В.С. Клубань, Нгуен Ле Зуй (Россия, Вьетнам)
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: klvls@mail.ru)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРОВ С ПОНТОНАМИ НА НЕФТЕБАЗАХ ВЬЕТНАМА

Дана сравнительная оценка взрывопожарной опасности резервуаров различных типов с понтоном. Доказано, что вертикальный стальной резервуар (РВС) с понтоном и крышей из алюминия имеет пониженную пожарную опасность.

Ключевые слова: резервуар с алюминиевым понтоном, взрывоопасная концентрация.

V.S. Kluban, Nguyen Le Duy (Russia, Vietnam)

FIRE SAFETY OF TANKS WITH PONTOONS IN PETROLEUM STORAGE DEPOTS OF VIETNAM

A comparative assessment of the danger of explosion of different types of tanks with pontoon was given. It is proved that vertical steel tanks with pontoon and aluminum roof has a reduced fire hazard.

Key words: tank with aluminum pontoon, explosive concentration.

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

В резервуарных парках и на нефтебазах Вьетнама для хранения нефтей и нефтепродуктов в основном применяются вертикальные стальные резервуары со стальными крышами. Большая часть из них оборудована понтонами с невентилированной и вентилированной крышей. Сначала рассмотрим отличия ***вертикальных стальных резервуаров с понтонами (РВСП)*** от ***вертикальных стальных резервуаров без понтона (РВС)***. В резервуарах с понтоном [1]:

• нижней ограждающей поверхностью надпонтонного пространства вместо нефтепродукта служит понтон;

• испарение с поверхности нефтепродукта в свободное пространство резервуара заменяется другими источниками поступления паров в надпонтонное пространство (испарение остаточного нефтепродукта со смачиваемой стенки резервуара, поступление (прорыв) паров через уплотнение понтона, выдавливание паровоздушной смеси из-под понтона);

• нефтепродукт в резервуаре находится не при температуре окружающей среды, а при технологической температуре, которая всегда положительна, а в летнее время обычно ниже температуры окружающей среды.

В РВСП уменьшение (сведение до минимума) площади и интенсивности испарения с открытой поверхности жидкости снижает концентрацию паров в надпонтонном пространстве резервуара и выброс паров в атмосферу с достижением трёх эффектов:

- уменьшение потерь от испарения (экономический эффект);
- уменьшение загрязнения окружающей среды (экологический эффект);
- предотвращение образования наружной пожаровзрывоопасной зоны у резервуара (пожарная безопасность резервуара как наружной установки).

Однако, в резервуарах без принудительного удаления паров из надпонтонного пространства обеднённая парами паровоздушная смесь (ПВС) входит в пределы распространения пламени и увеличивает их пожаровзрывоопасность. Вследствие такого "улучшения" конструкции, РВСП стал самым взрывопожароопасным резервуаром (опаснее резервуара со стационарной крышей).

Повышенная пожаровзрывоопасность РВСП (без вентилирования надпонтонного пространства) в России впервые была рассмотрена в работах НИЛ МВД Азербайджанской ССР в 1976/77 [4]. Измерения концентраций паров в надпонтонном пространстве показало, что "резервуары с понтонами (без вентиляции надпонтонного пространства) являются взрывоопасными во всём диапазоне сезонных температур, характерных для большинства районов СССР. Взрывоопасность РВСП рекомендовали устранять повышением герметичности уплотнения в кольцевом зазоре. Однако, повышение герметичности уплотнения в кольцевом зазоре РВСП без вентилирования надпонтонного пространства не решило задачу по снижению взрывопожароопасности надпонтонного пространства, а в какой-то мере усугубило ситуацию и привело к усилению взрывоопасности РВСП.

Сучковым В.П. и др. в 1991 г были выполнены исследования [5] по аэрации от ветрового напора, когда вентиляционные окна в РВСП расположены на одном уровне с разных сторон резервуара. Эффективность защиты проверена расчётами и экспериментально на РВСП-1000. Изменение площади проёмов в стенке резервуара от 0,02 $м^2$ до 0,31 $м^2$ обеспечивало поддержание концентрации паров в пределах 0,13-0,06 %. При прямой зависимости площади проёмов от диаметра резервуара удельная площадь проёмов составила 0,03 $м^2$ на 1 *м* диаметра (в 2 раза меньше, чем в гравитационной аэрации).

