer in fire fighting / P.N. Romanenko et al. Moscow, 1977.
26. Drysdale D. Introduction to the dynamics of fires/ Translated from the English by K.G. Bomstein; edited by Yu.A. Komisarov, V.E. Makarov. Moscow, 1990.
27. Vostokov V.Yu. On the issue of choosing the type of probit function for determining the probability of a person being hit by a shock wave. *Review of Applied and Industrial Mathematics.* 2008; 15; 1: 130-133.
28. Decree of the Government of the Russian Federation of 31.03.2009 No. 272 “On the procedure for conducting calculations for assessing fire risk”. URL: https://www.garant.ru/
29. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 404 of 10.07.2009 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 17.08.2009, registration No. 14541). URL: https://www.garant.ru/
30. Appendix to the order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 404 of 10.07.2009. Methodology for determining the calculated values of fire risk at production facilities. URL: https://www.garant.ru/

*Статья поступила в редакцию 20.02.2023; одобрена после рецензирования 18.03.2023; принята к публикации 05.04.2023.*
*The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 18.03.2023; accepted for publication 05.04.2023.*

©Савельев А. П., Шкрабак В. С., Глотов С. В., Еналеева С. А., Чугунов А. М., Шкрабак Р. В., 2023