

## **ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ПОЖАРА В НЕФТЯНОМ РЕЗЕРВУАРЕ НА СОСЕДНИЕ РЕЗЕРВУАРЫ**

*Определено влияние тепловых нагрузок пожара в резервуаре с нефтепродуктами на расположенные рядом аналогичные резервуары, определён эффект снижения тепловых нагрузок пожара на эти резервуары при соблюдении нормативного расстояния между резервуарами.*

*Ключевые слова: нефтяной резервуар, пожар, температура вспышки, орошение.*

*M.S. Shalymov*

## **INFLUENCE OF THERMAL LOADS FIRE OIL TANKS ON THE BODY NEIGHBORING HEATED TANK**

*Determined the influence of thermal loads of fire in the tank with petroleum products located near the same tank is determine. Determined the effect of reducing the heat load of fire, subject to regulatory distances between the tanks.*

*Key words: oil tank, fire, flash point, irrigation.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 19 марта 2015 г.

Современное развитие предприятий нефтепродуктообеспечения позволяет говорить о возрастающих объёмах добываемой нефти и получаемых из неё нефтепродуктов. На сегодняшний день все крупнейшие мировые нефтяные гиганты, связанные с экспортом и переработкой нефти, в целом держат курс на наращивание ёмкостных характеристик резервуарных парков, что приводит к сокращению нормативных противопожарных расстояний между резервуарами (табл. 1, рис. 1) и при возникновении пожара на одном из резервуаров возможно каскадное распространение пожара в резервуарном парке.

Таблица 1

**Вместимость и размеры крупнейших мировых резервуаров  
для хранения нефти и нефтепродуктов**

Страна	Вместимость, тыс. м <sup>3</sup>	Размеры, м	
		Высота	Диаметр
США	240	19,5	125
Саудовская Аравия	240	22	118
Иран	160	17,8	109
Япония	150	22,6	100,1
Франция	127	22,4	88
Нидерланды	120	22	84
Германия	115	21,9	84
Россия	100	18	85,3
Белоруссия	75	18	78,2



**Рис. 1.** Фрагмент резервуарного парка

В настоящее время развиваются технологии наземного хранения нефти и нефтепродуктов с использованием резервуаров различной модификации: *резервуар вертикальный стальной (РВС), резервуар вертикальный стальной с понтоном (РВСП), резервуар вертикальный стальной с плавающей крышей (РВСПК).*

Необходимо отметить, что для перечисленных модификаций резервуаров возможно применение особой технологии резервуаростроения по типу "стакан в стакане", то есть применение дополнительной защитной стенки в виде второго корпуса резервуара. Одной из основных целей применения защитной стенки является сокращение противопожарных расстояний между резервуарами. На рис. 1 представлен фрагмент резервуарного парка с резервуарами типа РВС и РВСП с *легковоспламеняющейся жидкостью (ЛВЖ)* [2, 3].

На законодательном уровне определено [4], что каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности. Эти требования относятся и к нефтяным резервуарам. Система обеспечения пожарной безопасности включает в себя подсистемы "активной" и "пассивной" противопожарной защиты. Примером "активной" противопожарной защиты для РВС является система автоматического орошения при пожаре, а "пассивной" – нормативные противопожарные расстояния.

Первоочередной задачей при тушении резервуаров с нефтью и нефтепродуктами является предотвращение влияния тепловых нагрузок пожара на корпус горящего резервуара и резервуаров, расположенных в одной группе с горящим резервуаром, посредством их орошения [5-7].

Целью орошения горящего резервуара является сохранение его несущей способности. Наиболее уязвимой частью резервуара является свободный борт стенки. Известно, что без охлаждения он теряет свою несущую способность в течение 3-5 минут. В свою очередь, нижняя часть резервуара, подобно водонаполненной конструкции, обладает высокой огнестойкостью [8].

Однако в условиях низких температур возможен противоположный эффект от применения орошения. Об этом свидетельствует ряд пожаров. Так 22 декабря 1981 г. при морозе  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  возник пожар в резервуарном парке Комсомольского НПЗ. Из-за переполнения РВСП-5000 бензин попал в обвалование и загорелся. Причиной воспламенения явились сварочные работы. В начальной стадии пожара были взрывы технологических трубопроводов в обваловании. С усилением очага пожара в обваловании огонь перешёл на резервуар. В результате взрыва крышу резервуара подбросило вертикально вверх, после чего она упала в резервуар. В течение многих часов горение в резервуаре было относительно слабым, но тушению не поддавалось. В безуспешных пенных атаках использовали весь региональный запас пенообразователя. Научно-техническая оценка обстановки на пожаре содержала три основных вывода:

1. При температуре  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  соседние резервуары не подвергаются опасному тепловому нагреву и могут быть оставлены без охлаждения.

