



Н.И.КОБЫЛКИН

ОАО «ПРОМПРИБОР»

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЗРЫВОВ ЦИСТЕРН И РЕЗЕРВУАРОВ при перегрузке нефтепродуктов

Взрывы, пожары и катастрофы, происходящие при проведении операций по перегрузке, хранении и использовании нефтепродуктов, свидетельствуют о том, что эти процессы не только недостаточно исследованы, но и не полностью формализованы в части адекватного документального обеспечения безопасности. В идеальной ситуации понятно, что лучше устранить причину, чем бороться с ее последствиями.

Мировая статистика аварий показывает, что случаи взрывов и возгораний происходят при выполнении следующих операций:

- налив нефтепродуктов в автоцистерны;
- налив нефтепродуктов в железнодорожные (ж/д) цистерны;
- слив из автоцистерн в емкости АЗС;
- слив из ж/д цистерн;
- наполнение или опорожнение резервуаров хранения.

Причины возникновения аварийных ситуаций следующие:

- человеческий фактор;
- неисправность оборудования;
- статическое электричество;
- другие не выявленные обстоятельства.

Первые две причины не будем обсуждать, поскольку они достаточно квалифицированы в

существующих стандартах, нормативах и правилах. Обратим внимание на две оставшиеся причины аварий: статическое электричество и другие не выявленные факторы.

Качественные признаки и свойства основных процессов электризации нефтепродуктов при их движении по трубам и на стадии наполнения емкостей известны, но точные количественные характеристики процессов электризации до настоящего времени отсутствуют. Считается, что полезным способом борьбы с электростатическим потенциалом является заземление оборудования. Однако известны случаи, когда этого приема в качестве предохранительной меры бывает недостаточно. Распространено мнение, что даже надежное заземление всех сооружений защищаемого объекта и хорошая электрическая связь между ними не гарантируют полной безопасности. Предпринимаемые меры не устраняют появления разрядов статического электричества внутри резервуаров. Большинство взрывов происходит от разрядов внутри емкостей при надежно заземленном оборудовании.

В связи с этим приходится считать, что заземление только частично обеспечивает безопасность операций с нефтепродуктами. Поэтому одновременно с обязательным заземлением необходимо

применять и другие средства и способы для устранения разрядов статического электричества или по возможности изыскивать меры и подходы для реализации условий, сводящих влияние разрядов статического электричества к минимуму.

При исследованиях электризации нефтепродуктов на стадии наполнения ж/д цистерн и влияния сопротивления заземленного проводника на величину электростатического заряда обнаружены характерные признаки подобных явлений:

1) величина электростатического заряда в объеме нефтепродукта определяется его электропроводностью;

2) величина накопленного суммарного электрического заряда на цистерне не зависит от электропроводности цистерны и определяется только электрическим сопротивлением ее заземления.

Разумно предположить, что суммарный электростатический заряд объема нефтепродукта, находящегося в цистерне, передается в течение определенного времени на металлическую оболочку цистерны и далее стекает на землю. Принято, что данный процесс, по-видимому, подчиняется некоторой экспоненциально-временной зависимости. Вид ожидаемой экспериментальной зависимости пока не установлен. На стенках реальной емкости, находящейся в длительной эксплуатации с целью транспорта или хранения продуктов с разной вязкостью и другими свойствами, всегда остаются твердые остатки в виде пленки, затрудняющей быструю утечку электростатических зарядов. Таким образом, гарантированного (с вероятностью $\approx 100\%$) способа устранения электростатических зарядов из нефтепродуктов при их наливке, сливе и хранении пока не найдено.

Поэтому приходится обращать внимание на другие факторы возникновения взрывов, а именно: кроме источника электростатических разрядов для возникновения взрывного процесса необходимо наличие взрывоопасного вещества или формирование пожаровзрывоопасной среды при технологических операциях. Приходится признать, что примеси легких углеводородных фракций (ЛУФ) всегда присутствуют в определенных концентрациях в составе паровоздушных смесей (ПВС) над зеркалом нефтепродукта в технологических емкостях, магистралях и регулировочной аппаратуре.

