О.М. Волков
("Пожарный дом"; e-mail: firehouse2002@mail.ru)

ЗАБЛУЖДЕНИЯ И ОТКРОВЕНИЯ В ЗАЩИТЕ ОТ ВЫБРОСА

Настоящая статья представляет собой отклик на статью [14], в которой изложены вопросы защиты от выброса горящего нефтепродукта наружным охлаждением резервуара и применения системы подслойного тушения в резервуаре с понтоном и плавающей крышей.

Ключевые слова: тушение пожара, резервуар, нефтепродукты.

O.M. Volkov

MISCONCEPTIONS AND REVELATIONS IN PROTECTION OF EMISSION

This article is a response to an article [14], which sets out the question protection against emission of burning oil products by external cooling of tank and application of subsurface fire extinguishing system in tanks with internal floating roof and floating roof.

Key words: fire extinguishing, tank, oil products.

Авторы упомянутой статьи, в том числе Воевода С.С. и Молчанов В.П., представляют кафедру общей и специальной химии Академии ГПС – российского ведущего учебно-научного центра в области пенного пожаротушения. Обоснование применения ***системы подслойного тушения (СПТ)*** в резервуаре с понтоном (РВСП) и плавающей крышей (РВСПК) заслуживает внимания, ибо лоббируемое кафедрой применение СПТ в таких резервуарах противоречит потокам подслойной пены под понтоном и плавающей крышей [8] и многолетнему международному опыту [11]. Дискуссия по данному вопросу полезна.

Статьи по теме выброса кафедра публикует более 20 лет [6, 9, 10, 14]. Основной идеей статей является защита от выброса посредством наружного водяного охлаждения горящего резервуара. Заявленного в названии обсуждаемой статьи обоснования необходимости применения СПТ для предотвращения вскипания и выброса нефтепродукта в РВСП и РВСПК в статье нет. Около 70 % объёма статьи занимает прогноз (расчёт) периода времени, в течение которого ***гомотермический слой (ГТС)*** достигает уровня подтоварной воды. Прогноз базируется на анализе тепловых потерь от ГТС в окружающую среду через боковую поверхность резервуара. В статьях нет информации ни об истории исследования вопроса о выбросе, ни о его современном научном и практическом состоянии.

В 1925 г. главный инженер нефтяной компании "Стандарт ойл" Х.Х. Холл опубликовал отчёт по экспериментальному исследованию причин выброса горящей нефти из резервуара [1]. Холл предположил, что интенсивное конвективное движение в верхнем горячем слое горящей нефти, выравнивающее температуру слоя и обеспечивающее теплопередачу к массе холодной жидкости

ниже слоя, вызвано опусканием части нефти, потерявшей вследствие испарения (выгорания) лёгкие фракции и имеющей более высокую плотность, чем плотности нижележащих слоёв. Такое понимание природы всё возрастающего гомотермического слоя в США и других странах неколебимо.

Однако в России среди ряда специалистов доминирует иная версия.

Авторы монографии [2] не приняли механизм формирования гомотермического слоя за счёт фракционной разгонки горящей жидкости и выдвинули гипотезу о механизме формирования гомотермического слоя вследствие парообразования при кипении жидкости у нагретой стенки горящего резервуара. Ввиду признания решающего значения кипения жидкости у стенки они предположили, что в резервуаре с очень большим диаметром и низким уровнем жидкости гомотермический слой не будет развиваться, так как очень мало отношение периметра резервуара к площади горящей жидкости. Уже много лет достоверно известно, что эта гипотеза оказалась ошибочной. Явления прогрева, вскипания, выброса происходят при горении нефти в резервуарах любого размера, а также при горении пула, не ограниченного стенками [4, 12].

Недавний катастрофический пожар с выбросом в России произошёл в 2009 г. на группе резервуаров ЛПДС "Конда" [13]. В связи с обсуждаемой статьёй заслуживают внимания некоторые значимые обстоятельства этого пожара:

- выброс произошёл на большом резервуаре РВС-20000;
- охлаждение резервуара началось в самом начале пожара, но не предотвратило выброс и не замедлило его наступление;
- несмотря на оснащение резервуара надслойной и подслойной системами тушения, резервуар не тушили;
- горевший резервуар был без понтона, что и привело к выбросу.

В упомянутых статьях о защите от выброса посредством наружного водяного охлаждения горящего резервуара не принята во внимание выполненная в 1978 г. на кафедре пожарной профилактики в технологических процессах производств оценка двух гипотез о механизме формирования гомотермического слоя [3].

