

УДК 614.841.4

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.41.98.010

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЖАРА В РАМКАХ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКОГО ПРАВИЛА МЕЖДУНАРОДНЫХ ДОКУМЕНТОВ О НЕОБХОДИМОСТИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБРАБОТКИ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ (АППАРАТОВ) СОДЕРЖАЩЕГО ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИЕСЯ, ГОРЮЧИЕ ЖИДКОСТИ И ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ

Калач А.В.¹ д.х.н., профессор; Клементьев Б.А.²

¹ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет

²Общество с ограниченной ответственностью «Арктик СПГ 2»

Аннотация. В Российской Федерации нормативными документами по пожарной безопасности требуемые пределы огнестойкости для опор технологических аппаратов/емкостей и конструкций этажерок на нефтегазовых объектах определены детерминированными значениями, при этом возможность применения альтернативных подходов, в том числе исходя из продолжительности пожара не реализован в российских нормативных документах. Один из альтернативных методов подробно изложен [7], который широко используется международными компаниями при определении необходимости пассивной противопожарной защиты.

На основании одного из методов на примере реального технологического модуля проведен расчет времени пожара пролива углеводородов в зависимости количества и типа горючих веществ, находящихся в технологических емкостях, с учетом различной площади растекания продукта. По результатам расчетов определены временные показатели продолжительности пожара. Полученные значения возможно использовать, как время эквивалентного пожара для дальнейшего решения задач по определению фактических пределов огнестойкости конструкций опор технологических аппаратов и конструкций этажерок.

Ключевые слова: предел огнестойкости, огнестойкость, вероятность возникновения пожара, продолжительность пожара, требования пожарной безопасности, строительная конструкция.

DETERMINATION OF THE DURATION OF A FIRE WITHIN THE FRAMEWORK OF CONFIRMING THE RULE OF THUMB OF INTERNATIONAL DOCUMENTS ON THE NEED FOR FIRE-RESISTANT TREATMENT OF SUPPORTING STRUCTURES OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT (APPARATUSES) CONTAINING FLAMMABLE, FLAMMABLE LIQUIDS AND FLAMMABLE GASES

Kalach A.V.¹ Ph.D. of Chemical Sciences, Full Professor; Klementev B. A.²

¹ Voronezh State Technical University

² Limited Liability Company Arctic LNG

Abstract. In the Russian Federation, fire safety regulations define the required fire resistance limits for the supports of technological equipment / tanks and equipment support structures at oil and gas facilities as deterministic values, while the possibility of using alternative approaches, including based on the duration of the fire, is not implemented in Russian regulations. One of the alternative methods is detailed [7], which is widely used by international companies when determining the need for passive fire protection.

On the basis of one of the methods, using the example of a real technological module, the calculation of the time of a fire of a hydrocarbon spill was carried out depending on the amount and type of combustible substances in the technological containers, taking into account the different spreading area of the product. Based on the results of calculations, the time indicators of the duration of the fire were determined. The obtained values can be used as the time of an equivalent fire for further solving issues of fire resistance rating of structures of supports of technological equipment and equipment support structures.

Key words: fire resistance rating, fire-resistance, risk assessment, duration of a fire, fire safety regulations, civil structure.

Введение

При разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности в рамках подготовки проектной документации для объектов нефтегазового комплекса, одной из главных задач, которую необходимо решить – это определение требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций зданий и сооружений. На сегодняшний день в нормативных документах по пожарной безопасности, а именно в ГОСТ Р 12.3.047-2012 [6] на основании работ [12, 13] изложена методика по определению требуемых пределов огнестойкости в зависимости от пожарной нагрузки и заданной надежности строительных конструкций, но в связи с отсутствием крупномасштабных исследований и достаточности исходных данных для проведения расчетов, указанная методика не нашла широкого практического применения при разработке проектной документации. Кроме этого возможность использования методики и соответственно обоснования пределов огнестойкости расчетным путем не закреплена ни одним нормативно правовым актом Российской Федерации по пожарной безопасности. Таким образом при разработке проектных решений, инженерами применяются требования нормативных документов по пожарной безопасности [1-5], регламентирующие детерминированные значения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций сооружений – технологических этажерок, эстакад трубопроводов и опорных конструкций технологический аппаратов (емкостей) нефтегазоперерабатывающих производств и объектов обустройства месторождений. Детерминированные требуемые пределы огнестойкости варьируются от 45 минут до 120 в зависимости от функционального и технологического назначения объектов и/или сооружений. При этом показатели огнестойкости строительных конструкций принимаются без учета количества (объема) и типа обращающихся легковоспламеняющихся и горючих веществ в технологическом оборудовании.

