

С.А. Швырков, Я.И. Юрьев
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: pbtp@mail.ru)

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЖАРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ СТЕН НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

На основе анализа особенностей возникновения аварий и пожаров в резервуарных парках, а также применяемых в мировой практике температурных режимов пожаров для проведения огневых испытаний строительных конструкций на огнестойкость, обоснован температурный режим пожара для определения предела огнестойкости ограждающих стен нефтяных резервуаров.

Ключевые слова: нефтяной резервуар, пожар пролива нефтепродуктов, ограждающая стена, предел огнестойкости.

S.A. Shvyrkov, Y.I. Yuryev

THE TEMPERATURE OF THE FIRE TO DETERMINE THE LIMIT OF FIRE RESISTANCE OF ENCLOSING WALLS OF OIL TANKS

A temperature limit on the basis of the analysis of peculiarities of accidents and fires occurrences in tank farms as well as temperature regimes of fires used in the world to conduct fire tests on fire resistance of building constructions is justified to determine fire resistance limit of enclosing walls of oil tanks.

Key words: oil tank, fire from strait of oil products, enclosing wall, limit of fire resistance.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 29 июля 2016 г.

С целью исключения при аварии вертикальных цилиндрических **стальных резервуаров (РВС)** возможностей проливов нефти и нефтепродуктов на территории населенных пунктов, организаций, на путях железных дорог или в водоём, в соответствии с требованиями п. 5 ст. 70 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", следует предусматривать дополнительные мероприятия. Непосредственно требования пожарной безопасности к таким дополнительным мероприятиям установлены в ГОСТ Р 53324-2009 "Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности". Так, по периметру отдельно стоящего РВС или каждой группы наземных РВС необходимо предусматривать замкнутое ограждение, в качестве которого, в том числе, могут использоваться ограждающая стена (выполненное из строительных материалов ограждение, предназначенное для ограничения площади пролива жидкости) или ограждающая стена с волноотражающим козырьком (выполненное из строительных материалов ограждение, рассчитанное на гидродинамическое воздействие и полное удержание волны жидкости, образующейся при разрушении РВС). Такие ограждения должны быть сплошными по периметру, выполняться из негорючих материалов и иметь предел огнестойкости не менее $E 150$.

В связи с этим, возникает вопрос о корректности применения для определения предела огнестойкости рассматриваемых ограждающих стен стандартного метода испытаний [1], так как температурный режим пожара пролива нефтепродуктов при авариях РВС имеет ряд существенных отличий от стандартного температурного режима:

- пожарная нагрузка (нефть, нефтепродукты) с температурой горения более 1000 °С;
- быстрый рост температуры до максимального значения (до 1200-1300 °С) и поддержание её до полного выгорания нефтепродукта;
- пожар пролива нефтепродукта на открытой местности (в границах ограждения) с постоянным и неограниченным доступом кислорода;
- непосредственное воздействие пламени пожара пролива нефтепродукта на ограждающую стену.

Очевидно, что учесть эти особенности, в случае применения стандартного метода испытаний конструкций на огнестойкость к ограждениям РВС, не представляется возможным, а действующими нормативными документами определение предела огнестойкости строительных конструкций в условиях, приближенных к "реальному" пожару, в данном случае пожару пролива нефтепродуктов, не регламентируется.

Таким образом, возникла необходимость обоснования температурного режима пожара для определения предела огнестойкости ограждающих стен РВС для хранения нефти и нефтепродуктов. При этом важно отметить, что в мировой практике при определении предела огнестойкости строительных конструкций, используемых, в частности, при строительстве объектов нефтехимического производства, туннелей, морских буровых платформ и других ответственных сооружений производственных объектов, широко применяются температурно-временные кривые, существенно отличающиеся от стандартной температурной кривой (*ЕТК*).