Когда процесс кипения у стенки не играет существенной роли, механизм формирования гомотермического слоя за счёт частичного выгорания и оседания отяжелевшей горячей жидкости можно представить следующим образом: верхний слой горящей жидкости, потерявший в результате испарения и выгорания более лёгкие фракции, становится тяжелее нагретых до той же температуры нижележащих слоёв жидкости и опускается до холодной исходной жидкости; при нагревании исходной жидкости, прилегающей к нижней границе гомотермического слоя, происходит всплывание свежей жидкости к поверхности испарения; возникающий противоток обеспечивает равномерное распределение плотности и температуры во всём нагретом слое и увеличение этого слоя.

Процессы у стенки могут ускорять (при нагреве стенки) или замедлять (при охлаждении стенки) формирование гомотермического слоя. Если пренебречь количеством тепла, уходящим из нагретого слоя в массу холодной жидкости за счёт теплопроводности, то уравнение скорости прогрева жидкости:

$$\frac{\mathrm{d}z_0}{\mathrm{d}\tau} = u = \upsilon \frac{\rho_T}{\rho_0} \frac{C_T}{C_0} \exp\left(- \frac{2\alpha\tau}{\rho_0 C_0 R} \right),$$

где z_0 – высота гомотермического слоя;

τ – время от начала формирования слоя;

υ, u – линейные скорости выгорания и прогрева при выгорании жидкости;

$\rho_л$, $\rho_т$ – плотности легкокипящей и тяжелокипящей фракций;

C_0, $C_Т$ – теплоёмкости исходной жидкости и тяжелокипящей фракции;

α – коэффициент теплоотдачи у стенки;

R – радиус резервуара.

Согласно расчёту, при малом радиусе резервуара процессы у стенки могут влиять на формирование нагретого слоя. С увеличением диаметра резервуара это влияние ослабевает до пренебрежительно малого. Чувствительным к наружному охлаждению оказывается типовой РВС(П)-5000. Для РВС(П)-10000 и более гипотеза кипения горящей жидкости у стенки резервуара и основанная на ней защита от выброса посредством наружного водяного охлаждения резервуара не работает.

В соответствии с гипотезой формирования гомотермического слоя за счёт частичного выгорания и оседания отяжелевшей жидкости, для приращения высоты слоя необходимо, чтобы было

$$(u/\upsilon) > 1 \quad \text{и} \quad (\rho_T/\rho_0)(C_T/C_0) > 1.$$

Для узкофракционной жидкости характеристики легкокипящей и тяжелокипящей частей примерно одинаковы:

$$\rho_Т \approx \rho_0 \quad \text{и} \quad C_Т \approx C_0.$$

Тогда

$$(\rho_T/\rho_0)(C_T/C_0) \approx 1, \; (u/\upsilon) \approx 1$$

и прогрессирующий прогрев за счёт разгонки невозможен. Узкофракционные бензины, керосины и дизельные топлива, а также индивидуальные жидкости не могут прогреваться при горении, если размеры резервуара таковы, что процессы у стенки не играют решающей роли.

В прогнозе [14] основные сомнительные положения (нарастание ГТС только за счёт кипения у стенки и торможение нарастания ГТС наружным водяным охлаждением) "усилены" в примере расчёта ГТС. Принятый горящей жидкостью бензин как узкофракционный нефтепродукт в резервуаре промышленного масштаба не способен к прогрессирующему прогреву. Температура горящего бензина (средняя температура кипения) не превышает 100 °С и не способна вызвать перегрев и бурное (взрывное) вскипание донной воды и выброс горящего бензина.

Вследствие приписывания бензину способности к прогреву и выбросу в расчёте ***получен абсурдный результат:*** время наступления выброса горящего бензина без охлаждения – 16 *ч*, с охлаждением – 42 *ч*. Результаты расчёта не истолкованы относительно необходимости применения СПТ для предотвращения выброса. На предприятиях и в пожарных подразделениях в предварительном и оперативном планировании действий по тушению пожаров бензина иногда предусматривают действия в связи с угрозой вскипания и выброса, но такой угрозы не существует. ***Пожар в резервуаре с бензином можно не тушить*** и борьбу с пожаром определять как контролируемое выгорание. ***Тушение нефти обязательно*** и ограничено временем наступления выброса.