Состав ЛУФ бывает разным и зависит от вида используемого нефтепродукта. При перегрузке

и хранении бензина ЛУФ состоят в основном из пропана, бутана, пентана, гексана и их изомеров. При перегрузке нефти кроме указанных компонентов в состав ЛУФ входят: метан, этан, бензол и другие примеси.

Количество (концентрация) ЛУФ в ПВС зависит от состава компонентов и температуры окружающей среды и продукта. Степень летучести компонентов и пожароопасность для каждого вида нефтепродукта определяются температурой вспышки в закрытом тигле и величиной давления насыщенных паров по Рейду. Доля каждого компонента в ПВС подчиняется закону Дальтона, по которому сумма парциальных давлений компонентов равна общему давлению в системе. При наполнении цистерн давление равно атмосферному.

Следует учитывать условия, при которых в процессе перегрузки (налива, слива) или хранения нефтепродукта появляются взрывоопасные концентрации ЛУФ в ПВС. К таким условиям относятся:

- изменение температуры;
- абсорбция ЛУФ продуктом с более высокой температурой вспышки;
- принудительное изменение концентрации при поступлении воздуха в емкости во время осуществления технологической операции, например, при сливе основного вещества.

Необходимо рассматривать возникновение взрывоопасных концентраций ЛУФ в ПВС при совокупном влиянии перечисленных условий. К наиболее опасным продуктам по причине низкого значения температуры вспышки в закрытом тигле относятся бензины всех марок. Подобные продукты в больших количествах подвергаются перевалкам на пути от НПЗ до бака автомобиля. Измерения концентрации паров в емкостях, где хранится или перевозится бензин, показали, что после его слива из емкости концентрация паров в ней зависит от температуры окружающей среды и находится в пределах от 15% до 50% объемных. При операции слива бензина из емкости концентрация паров снижается в начальной стадии слива, но впоследствии с течением времени восстанавливается за счет сохранившихся остатков и пленки на стенках. Если в емкости пары полностью отсутствовали и туда залили бензин, то за короткий промежуток времени концентрация паров в объеме пересекает взрывоопасный концентрационный диапазон между нижним концентрационным пределом горения НКП $\approx 2\%$ и верхним концентрационным

пределом горения ВКП=6% (объемных процентов) и достигает равновесного значения при текущей температуре.

Если из емкости слили бензин и негерметично закрыли ее, то концентрация паров уменьшается по мере вентиляции воздуха и может достигнуть взрывоопасного значения. При герметизации емкости на ее стенках остается пленка из продукта, и концентрация паров восстанавливается до равновесного значения и остается таковой в течение длительного времени. В автоцистернах, ж/д цистернах и резервуарах дыхательные клапаны должны быть всегда в исправном состоянии, чтобы обеспечивать герметизацию затворов в пределах рабочего давления. В противном случае кроме потерь от испарения бензина может образоваться взрывоопасная концентрация паров в емкости.

Скорость слива продукта из емкости должна быть такой, чтобы при поступлении воздуха, замещающего продукт в емкости, концентрация ЛУФ и ПВС не опускалась до пределов взрывоопасной области (2–6%). Наиболее безопасным техническим решением проблемы в данном случае может быть возврат паров из донорной емкости (куда поступает бензин) в акцепторную емкость (откуда бензин сливается), т. е. газовозврат или рециркуляция паров через специальный трубопровод. Данная технология желательна при сливе, наливке автоцистерн, ж/д цистерн, резервуаров для хранения, а также при заправке автомобилей на АЗС. Такую схему слива с вытеснением и заменой паров называют балансовой технологией.

В реальной жизни один и тот же бензовоз очень часто перевозит попеременно бензин и дизельное топливо. В ж/д цистерны, в которых перевозился бензин, немотивированно наливают дизельное топливо. Рассмотрим процессы, которые происходят при подобных операциях.