Так, например, в европейском *EN 1363-2:1999* [2] и американском *UL 1709* [3] стандартах указано, что огневые испытания конструкций и материалов для дальнейшего их использования в нефтехимической промышленности необходимо проводить, используя углеводородный режим пожара (*НС*), описываемый зависимостью:

$$T = 20 + 1080(1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t}), \quad (1)$$

где T – температура в печи, соответствующая времени t , °С;

t – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Этот режим применяется для моделирования пожаров небольших проливов нефти или нефтепродуктов, например, при проливе бензина или дизельного топлива из автомобильного топливного бака. Характерной его особенностью является быстрое повышение температуры до высоких значений (более 1000 °С) уже на 10 мин. испытаний, а после 30 мин. температура в 1100 °С поддерживается на протяжении всего оставшегося периода испытаний строительных конструкций на огнестойкость.

Французский стандарт – *Inter-ministry circular* № 2000-63 of August 2000 [4] предписывает проводить аналогичные испытания строительных конструкций с использованием модифицированной от *НС* углеводородной кривой (*НСМ*) вида:

$$T = 20 + 1280(1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}). \quad (2)$$

Как правило, режим *НСМ* используется при моделировании пожаров проливов нефтепродуктов в туннелях в рамках разработки крупных международных инфраструктурных проектов. Следует отметить, что при этом режиме температурный градиент в первые минуты пожара является настолько сильным, что может привести к взрывному отталкиванию бетонных конструкций. В отличие от максимально возможной температуры в *НС* (1100 °С), в *НСМ* температурный пик достигает 1300 °С.

В Германии туннельные сооружения испытывают согласно руководству *RABT* [5], а конструктивная противопожарная защита туннелей проверяется по дополнительным техническим контрактным условиям *ZTV* [6]. Температурная кривая модели пожара *RABT/ZTV* [7] была получена в результате обработки результатов ряда натурных испытаний. В этой кривой за первые 5 мин. испытаний температура достигает максимального значения в 1200 °С. Однако, продолжительность пожара при данной температуре не велика, снижение происходит уже на 30-й мин. при моделировании пожара с участием автомобилей, и на 60-й мин. – с участием железнодорожных вагонов. Стадия снижения температуры с 1200 °С до начальной температуры для этих кривых длится 110 мин.

В Нидерландах туннельные сооружения испытываются в соответствии с кривой *RWS* [8], в основу которой положена модель пожара 50 м³ топлива, масла или бензина с суммарной пожарной нагрузкой в 300 МВт и продолжительностью до 120 мин. Кривая *RWS* имитирует первоначальный быстрый рост температуры пожара за счет сгорания большого количества нефтепродукта и постепенное её снижение за счёт выгорания пожарной нагрузки.

Основное различие между кривыми *RWS* и *НС* заключается в том, что последняя основывается на температуре пожара, которая может возникнуть на относительно открытом пространстве, то есть с рассеиванием тепла. Кривая же *RWS* основана на температуре пожара, происходящего в замкнутом пространстве (туннеле), где нет или незначительно происходит теплоотдача в окружающую среду. Следует отметить, что предложенная температурная кривая имела удовлетворительную сходимость с результатами натурных экспериментов, выполненных в туннеле *Runehamar* (Норвегия). Отметим также, что кривая *RWS* была принята либо указана к использованию для конкретных проектов местным законодательством таких стран, как США (*NFPA 502*), Италия (*UNI 11076*), Австрия (*OVBB*), Сингапур (проект КПЭ), ОАЭ (развитие *Palm Jumeirah*).