В соответствии с требованиями международных нормативных документов и стандартов нефтегазовых компаний, в том числе таких как [7, 8], широко развито применение подходов к определению требуемых пределов огнестойкости, основанных на вероятностном и/или расчетном подходе. Одним из таких подходов является методология, изложенная в [7] и описанная в работе [10], которая основана на зонах воздействия пожара и разделении технологического оборудования на категории – вероятности возникновения пожара: высокой, средней, низкой, нулевой. Некоторыми стандартами международных нефтегазовых компаний к категории высокой вероятности возникновения пожара относится оборудование (аппараты), содержащее легковоспламеняющиеся и горючие жидкости или сжиженный газ, в достаточном количестве для образования пролива жидкости, и способного гореть в течение времени при котором возможен риск разрушения оборудования и строительных конструкций. К такому оборудованию могут относиться статическое оборудование как: теплообменники, аппараты

воздушного охлаждения, технологические сосуды, емкости и аппараты, колонны, печи с огневым подогревом и другое аналогичное оборудование, содержащие более 5 тонн ЛВЖ, ГЖ и /или ГГ.

Критерии объемов ЛВЖ, ГЖ и /или ГГ крупных нефтегазовых Компаний принимаемых при расчетах пределов огнестойкости приведены ниже в табл. 1.

Таблица 1. Требования стандартов зарубежных компаний по объему углеводородов в технологическом оборудовании

№ п/п	Нефтегазовая компания	Объем углеводородов
1.	Shell	5 т
2.	Petronas	5 т
3.	Petroleo De Venezuela	5 т
4.	Total	5 м ³
5.	Chevron	3,8 м ³
6.	Ямал СПГ	5 т
7.	Арктик СПГ 2	5 т

В работе [11] описаны и затронуты общие положения огнестойкости опорных конструкций технологических емкостей (аппаратов), при этом в указанных публикациях не были проведены детальные исследования времени выгорания в зависимости от объема и типа ЛВЖ/ГЖ и ГГ, а также площади пролива на технологических этажерках нефтегазоперерабатывающего завода.

В связи с чем целью настоящей работы является проведение расчетов по определению времени продолжительности пожара при заданных параметрах объемов веществ, типа ЛВЖ/ГЖ и ГГ и площади пожара пролива углеводородов.

Расчеты и полученные результаты

При проведении расчета времени пожара проливов веществ был принят типовый модуль главного криогенного теплообменника установки сжижения технологической линии завода по сжижению природного газа (максимальная площадь поверхности пролива площадью 1000 м²) вид которого приведен на рис. 1. По периметру модуля предусмотрена отбортовкой в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности, поверхность возможного разлива выполнена сплошной из негорючего материала и стойкой к воздействию криогенных жидкостей.