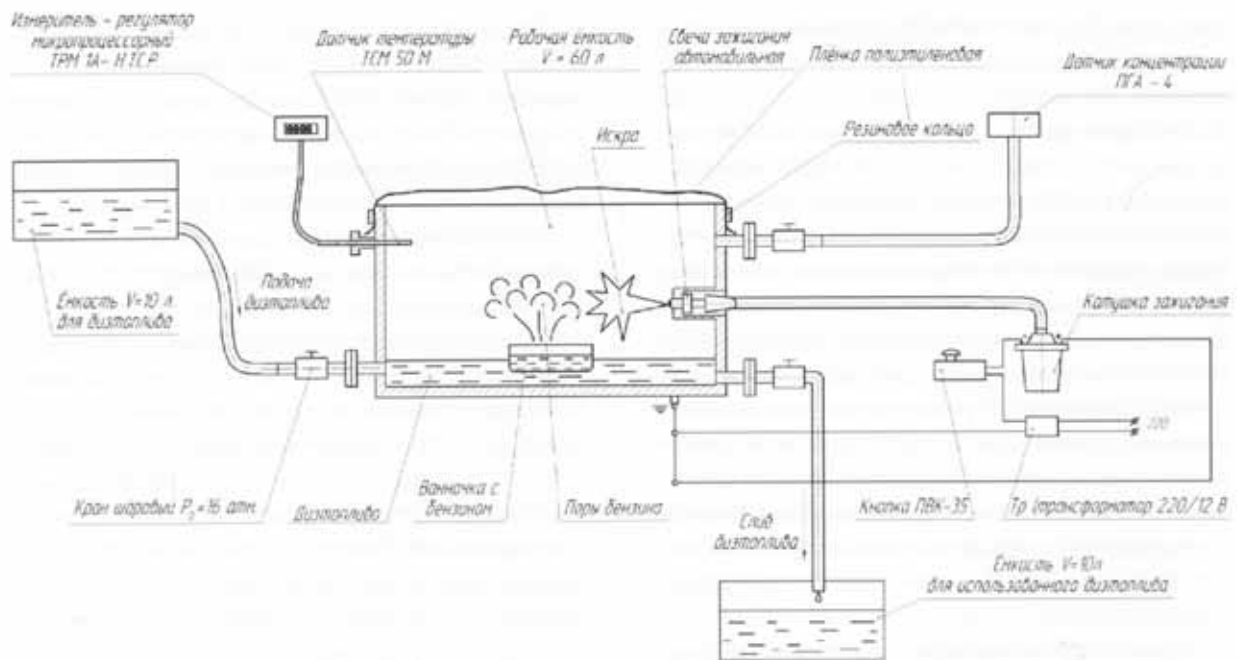
Дизельное топливо всех марок имеет температуру вспышки выше +40°C. Величина давления насыщенных паров по Рейду составляет 10–13 мм рт. ст. Практически концентрация паров может достичь уровня свыше 2% (т. е. попасть во взрывоопасную область) только при температуре более 40°C. В рабочем диапазоне температуры от –10°C до +40°C пары дизтоплива безопасны.

Экспериментальными исследованиями по поглощению паров бензина (в том числе и ЛУФ) выявлено, что дизтопливо является хорошим абсорбентом паров бензина и применяется в качестве последнего в установках для утилизации паров. В опытах установлено, что для улавливания (извлечения) летучих углеводородов из 1 м³ паровоздушной смеси с концентрацией до 50% достаточно 20–25 литров дизельного топлива с условием развитого контакта, т. е. наличия большой поверхности соприкосновения дизтоплива и ПВС.

Степень улавливания ЛУФ такова, что их остаточная доля в ПВС после контакта с дизельным топливом устанавливается в пределах 2–10% объемных. Такие пределы соответствуют взрывоопасной концентрации паров бензина 2–6% (а по некоторым данным — 2–9%).

Таким образом, при наливке дизельного топлива в емкость, где ранее находился бензин и концентрация его паров была выше пределов





взрывоопасности после поступления дизельного топлива, концентрация паров снижается и может достичь пределов взрывоопасности. Взрывоопасная концентрация паров бензина при наливке дизельного топлива в емкость поддерживается в течение длительного времени в процессе налива и хранения. Вероятность возникновения электростатического разряда в промежутке времени стадии наполнения довольно высока. Замечено, что часто взрывы происходят при температуре окружающей среды ниже 0°C . Это объясняется тем, что при такой температуре концентрация паров бензина не достигает максимальных значений и ЛУФ быстрее поглощаются. Процесс абсорбции более эффективно происходит при низкой температуре.

В случае наливания бензина в емкость после того, как в ней было дизельное топливо и концентрация паров оставалась ниже 2% в начальный момент наполнения, концентрация паров увеличивается и довольно быстро проходит через пределы взрывоопасности. Как правило, в начальный момент наливание производится с малой скоростью (менее 1 м/с), которая является безопасной для образования электростатических зарядов.