Анализируя требования вышерассмотренных нормативных документов, можно видеть, что для определения фактических пределов огнестойкости строительных конструкций необходимо проведение огневых испытаний по утвер-

жденным методикам обязательным к применению с использованием стандартной температурной кривой. Однако, для определения огнестойкости строительных конструкций на некоторых видах объектов, на добровольной основе также могут применяться и методики, содержащие альтернативные режимы, учитывающие специфику возможных "реальных" пожаров. При этом необходимо отметить, что ни одна из вышерассмотренных температурных кривых не может быть явно использована для определения фактического предела огнестойкости ограждающих стен РВС, так как в них не учитываются отличительные особенности пожара пролива нефти или нефтепродукта при разрушении резервуара (непосредственное воздействие пламени пожара на ограждение, практически мгновенное достижение температуры более 1100 °С, период огневого воздействия более 2 ч., пожар на открытом пространстве). В связи с этим, для обоснования альтернативной температурной кривой с целью определения фактического предела огнестойкости ограждающих стен РВС, выполнено более детальное изучение температурного режима, происходящего при "реальных" пожарах проливов нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках, а также выявлены особые временные условия развития таких пожаров.

Как уже отмечалось, ограждающие стены РВС предназначены для ограничения площади пролива жидкости, возникновение которой возможно вследствие перелива хранимого продукта, нарушения герметичного резервуара, задвижек, фланцевых соединений, трубопроводов, а также полного разрушения резервуара [8, 9]. Очевидно, что реализация любого из вышеперечисленных сценариев, при условии воспламенения паров нефти или нефтепродукта, приведет к воздействию тепловых потоков пожара на ограждающие стены. При этом, в зависимости от особенностей аварийного истечения продукта и его растекания по поверхности, удаленности расположения ограждающих стен от резервуара и других факторов, через некоторый промежуток времени, как правило, исчисляемый первыми минутами от начала аварии, возможно и непосредственное воздействие пламени пожара на конструкции защитных ограждений. Важно также отметить, что по результатам ранее выполненных нами теоретических и экспериментальных исследований параметров волны прорыва, образующейся при полном разрушении РВС, включая результаты натурального эксперимента по разрушению РВС-700 м³ с водой [10], было установлено, что время достижения волной ограждений не превышало 3 с в зависимости от номинального объема РВС (от 700 до 50000 м³) и расстояния, на котором были устроены ограждения (от 3 до 30 м). Время же полного заполнения продуктом замкнутого каре ограждения с одновременным разрушением конструкций РВС не превышало, как правило, 30 с.

Таким образом, возможно предположить, что устойчивое горение при пожаре пролива нефти или нефтепродукта в замкнутом каре ограждения РВС будет иметь место по истечении первой минуты от момента реализации аварийной ситуации. Этот временной интервал и предлагается учитывать при разработке альтернативного варианта углеводородного режима пожара с целью определения фактического предела огнестойкости ограждающих стен РВС.

Относительно температуры пламени нефти и нефтепродуктов необходимо отметить, что по результатам анализа научно-исследовательских работ, а также нормативной и справочной литературы (табл. 1), посвящённых этому вопросу, в качестве среднеповерхностной температуры для модели пожара пролива горючих жидкостей в каре ограждения РВС может быть принята её величина в 1200 °С.

Таблица 1

Наименование литературного источника	Вид горючей жидкости	Максимальная температура пламени, °С
<i>Блинов В.И., Худяков В.Н.</i> Диффузионное горение жидкостей. М.: АН СССР, 1961	Нефть и нефтепродукты	1110-1190
<i>Иванов Е.Н.</i> Пожарная защита открытых технологических установок. М.: Химия, 1975	Сырая нефть, дизельное топливо, тракторный керосин	1100
<i>Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е.</i> Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980	Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости	1250-1350
<i>Волков О.М., Проскуряков Г.А.</i> Пожарная безопасность на предприятиях транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. М.: Недра, 1981	Нефть и нефтепродукты	1100-1200
<i>Волков О.М.</i> Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М.: Недра, 1984	Бензин, дизельное топливо	1150 1050
<i>Джафаров М.А. и др.</i> Обеспечение пожарной безопасности на аэродромах гражданской авиации. М.: Транспорт, 1987	Топливо ТС-1, толуол	1050-1250 1300
<i>Пожаровзрывоопасность</i> веществ и материалов и средства их тушения: Справ. Изд.: в 2 кн. / <i>А.Н. Баратов</i> и др. М.: Химия, 1990	Бензин, нефть, мазут	1200 1100 1000
<i>Теребнев В.В.</i> Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожкнига, 2004	Нефть и нефтепродукты в РВС	1100-1300
<i>Бобков С.А., Бабурин А.В., Комраков П.В.</i> Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014	Большинство горючих жидкостей	1250