В 2003 г. в России был принят нормативный документ ПБ 03-605-03 [3], который узаконил необходимость вентилирования надпонтонного пространства в РВСП. Для этой цели предложено в стационарной крыше или верхней части стенки резервуаров с понтоном, не имеющих вентиляционных окон предусмотреть вентиляционные патрубки (отверстия), равномерно расположенные по периметру на расстоянии не более 10 *м* друг от друга, и один патрубок в центре крыши. Общая открытая площадь этих патрубков (отверстий) должна быть больше или равна 0,06 $м^2$ на 1 *м* диаметра резервуара. При эксплуатации резервуара отверстия вентпатрубков должны быть закрыты сеткой из нержавеющей стали с ячейками 10×10 *мм* и предохранительными кожухами для защиты от атмосферных осадков (см. п. 3.9.16 ПБ 03-605-03). В этом же году были введены в действие "Ведомственные нормы по реконструкции и эксплуатации ЖБР и РВС с устройством купольной крыши и понтона из алюминиевых сплавов [6].

Надёжными системами вентиляции надпонтонного пространства резервуаров являются системы с алюминиевым понтоном "Альпон" и алюминиевой крышей ЗАО "Монтаждиагностика", и Ультравент корпорации Ультрафлоут. Однако, в России и во Вьетнаме из-за недопонимания существа и неверного толкования вопроса о необходимости вентиляции надпонтонного пространства

РВСП в нормативных документах, во многих резервуарах с понтоном вентиляция надпонтонного пространства РВСП предусмотрена через дыхательные патрубки, которые по конструкции не соответствуют своему назначению. Эти вентиляционные патрубки имеют высокое расположение наружного проёма над крышей резервуара и погодный колпак, укрывающий проёмы от ветра. Высокое расположение периферийного проёма относительно центрального проёма уменьшает гравитационную, а погодный колпак – ветровую движущую силу аэрации. В дополнение к неверной конструкции и размещению вентиляционных патрубков на них установлены огнепреградители, которые препятствуют выветриванию паров нефтепродукта из надпонтонного пространства и повышают взрывопожароопасность резервуара, а зимой из-за промерзания кассет создают угрозу повреждения резервуара. Патрубок такой конструкции, на котором установлен огнепреградитель, не пригоден в качестве элемента системы аэрации надпонтонного пространства и не способен служить снижению концентрации паров в резервуаре, то есть, он просто опасный для резервуаров.

Также при любой конструкции вентиляционных окон грубейшей ошибкой является установка на них огнепреградителей [2], так как это ликвидирует защитную функцию циркуляционной вентиляционной системы, ввиду того, что:

1. В резервуаре с огнепреградителем не происходит аэрации (проветривания) надпонтонного пространства, поэтому как правило, в нем присутствует пожаровзрывоопасная ПВС, возможен взрыв от внутреннего источника зажигания, возможно повреждение резервуара из-за засорения огнепреградителя, взрыв от внешнего источника зажигания (соседнего пожара) возможен при прогреве корпуса резервуара до температуры самовоспламенения паровоздушной смеси, минуя дыхательное устройство, вследствие чего защита дыхательных устройств огнепреградителем неэффективна и даже опасна.

2. В резервуаре без огнепреградителя на вентиляционных окнах при правильном устройстве вентиляционной (циркуляционной) системы [3,6] отсутствует пожаровзрывоопасная ПВС в надпонтонном пространстве, исключается взрыв от внутреннего источника зажигания, исключается повреждение резервуара из-за засорения огнепреградителя, так как он отсутствует. Взрыв от внешнего источника зажигания (соседнего пожара) также практически исключается вследствие отсутствия в надпонтонном пространстве резервуара горючей паровоздушной смеси.

Из вышеизложенного видно, что вентиляционная система РВСП с огнепреградителем переводит резервуар в пожароугрожаемое состояние, тогда как правильно выполненная аэрационная система без огнепреградителя обеспечивает резервуару состояние пониженной пожарной опасности при эксплуатации, а также и при пожаре.