2. После снижения уровня бензина до уровня затонувшего понтона, упавшая в резервуар крыша полностью стала "сухой" и сложилась до плоской груды деформированного металла с ликвидацией "карманов", препятствующих тушению. После ожидаемого обрушения опорных стоек понтона остаток бензина получил свободную поверхность горения и выгорел.

3. Третий вывод был парадоксальным: в качестве целесообразного действия было рекомендовано бездействие – невмешательство в процесс пожара: "горящий и соседние резервуары не охлаждать, в горящий резервуар пену не подавать".

Характерный пожар произошел в 2001 г. на Самотлоровском месторождении. В описании пожара записано: "Несмотря на интенсивное охлаждение соседнего резервуара через час он загорелся". Но очень может быть, что соседний резервуар загорелся не "несмотря на интенсивное охлаждение", а именно вследствие интенсивного охлаждения. Если при температуре  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  на резервуар лить воду (температура не ниже нуля), то, возможно, это уже не охлаждение, а подогрев [2, 3].

Научным обоснованием такого парадоксального явления можно считать проведение натуральных экспериментальных исследований, целью которых было изучение влияния охлаждения стенок резервуара струями воды на процесс горения и тушения бензина. Один из резервуаров охлаждался водой через оросительное кольцо, другой резервуар не охлаждался. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Результаты огневого эксперимента тушения резервуара

№ опыта	Высота свободного борта, мм	Резервуар с охлаждением				Резервуар без охлаждения		
		Толщина прогреваемого слоя, мм	Время прогрева, мин.	Температура в поверхностном слое, °С	Расход воды на охлаждение, л/(м. с)	Толщина прогреваемого слоя, мм	Время прогрева, мин.	Температура в поверхностном слое, °С
34	700	400	37	95	1,00	400	80	105
35	700	Не прогр.	74	-	1,22	100	57	100
36	700	Не прогр.	159	-	1,22	300	107	140
37	700	300	30	100	0,60	300	54	130
38	700	400	38	110	0,31	400	63	100
40	700	Не прогр.	38	-	0,88	400	30	90
41	70	Не прогр.	41	-	0,25	400	28	110
42	70	Не прогр.	41	-	0,1	400	32	110

Из табл. 2 видно, что в тех опытах, где высота свободного борта была 70 мм и струи воды для охлаждения подавались на уровень бензина в резервуаре, охлаждение водой действительно прекращало прогрев бензина. Но совершенно противоположный результат дали те опыты, в которых уровень бензина был ниже борта на 700 мм, а вода для охлаждения подавалась у верхней части борта. При этом охлаждение стенок водой не только не прекратило прогрев бензина, но, наоборот, прогрев бензина ускорился почти в 2 раза.

Это явление может быть объяснено тем, что вода, стекающая по прогретой стенке борта, нагревается до температуры 90-100 °С, омывая затем стенку резервуара, лежащую ниже уровня горючей жидкости, горячая вода отдает свое тепло и нагревает эту часть борта до 90-100 °С [9].

Таким образом, неправильно организованное охлаждение стенок горящего резервуара с ЛВЖ может привести к ускоренному образованию прогреваемого поверхностного слоя и может осложнить процесс тушения пожара.

Наряду с орошением, одним из способов ограничения развития пожара является соблюдение нормативных расстояний между резервуарами. Эффективность такого способа противопожарной защиты можно определить расчётом, по методике, представленной в работе [10].

Проведён расчёт температуры стенки РВС, расположенного рядом с горящим резервуаром, при соблюдении нормативного расстояния в 16 м [5]. Расчёт проведён для резервуара типа РВС вместимостью 5000 м<sup>3</sup>, содержащим бензин АИ-93 и дизельное топливо. Высота РВС  $H = 15$  м, уровень разлива ЛВЖ в резервуаре  $H_{вз} = 10$  м. Пожаровзрывоопасные свойства ЛВЖ представлены в табл. 3.