Сомнительным является ***приложение явления выброса к РВСП и РВСПК***. В мировой практике известен только один пожар с выбросом на РВСПК: 30.08.83 на НПЗ в г. Милфорд (Великобритания). В результате дождей на ПК скопилось много воды, утяжелевшая крыша выдавила через уплотнение большое количество нефти на залитую дождевой водой крышу. От скопившейся вследствие дождя и пенной атаки воды крыша затонула. Через 18 *ч* и 20 *ч* после начала пожара произошли вскипания. Через 37 *ч* горения произошло три выброса горящей нефти. До этого считали, что в РВСПК с затонувшей крышей вскипание и выброс исключаются. Как выяснили, вскипание происходило при достижении тепловой волной воды на затонувшей крыше. Это был тяжёлый пожар, который не изменил мнение о малой вероятности выброса на РВСПК и РВСП.

С учётом достоверности гипотезы о фракционной разгонке горящей жидкости поиск защиты от выброса направлен на процессы внутри горящего резервуара. ***Защитой от выброса*** может быть "провокация" раннего закипания донной воды [2, 7], но ***не подслойная подача пены***, которая должна быть выше уровня донной воды. По той же причине ***мнение*** о возможности предотвращения выброса за счёт ***перемешивания и охлаждения горящей жидкости подслойной подачей пены ошибочное***. Примером реализации защиты от выброса внутренним охлаждением резервуара служит защита резервуара с мазутом посредством реверса технологической системы подогрева в систему охлаждения при пожаре [5].

В настоящее время ***есть только один способ защиты от выброса в крупных резервуарах – быстрое тушение пожара.*** Однако на основании обсуждаемой статьи ***нельзя утверждать***, что для РВСП и РВСПК ***лучшей технологией пожаротушения будет СПТ.***

Литература

1. ***Hall H.H.*** Oil-tank-fire boilovers // Mechanical Engineering, 47, № 7, 1925. Pp. 540-544.

2. ***Блинов В.И., Худяков Г.Н.*** Диффузионное горение жидкостей. М.: АН СССР, 1961.

3. ***Волков О.М., Сергеев Ю.Д.*** Уравнение нагретого слоя в горящей жидкости // Труды ВИПТШ. Вып. 3, 1978. С. 96.

4. ***Волков О.М.*** Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М.: Недра, 1984.

5. ***Волков О.М., Поляков М.Н., Кронфельд А.А.*** А.с. 1232273 (СССР). Способ защиты от выбросов горящей жидкости из резервуара. Заявл. 01.06.84, № 3779719/29-12; Опубл. в БИ, 1986, № 19.

6. ***Вскипание*** и выброс нефти и нефтепродуктов при длительном горении и тушении пожаров в резервуарах / Шароварников А.Ф., Воевода С.С., Фархутдинов Р.И., Грашичев Н.К. // Транспорт и хранение нефтепродуктов, № 10, 1991. С. 13-16.

7. ***Волков О.М., Ануфриев В.С., Лопатеев Ю.В.*** Изучение механизма выброса горящего нефтепродукта на модели резервуара // В кн.: Научно-техническое обеспечение противопож. и аварийно-спасательных работ: Матер. XII Всеросс. конф. М.: ВНИИПО МВД России, 1993. С. 298-299.

8. ***Волков О.М.*** Оценка эффективности стационарной системы подслойного тушения пожара в резервуаре с понтоном и плавающей крышей // Транспорт и хранение нефтепродуктов, № 10, 2000. С. 9-13.

9. ***Шароварников А.Ф., Воевода С.С.*** Прогноз периода времени до выброса нефти при её длительном горении в вертикальном металлическом резервуаре // Пожаровзрывобезопасность, № 1, 2001. С. 44-47.

10. ***Тушение*** пожаров нефти и нефтепродуктов / Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шароварников С.А. М.: Колан, 2002.

11. ***Волков О.М.*** Опыт внедрения систем подслойного пожаротушения в резервуарах. – НИС "Транспорт и хранение нефтепродуктов", № 4, 2004. С. 20-24.

12. ***Волков О.М.*** Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. С.-Пб: Изд-во политехнического университета, 2010.

13. ***Волков О.М.*** Обстоятельства катастрофического пожара резервуаров на ЛПДС "Конда" в свете норм проектирования резервуаров и резервуарного оборудования // Материалы семинара "Нормативно-техническая база по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту нефтеперерабатывающего и нефтехимического оборудования". Москва. 14-17 февраля 2011.

14. ***Применение*** системы подслойного пожаротушения для предотвращения вскипания и выброса нефтепродукта в резервуарах с понтоном и плавающей крышей / Воевода С.С., Макаров С.А., Молчанов В.П., Битуев Б.Ж., Бастриков Д.Л., Крутов М.А. "Технологии техносферной безопасности": интернет-журнал. Вып. № 2 (36), 2011. http://ipb.mos.ru/ttb.

Статья опубликована 21 февраля 2013 г.