Преимущества конструкции понтона из алюминия над конструкцией понтона из стали, которые имеют существенное значение для пожарной опасности и защиты РВСП, следующие:

- настил стального понтона с нижней стороны не ограничен вертикальной периферийной конструкцией – юбкой, вследствие чего пары нефтепродукта при нормальной эксплуатации РВСП и пожаротушащая пена при тушении пожара, беспрепятственно выходят из-под понтона в кольцевой зазор, а настил понтона из алюминия с нижней стороны ограничен вертикальной юбкой, которая удерживает пары нефтепродукта и пену под понтоном и препятствует их перетоку в кольцевой зазор;

- короба стального понтона расположены по периферии и над настилом и подвержены воздействию огня в начальной стадии пожара, а герметичные трубчатые поплавки понтона из алюминия расположены по всей площади и под настилом и не подвержены воздействию огня в начальной стадии пожара;

- под действием высокой температуры пожара понтон из стали деформируется, загромождая очаг пожара, образуя карманы и осложняя его тушение, а понтон из алюминия может расплавиться, не осложняя его тушение.

Опасность образования взрывоопасных концентраций в резервуарах с понтоном и вентилируемым надпонтонным пространством, а также около их вентиляционных окон (патрубков) может возникать только в период неустановившихся режимов работы, а именно при:

- полной откачке ***легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ)***, когда уровень жидкости в резервуаре понижается ниже понтона;

- заполнении полностью опорожненного резервуара (уровень ЛВЖ в нём ниже уровня понтона);

- подготовке резервуара к ремонтным работам и при проведении этих работ, включая огневые;

- переполнении резервуара, с поступлением жидкости на понтон;

- повреждении (перекос) понтона, с поступлением ЛВЖ на понтон.

Для обеспечения взрывопожарной безопасности РВСП предлагается в стационарной крыше или стенке резервуаров с понтоном, не имеющих вентиляционных окон предусмотреть вентиляционные патрубки (отверстия), равномерно расположенные по периметру на расстоянии не более 10 *м* друг от друга, и один патрубок в центре крыши. Общая открытая площадь этих патрубков (отверстий) должна быть больше или равна 0,06 $м^2$ на 1 *м* диаметра резервуара (см. п. 3.9.16 ПБ 03-605-03).

Например, для вентиляции надпонтонного пространства резервуаров типа РВСП-3000 необходимо выполнить вентиляционные окна (патрубки), площадь которых рассчитывается по формуле:

$$S_{общ} = 0{,}06 \cdot D_р = 0{,}06 \cdot 19 = 1{,}14\ м^2,$$

где $D_р$ =19 *м* – диаметр резервуара

Определим площадь наибольшего вентиляционного окна $S_б$, устанавливаемого в верхней части крыши резервуара, по формуле:

$$S_б = \pi \cdot R^2 = 3{,}14 \cdot 0{,}35^2 = 0{,}385\ м^2, \text{ его диаметр } 0{,}7\ м,$$

где – $R = 0{,}35\ м$ – радиус наибольшего вентиляционного окна.

Найдем общую площадь малых вентиляционных окон по формуле:

$$S_1 = S_{общ} - S_б = 1{,}14 - 0{,}385 = 0{,}755\ м.$$

Определим площадь малого окна по формуле:

$$S_м = S_1 / 6 = 0{,}755 / 6 = 0{,}125\ м^2, \text{ 6 – количество окон.}$$

Диаметр одного малого вентиляционного окна:

$$D_м = \sqrt{S_м} \cdot \frac{4}{\pi} = \sqrt{0{,}125} \cdot \frac{4}{3{,}14} = 0{,}4\ м.$$

Определим периметр резервуара РВС-3000:

$$P = 2\ \pi \cdot R = 2\ 3{,}14 \cdot 9{,}5 = 59{,}66\ м,$$

где $R = D_р / 2 = 19 / 2 = 9{,}5\ м$ – радиус резервуара

Расстояние между вентиляционными окнами:

$$L = P / 6 = 59{,}66 / 6 = 10\ м,$$

где 6 – общее количество вентиляционных окон

То есть, на РВСП-3000, в верхней части его стенки или по периметру крыши, необходимо выполнить 6 вентиляционных окон диаметром 0,4 *м* каждое, и 1 окно диаметром 0,7 *м* в центре крыши. Малые вентиляционные окна необходимо выполнить с расстоянием между ними 10 *м* по периметру резервуара.