Таблица 3

Пожаровзрывоопасные свойства легковоспламеняющейся жидкости

Наименование жидкости	Пожаровзрывоопасные свойства веществ		
	Температура самовоспламенения, $t_{св}$ , °С	Нижний температурный предел, $t_{нипр}$ , °С	Верхний температурный предел, $t_{випр}$ , °С
Бензин	255	-24	-8
Дизельное топливо	210	58	108

Плотность падающего теплового потока  $q_w$  от факела горящего резервуара на элемент конструкции облучаемого резервуара, расположенной по нормали к основанию факела пожара, определяется по формуле 1 [10],  $Bm \cdot m^{-2}$ :

$$q_w = q_\phi \cdot \Phi_n. \quad (1)$$

Максимальную среднеповерхностную плотность излучения,  $Bm \cdot m^{-2}$ , которую факел пламени горячей ЛВЖ имеет в штиль, можно определить по следующей формуле:

$$q_\phi = \left(335 + \frac{7112}{d_p}\right) \cdot m_{\text{выг}} \cdot 10^3, \quad (2)$$

где  $d_p$  – диаметр горящего резервуара, м;

$m_{\text{выг}}$  – массовая скорость выгорания ЛВЖ,  $кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$ .

Коэффициент облученности  $\Phi_n$  для элементарной площадки соседнего резервуара, расположенного по нормали к основанию факела пламени, определяется по следующей формуле:

$$\Phi_n = \frac{1}{\pi} \left( \frac{B_1}{\sqrt{1+B_1^2}} \arcsin \frac{C_1}{\sqrt{1+B_1^2+C_1^2}} + \frac{C_1}{\sqrt{1+C_1^2}} \arcsin \frac{B_1}{\sqrt{1+B_1^2+C_1^2}} \right), \quad (3)$$

где  $B_1 = x_1/2y_1$ ;

$C_1 = h_\phi/y_1$ .

Значения  $x_1$  и  $y_1$  определяются по формулам (4, 5):

$$x_1 = \frac{2d_p \sqrt{l_p(l_p + d_p)}}{d_p + 2l_p}; \quad (4)$$

$$y_1 = \sqrt{l_p(l_p + d_p) - (0,5x_1)^2}, \quad (5)$$

где  $l_p$  – расстояние между резервуарами, м.

В условиях штиля форму факела пламени рассматривают в виде качающегося цилиндра. Высоту факела пламени определяют по формуле

$$h_\phi = 42d_p \left( \frac{m_{\text{выг}}}{\rho_B \sqrt{gd_p}} \right)^{0,61}, \quad (6)$$

где  $\rho_B$  – плотность воздуха,  $кг \cdot м^{-3}$  (допускается принимать  $\rho_B = 1,2 кг \cdot м^{-3}$ );  
 $g$  – ускорение свободного падения.

Оценить нагрев элемента конструкции резервуара до температуры самовоспламенения и распространения пожара на соседний резервуар можно при определении максимальной температуры корпуса резервуара по формуле

$$t_{w-\max} = \sqrt{4900 + 6,8q_w} - 70 + t_f, \quad (7)$$

где  $t_f$  – температура окружающей среды,  $^{\circ}C$ .

При выполнении условия  $t_{w-\max} \geq 0,8t_{св}$  элемент конструкции облучаемого резервуара может послужить источником зажигания паровоздушной смеси.

## Результаты расчётов и их обсуждение

При проведении расчётов время свободного горения, до подачи первого ствола на охлаждение корпуса резервуара, было принято – 20 минут, что соответствует максимально допустимому времени прибытия первого пожарного подразделения к месту вызова, в соответствии с [4]. Температура окружающей среды принята  $-37\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Оценить продолжительность нахождения резервуара в устойчивом состоянии можно с помощью ряда неравенств [10], представленных ниже:

- появление источника зажигания в виде нагретой стенки резервуара при выполнении следующего условия:

$$t_w \geq 0,8t_{cv}; \quad (8)$$

- опасность взрыва паровоздушной смеси, находящейся в резервуаре, возникает при выполнении следующих условий:

$$t_{\text{нмнр}} \leq t_{\text{н.сл}} \leq t_{\text{вмнр}}; \quad (9)$$

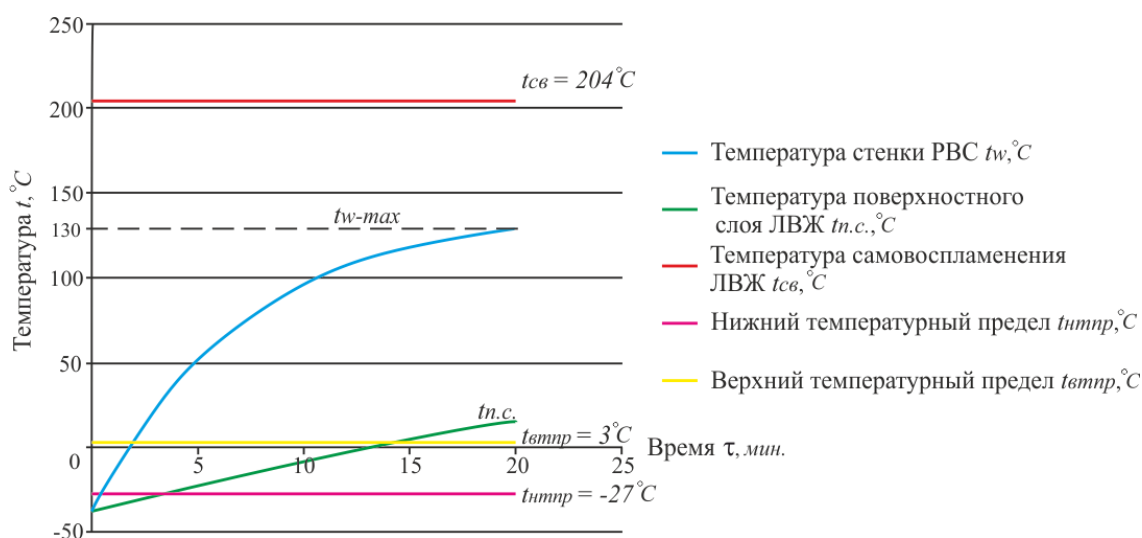
$$t_w \geq 0,8t_{cv}; \quad (10)$$

- появление факельного горения в местах выхода горючих паров из резервуара возможно при выполнении условий:

$$t_{\text{н.сл}} > t_{\text{вмнр}}; \quad (11)$$

$$t_w > 0,8t_{cv}. \quad (12)$$

Выполнение вышеуказанных условий, характеризующих возможность каскадного развития пожара в резервуарном, наглядно представлено на рис. 2, 3 посредством графического изображения расчётных температур от времени пожара и температур, характеризующих пожаровзрывоопасные свойства рассматриваемых жидкостей.

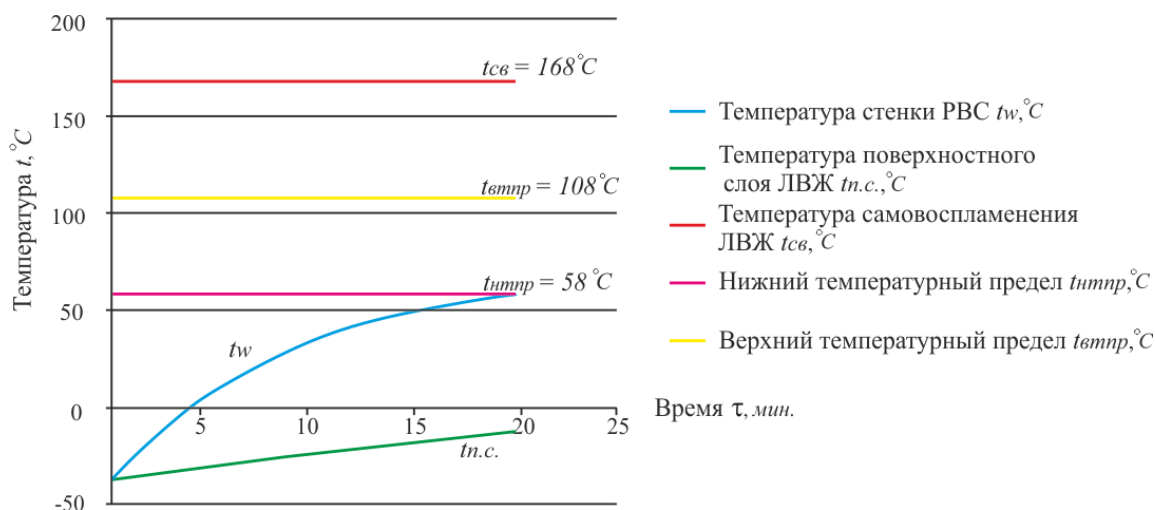


**Рис. 2.** Зависимости температуры поверхностного слоя ЛВЖ и температуры стенки соседнего РВС от времени при горении бензина

Из графиков, представленных на рис. 2, следует, что стенка РВС нагревается до  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура самовоспламенения, с учётом коэффициента безопасности, составляет  $204\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, корпус резервуара не сможет послужить источником зажигания для паров бензина в течение времени свободного развития пожара в резервуарном парке.