Что касается времени воздействия пламени пожара пролива нефти или нефтепродуктов на конструкции ограждающих стен РВС, то оно, в основном, будет зависеть от скорости выгорания и высоты слоя продукта в каре ограждения, времени начала и эффективности подачи огнетушащих веществ на тушение пожара. Кроме этого, на указанную величину существенное влияние может оказать возможность откачки продукта из каре ограждения в аварийный резервуар, амбар и т.п. Тем не менее, по аналогии с нормируемым пре-

делом огнестойкости противопожарных стен 1-го типа, для ограждающих стен РВС, выполняющих то же функциональное назначение, также может устанавливаться предел огнестойкости не менее 150 мин., но в условиях альтернативных испытаний.

Общий вид и сравнительная характеристика предлагаемого углеводородного режима пожара пролива нефти или нефтепродукта в каре ограждения РВС – *hydrocarbon curve oil spill (HCOS)* с рассмотренными выше стандартным и альтернативными режимами пожаров представлены соответственно на рис. 1 и в табл. 2.

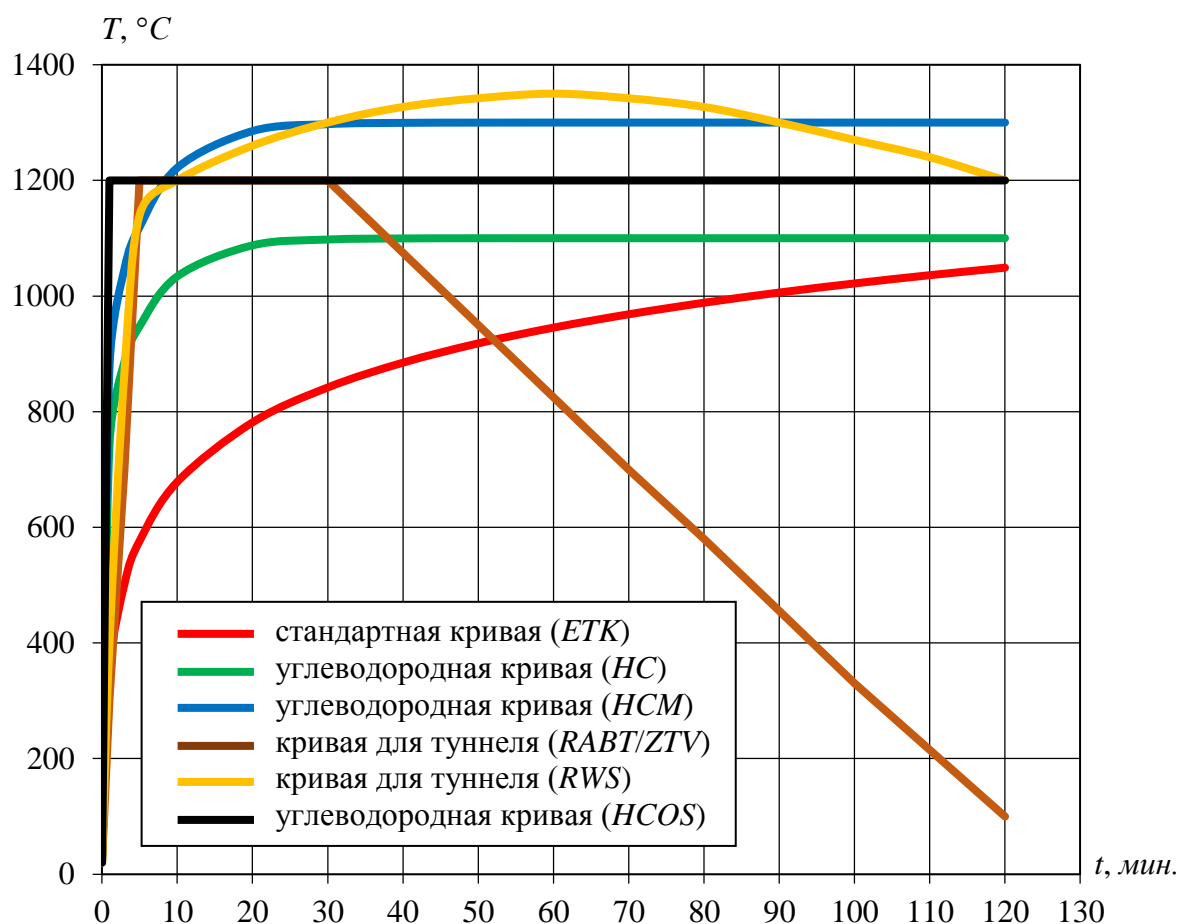


Рис. 1. Общий вид применяемых в мировой практике температурно-временных кривых для проведения испытаний строительных конструкций на огнестойкость и предлагаемой альтернативной температурно-временной кривой для проведения испытаний ограждающих стен РВС на огнестойкость

**Сравнительная характеристика температурных режимов пожаров
для проведения испытаний строительных конструкций на огнестойкость**

Параметр	Режим пожара					
	<i>ETK</i>	<i>HC</i>	<i>HCM</i>	<i>RABT/ZTV</i>	<i>RWS</i>	<i>HCOS</i>
Модель пожара (имитация горения)	В помещении					На открытом пространстве
Температура пожара	Среднеобъемная					Средне-поверхностная
Место замера температуры	0,1 м от поверхности конструкции					