Понтон может быть смонтирован как в строящихся, так и в эксплуатирующихся резервуарах со щитовой кровлей. Монтаж понтона производится внутри резервуара из предварительно собранных узлов без применения вспомогательных механизмов. Все детали и собранные узлы понтона подают в резервуар через люк-лаз (в стенке резервуара) или монтажный люк (в крыше резервуара). Крепление узлов осуществляется резьбовыми соединениями.

При осмотре надпонтонного пространства в эксплуатирующемся резервуаре, обслуживающий персонал может перемещаться по понтону. Конструкция понтона позволяет монтировать в резервуаре приборы для замера уровня и отбора проб.

Вывод. Наибольшую взрывопожароопасность представляет резервуар со стационарной крышей (без понтона). При применении резервуаров с понтоном и стальной герметизированной крышей исключается опасная загазованность резервуарных парков при их заполнении, но не исключается возможность образования в надпонтонном пространстве взрывоопасных концентраций. При пожаре могут иметь место взрывы в надпонтонном пространстве резервуа-

ра, сброс или подрыв крыши, затопление понтона и крыши с образованием закрытых карманов. Поэтому для обеспечения взрывопожаробезопасности РВСП предлагается в стационарной крыше или стенке резервуаров с понтоном, не имеющих вентиляционных окон предусмотреть вентиляционные патрубки (отверстия), равномерно расположенные по периметру на расстоянии не более 10 *м* друг от друга, и один патрубок в центре крыши. (п. 3.9.16 ПБ 03-605-03).

Особенности (динамика развития пожара) РВСП

В случае взрыва РВСП с невентилируемой стальной крышей состояние резервуара после взрыва и характер пожара в начальной стадии зависят от характеристик резервуара (объём, степень заполнения, прочность конструкций и швов). Практика показывает, что при взрыве резервуара объёмом до 5000 $м^3$ его крыша может быть локально подорвана или сброшена с резервуара, при взрыве резервуара объёмом 10000 $м^3$ возможен сброс, но более вероятен подрыв крыши, а при взрыве резервуара объёмом 20000 $м^3$ и более – крыша не будет сброшена с резервуара, при этом возможны различные состояния резервуара: гореть не будет, будет гореть в зазоре. Стенка резервуара со стальной крышей при взрыве обычно отрывается по сварному шву от крыши или иногда от днища.

Пожар в РВСП с вентилируемым надпонтонным пространством обычно начинается с относительно слабого взрыва с возникновением локального горения в кольцевом зазоре и на стенке резервуара в местах скопления горючих отложений (при их наличии). В зависимости от состояния крыши горение может быть слабым вплоть до самозатухания из-за недостаточного газообмена или, при достаточном газообмене, может продолжаться без повреждения понтона, если конструкция юбки понтона и её сопряжения с алюминиевым настилом понтона обеспечивают теплоотвод в жидкость без достижения температуры плавления алюминия.

В обогреваемом пожаром негорящем РВСП с обычными старыми конструкциями (без вентилирования надпонтонного пространства), паровоздушная смесь, как правило, находится в пределах распространения пламени (взрывопожароопасна), и для взрыва нужен только источник зажигания (обычно это нагретая до температуры самовоспламенения стенка или крыша РВСП). Распространено опасение о том, что оборудование РВСП естественной вентиляцией через проёмы в боковой стенке или крыше создаёт угрозу распространения на него пожара в случае горения соседних резервуаров. Опасение напрасно, так как в окрестности РВСП наружная пожаровзрывоопасная зона не образуется, в связи с чем защита вентиляционных окон от распространения по ним пожара огнепреградителем не требуется. В случае прогрева корпуса и/или крыши соседнего с горящим резервуара до температуры самовоспламе-

нения и наличия в нем паровоздушной смеси, находящейся в пределах распространения пламени, взрыв в нём может произойти независимо от наличия огнепреградителя. При этом в соседнем РВСП может создаваться угроза взрыва, если в крыше не устроены проёмы для выветривания из резервуара взрывопожарооопасной ПВС или если в этих проёмах установлены огнепреградители.