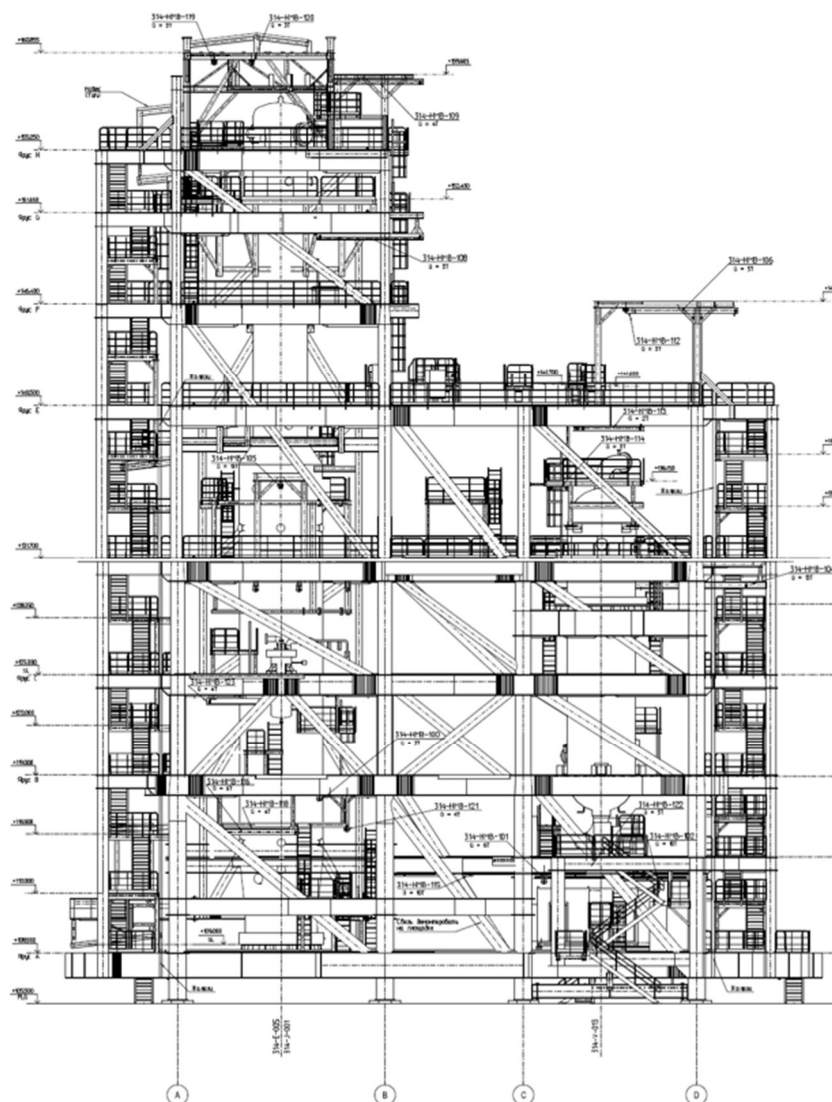


Рис. 1. Вид модуля главного криогенного теплообменника установки сжижения

В качестве легковоспламеняющихся и горючих продуктов были приняты вещества, указанные в табл. 2.

Таблица 2. Типы ЛВЖ/ГЖ и ГГ принимаемые при расчетах

Вещество	СПГ (метан)	СУГ (С3/С4)	Стабильный конденсат (по бензину)	Дизельное топливо
Тип	Легковоспламеняющийся сжиженный газ	Легковоспламеняющийся сжиженный газ	Легковоспламеняющаяся жидкость	Горючая жидкость
Удельная массовая скорость выгорания (кг/(м ² ·с))	0,08	0,1	0,06	0,04

Следует отметить, что при расчетах продолжительности пожара были приняты следующие допущения и исходные данные для расчета:

при определении продолжительности пожара не учитывалось – интенсивность испарения/адиабатная вспышка веществ после выброса из технологических аппаратов (СПГ и

СУГ), которые могут привести к снижению общего объема (количества), распространяемого и сгораемого на площади пролива, и, следовательно, к сокращению продолжительности пожара;

воспламенение углеводородов учитывалось после распространения общего объема (количества) ЛВЖ/ГЖ и ГГ на площади этажерки;

были приняты различные площади пролива ЛВЖ/ГЖ и ГГ от минимального значения в 50 м² до максимальной площади технологического модуля в 1000 м², ограниченного отбортовкой. Иллюстрация расчета в зависимости от площади поверхности и площади пожара пролива углеводородов представлена на рис. 2. количество веществ, указанных в табл. 2 было принято от 2 т до 8 т.