Максимальная температура пожара, °С	920 ¹ 1100 ²	1180	1300	1200	1350	1200
Минимальная продолжительность испытаний, мин.	360 ³	180	180	140-170	180	150

¹на 60 мин.; ²на 360 мин.; ³как правило, не более 6 ч., что обусловлено полным выгоранием пожарной нагрузки

Таким образом, на основе анализа применяемых в мировой практике температурно-временных кривых для проведения испытаний строительных конструкций на огнестойкость, особенностей возникновения и развития пожаров и аварий в резервуарных парках, а также результатов теоретических и экспериментальных исследований параметров волны прорыва, образующейся при полном разрушении РВС, обоснован температурный режим пожара (*HCOS*), необходимый для определения фактического предела огнестойкости ограждающих стен нефтяных резервуаров.

Литература

1. **ГОСТ 30247.0-94.** Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.
2. **EN 1363-2:1999.** Fire resistance tests. Part 2: Alternative and additional procedures.
3. **UL 1709** (Underwriters Laboratory, USA). Rapid Rise Fire Test of Protection Materials for Structural Steel.
4. **Inter-ministry circular** № 2000-63 of August 2000 relating to the safety of tunnels in the national highways network (Appendix № 2).
5. **RABT 2002.** Guidelines for equipment and operation of road tunnels.
6. **ZTV.** Additional Technical Conditions for the Construction of Road Tunnels, ZTV – Tunnel Part 1: Closed construction (shotcrete) 1995 edition.
7. **RABT/ ZTV – Tunnel fire curve.** ZTV – Tunnel Part 2: Open construction 1999 edition.
8. **TNO** Fire Research Centre, Rijkswaterstaat (RWS) Curve, Netherlands.
9. **Волков О.М.** Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2010.
10. **Швырков С.А.** Пожарный риск при квазимгновенном разрушении нефтяного резервуара: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015.