На РВСП с понтоном и крышей из алюминия (с вентилирумым надпонтонным пространством) не следует принимать во внимание следующие варианты пожара:

- горение дыхательных устройств (они отсутствуют);
- горение в месте подрыва крыши, так как при плавающем понтоне концентрация паров в падпонтонном пространстве недостаточна для устойчивого горения за пределами резервуара;
- пожар с отрывом корпуса от днища, так как прочность алюминиевой крыши и её стыка с корпусом резервуара меньше прочности стыка корпуса резервуара с днищем;
- пожар с обрушением крыши в резервуар и под зависшим понтоном, так как в зоне горения алюминиевые конструкции должны расплавиться;
- пожар с отрывом корпуса от днища, так как концентрация паров в надпонтонном пространстве недостаточна для мощного взрыва.

Вследствие различия температур плавления стали и алюминия обстановка пожара с обрушением в резервуар крыши из алюминия и из стали отличается принципиально, а именно: тонкие листовые конструкции крыши из алюминия в случае взрыва разорвутся, выполнив функцию "слабого" шва между стенкой и крышей; при пожаре конструкции крыши из алюминия плавятся (их температура плавления около 600 °*С*); при обрушении в резервуар они не будут загромождать зону горения, не образуют "карманы", не создают помехи для подачи пены сверху и снизу и предоставляют свободу в выборе рациональной (надслойной или подслойной) технологии тушения пожара. Получается, что для сохранения целостности резервуара пожар должен быть потушен в начальной стадии, пока горение не вышло за пределы кольцевого зазора.

Примером пожара, когда тонкие листовые конструкции крыши из алюминия в случае взрыва разрываются, выполнив функцию "слабого" шва между стенкой и крышей, является пожар, происшедший на РВСП с алюминиевым понтоном Ультрафлоут и алюминиевой крышей нефтебазы Ладжет, штата Луизиана диаметром 14,33 *м* 1 июля 1981 г. от удара молнии в резервуар. Слабый взрыв разорвал хрупкую крышу, скрутил и искривил опорные стропила крыши. Центральная колонна выскочила из направляющих уголков, приваренных к днищу. Окалина в месте, где на понтоне лежал заземляющий трос, свидетельствовала, что часть разряда прошла сквозь трос в понтон. Ни понтон, ни уплотняющий затвор понтона не были повреждены. Горение в резервуаре с понтоном Ультрафлоут потушили пеной за 15 *мин.* [2].

Заключение

На нефтебазах и в резервуарных парках Вьетнама рекомендуется применять РВСП с понтоном и крышей из алюминия (с вентилирумым надпонтонным пространством), а существующие резервуары оборудовать алюминиевыми понтонами и предусмотреть в них вентилирумое надпонтонное пространство.

Литература

1. ***Клубань В.С., Юрьев В.И.*** Оценка взрывопожарной опасности вертикальных стальных резервуаров типа РВС с понтоном и крышей из алюминия // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 55-60.

2. ***Волков О.М.*** Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. СПб: изд-во Политехн ун-та, 2010. 398 с.

3. ***ПБ*** 03-605-03. Правила устройства вертикальных стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. 73 с.

4. ***Плоткин М.З., Оганесян Э.Ш.*** Взрывоопасность резервуаров с понтонами // Пожарное дело. № 11. 1977. С. 20, 21.

5. ***Сучков В.П., Колпин Н.Г., Деревянко Н.С., Ляхов Г.А.*** Защита резервуаров с понтонами от пожаров // НТИС "Транспорт и хранение нефтепродуктов". 1991, № 4. С. 14-18.

6. ***Ведомственные*** нормы по реконструкции и эксплуатации ЖБР и РВС с устройством купольной крыши и понтона из алюминиевых сплавов. М.: АК "Транснефть", 2003. 109 с.