При горении ЛВЖ/ГЖ и ГГ продолжительность пожара, рассчитывалась по формуле Р.6 стандарта [3]:

$$t_{п} = \frac{G}{M_{уд}F},$$

где G – количество ЛВЖ/ГЖ и ГГ, которое может разлиться при аварийной ситуации, кг;

M_{уд} – удельная массовая скорость выгорания ЛВЖ/ГЖ и ГГ, кг/(м²·с);

F – площадь пролива и пожара.

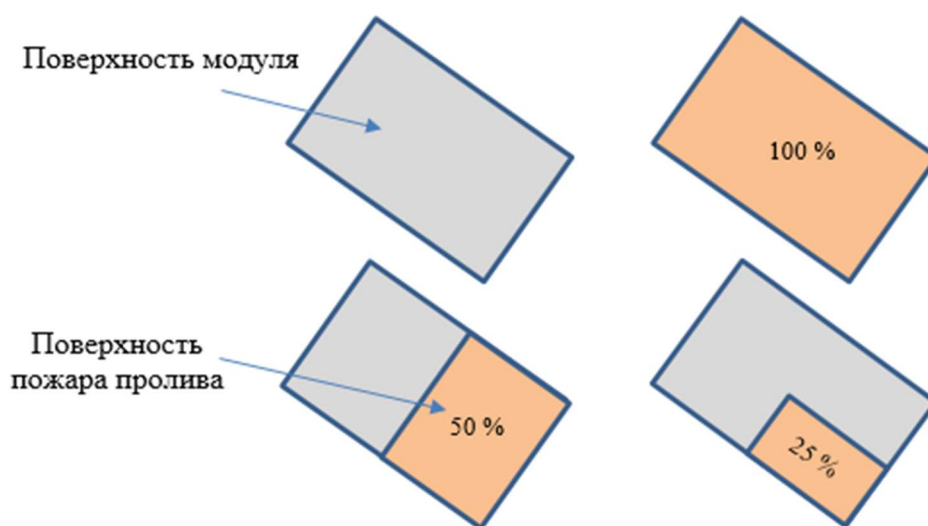


Рис. 2. Иллюстрация методологии расчета в зависимости от площади поверхности и площади пожара пролива углеводородов

В табл. 3 представлены результаты расчетов продолжительности пожара в зависимости от количества веществ и площади пролива.

Таблица 3. Продолжительность горения (пожара) ЛВЖ/ГЖ и ГГ в зависимости от площади пожара пролива

Объем вещества	Площадь пожара пролива (%)	Площадь пожара пролива (м²)	Продолжительность пожара пролива (мин.)			
			СПГ (метан)	СУГ (С3/С4)	Стабильный конденсат (по бензину)	Дизельное топливо
2 т	100	1000	0,4	0,3	0,6	0,8
	50	500	0,8	0,7	1,1	1,7
	15	150	2,8	2,2	3,7	5,6
	10	100	4,2	3,3	5,6	8,3
	5	50	8,3	6,7	11,1	16,7
3 т	100	1000	0,6	0,5	0,8	1,3
	50	500	1,3	1,0	1,7	2,5
	15	150	4,2	3,3	5,6	8,3
	10	100	6,3	5,0	8,3	12,5
	5	50	12,5	10,0	16,7	25,0
4 т	100	1000	0,8	0,7	1,1	1,7
	50	500	1,7	1,3	2,2	3,3
	15	150	5,6	4,4	7,4	11,1
	10	100	8,3	6,7	11,1	16,7
	5	50	16,7	13,3	22,2	33,3
5 т	100	1000	1,0	0,8	1,4	2,1
	50	500	2,1	1,7	2,8	4,2
	15	150	6,9	5,6	9,3	13,9
	10	100	10,4	8,3	13,9	20,8
	5	50	20,8	16,7	27,8	41,7
6 т	100	1000	1,3	1,0	1,7	2,5
	50	500	2,5	2,0	3,3	5,0
	15	150	8,3	6,7	11,1	16,7
	10	100	12,5	10,0	16,7	25,0
	5	50	25,0	20,0	33,3	50,0
7 т	100	1000	1,5	1,2	1,9	2,9
	50	500	2,9	2,3	3,9	5,8
	15	150	9,7	7,8	13,0	19,4
	10	100	14,6	11,7	19,4	29,2
	5	50	29,2	23,3	38,9	58,3
8 т	100	1000	1,7	1,3	2,2	3,3
	50	500	3,3	2,7	4,4	6,7
	15	150	11,1	8,9	14,8	22,2
	10	100	16,7	13,3	22,2	33,3
	5	50	33,3	26,7	44,4	66,7