Кроме того, с 3 по 13 минуту пожара выполняется неравенство (9), а именно  $-27\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_{n.c.l.} \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура поверхностного слоя бензина находится в диапазоне температур между нижним и верхним температурным пределом распространения пламени. В результате чего, при попадании в паровоздушную смесь источника зажигания, произойдет взрыв внутри резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром.

Из рис. 3 следует, что температура стенки РВС  $t_w$ , нагревается до  $58\text{ }^{\circ}\text{C}$  и находится на границе с нижним температурным пределом распространения пламени, а температура самовоспламенения  $t_{cv}$ , с учётом коэффициента безопасности, составляет  $168\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, корпус резервуара не сможет стать источником зажигания для паров дизельного топлива в течение времени свободного развития пожара в резервуарном парке.



**Рис. 3.** Зависимости температуры поверхностного слоя ЛВЖ и температуры стенки соседнего РВС от времени при горении дизельного топлива

Следует отметить, что температура поверхностного слоя  $t_{n.c}$  дизельного топлива не достигает нижнего температурного предела распространения пламени. Это обстоятельство указывает на отсутствие возможности образования взрывоопасной концентрации паров дизельного топлива внутри РВС. Поэтому угроза взрыва в паровоздушном пространстве внутри резервуара, расположенного рядом с горящим резервуаром, отсутствует.

Проведенный расчётный анализ состояния резервуара, находящегося в условиях влияния на него тепловых потоков пожара от соседнего горящего резервуара, доказал положительный эффект от применения противопожарных разрывов между резервуарами, установленных в нормативных документах по обеспечению пожарной безопасности. Однако в случае отсутствия оперативно-

го вмешательства в процесс развития пожара следует ожидать каскадное развитие пожара за счёт появления источника зажигания в горючей среде: то есть стенки обогреваемых резервуаров нагреются выше температуры самовоспламенения паров ЛВЖ. Как показали расчёты, значительный "вклад" в процесс развития пожара вносят и пожаровзрывоопасные свойства ЛВЖ или ГЖ, обращающиеся в РВС.

В целом процесс влияния тепловых потоков пожара на корпус нефтяного резервуара достаточно изучен и прогнозируем. Однако остаётся совершенно открытым и нерешённым вопрос о влиянии пожара на защитную стенку резервуара типа РВСЗС. В настоящее время на кафедре пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС России проводится экспериментально-теоретическая работа по изучению данной проблематики. Научные результаты указанной работы будут отражены в следующих номерах журнала.

### Литература

1. **Старков М.В.** Товарно-сырьевое хозяйство нефтеперерабатывающих предприятий за рубежом. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1983. 58 с.
2. **Рубцов Д.Н., Рубцов В.В., Клубань В.С. и др.** Особенности пожарной опасности нефтяных резервуаров с плавающей крышей // Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 9. С. 56.
3. **Рубцов Д.Н., Шалымов М.С., Белоусова А.А.** Влияние температуры окружающей среды на развитие пожара в резервуаре с нефтепродуктами при его орошении // Проблемы техносферной безопасности. 2012. С. 22.
4. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
5. **СП 155.13130.2014.** Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности.
6. **Повзик Я.С.** Пожарная тактика: М.: ЗАО "СПЕЦТЕХНИКА", 2004. 416 с.
7. **Хабибулин Р.Ш.** Методика оценки теплоустойчивости конструкции цистерны с нефтепродуктом // Матер. 12-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2003". Академия ГПС МЧС России. М., 2003. С. 185-186.
8. **Волков О.М.** Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М.: Недра, 1984. 151 с.
9. **Герасимов В.А., Петров И.И., Реут В.Ч.** Тушение пламени нефтепродуктов распыленной водой // Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов: сборник статей. ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1960. С. 146.
10. **Сучков В.П.** Методы оценки пожарной опасности технологических процессов. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. 155 с.