Из табл. 3 видно, что продолжительность пожара пролива углеводородов зависит от количества находящихся веществ в технологическом аппарате (емкости) и типа ЛВЖ/ГЖ и ГГ, также немаловажным фактором, значительно влияющим на время пожара, является площадь растекания продукта по поверхности модуля и конструктивные решения модуля, такие как наличие или отсутствие аварийной дренажной системы, уклонов и рельефа.

Таким образом, продолжительность пожара с достаточным количеством углеводородов в аппаратах и/или емкостях является комплексным инженерным вопросом и его решение может быть достигнуто в каждом конкретном случае при разработке соответствующих разделов проектной документации.

Выводы

В настоящей работе выполнены расчеты продолжительности пожара в зависимости от количества ЛВЖ/ГЖ и ГГ и площади разлива. При проведении расчетов были приняты горючие вещества с различной удельной массовой скоростью выгорания. По результатам расчетов определено время пожара. Полученные данные могут быть использованы для проведения расчетов по определению фактических пределов огнестойкости опорных строительных конструкций этажей технологических аппаратов, содержащих значительное количество горючих продуктов.

Литература

1. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространение пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям (ред. от 14.08.2020).
2. СП 231.1311500.2015. Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности (ред. от 01.07.2015).
3. СП 240.1311500.2015. Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности (ред. от 31.08.2015).
4. СП 326.1311500.2017. Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности (ред. от 01.01.2018).
5. ВУПП-88. Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.
6. ГОСТ Р 12.3.047–2012. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
7. API 2218. Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants. 3rd ed. American Petroleum Institute, 2013. 60 p.
8. RD 7874-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Probabilistic risk assessment. London, BSI, 2003.
9. Шебеко А.Ю., Шебеко Ю.Н., Гордиенко Д.М. Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для стальных конструкций технологической эстакады нефтеперерабатывающего предприятия//Пожарная безопасность. 2017. № 1. С. 25-29.
10. Шебеко А.Ю. Оценка требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций этажей и эстакад предприятий нефтегазовой отрасли//Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 103-107.
11. Шебеко А.Ю., Зубань А.В., Шебеко Ю.Н., Гилетич А.Н. Определение пределов огнестойкости конструкций технологических этажей нефтегазоперерабатывающего завода при воздействии струйного пожара // Пожарная безопасность. 2019. № 3. С. 52-56.
12. Присадков В.И. Надежность строительных конструкций при пожаре // Огнестойкость строительных конструкций: сб. тр. – М.: ВНИИПО, 1986. – С. 70-73.
13. Присадков В.И. Разработка методов выбора рациональных систем противопожарной защиты промышленных зданий: дис. ... д-ра техн. Наук. – М., 1990. – 290 с.
14. Клементьев Б.А., Олейников С.Н. Основные направления развития стандартизации: обеспечение пожарной безопасности объектов производства сжиженного природного газа // Современные пожаробезопасные материалы и технологии. Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности. 2018. С. 233-239.
15. Gravit, M.; Golub, E.; Klementev, B.; Dmitriev, I. Fire Protective Glass Fiber Reinforced Concrete Plates for Steel Structures under Different Types of Fire Exposure. Buildings 2021, 11, 187. <https://doi.org/10.3390/buildings11050187>.