В случае наполнения бензином емкости, в которой ранее был бензин, концентрация паров, ранее бывшая не взрывоопасной, при поступлении дополнительной порции бензина остается такой же.

В случае наполнения дизельным топливом емкости, в которой и ранее находилось дизельное

топливо, концентрация паров там остается низкой и не взрывоопасной при дополнительном поступлении дизельного горючего.

Опишем модельные экспериментальные исследования уникальных последствий процесса наливания дизельного топлива в цистерну с остатками бензина. Схема установки для доказательства поглощения паров бензина из объема дизельным топливом до уровня взрывоопасных концентраций упрощенно изображена на пояснительном рисунке.

В емкость объемом 60 дм^3 устанавливалась вазочка с бензином в количестве 100–300 мл. Емкость оснащалась датчиком температуры, датчиком концентрации паров, свечой зажигания и системой пропускания через нее дизельного топлива без прямого контакта с бензином в чашке. Емкость закрывалась пленкой.

Бесконтактное сосуществование дизельного горючего и бензина является отличительной чертой выполненных тестов.

Испытания проводились по следующей схеме.

1. Сразу после закрытия емкости пленкой подавалось напряжение на свечу зажигания при концентрации паров менее 2% объемных. Взрыва и возгорания газовой подушки или ПВС не происходило.

2. По истечении времени 0,5–1 часа концентрация паров бензина становилась взрывоопасной в пределах 2–6%. Вслед за искровым разрядом происходил взрыв паров с разрушением пленки.

3. По истечении более 1,5 часа концентрация паров бензина увеличивалась и достигала от 10% до 15%. Под влиянием искрового разряда взрыва и возгорания ПВС не происходило.

4. При концентрации паров выше взрывоопасной производилась прокачка дизельного горючего по дну основной емкости без контакта тяжелого компонента с бензином. Во время этой операции непрерывно подавалась искра на свечу и замерялась концентрация паров.

Концентрация паров в течение некоторого времени снижалась до взрывоопасной из-за поглощения паров бензина дизельным топливом, и происходил взрыв паров.

5. Бензин из емкости убрали и оставляли на дне емкости дизельное топливо. После этого закрывали емкость пленкой, и в течение 2 часов на свечу подавался искровой разряд. Взрыва и возгорания не происходило.

На основании многократного выполнения тестовых опытов сделаны важные выводы:

1. Дизельное топливо является абсорбентом паров бензина, снижает их концентрацию в объеме и способно доводить их до взрывоопасных пределов. При наличии источников статического электричества таким способом можно спровоцировать пожары и взрывы в автоцистернах и ж/д цистернах.

2. Пары бензина с концентрацией ниже НКП и выше ВКП в воздухе не взрывоопасны при наличии провоцирующих искусственных (свеча) или электростатических источников поджигания.

3. Пары дизельного топлива не представляют опасности при наличии источников статического электричества при температуре ниже +40°C.

4. Представленные выводы подтверждены хроникой аварий, возникших при перегрузке нефтепродуктов.

АВТОР ВЫРАЖАЕТ БЛАГОДАРНОСТЬ

ПРОФЕССОРУ ГЕЛЬФАНДУ Б.Е. И ПРОФЕССОРУ СИЛЬНИКОВУ М.В.

ЗА КОНСТРУКТИВНОЕ ОБСУЖДЕНИЕ И МОТИВАЦИЮ К ОБОБЩЕНИЮ ИМЕЮЩЕГОСЯ НЕСТАНДАРТНОГО ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕНАЛИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ АВАРИИ	КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ ОАО «ПРОМПРИБОР»
<p>ДАТА: 09.03.2003 Г. МЕСТО: ЗАО «Топливозаправочная компания» (Кузнечное управление). На складе нефтепродуктов при перекачке дизельного горючего из одного резервуара в другой вместимостью 75 м³ произошел взрыв паров нефтепродукта с последующим возгоранием и проливом в обвалование. Пожар ликвидирован, пострадавших нет.</p>	<p>В соседнем резервуаре ранее находился бензин, и после его откачки там остались пары с концентрацией выше взрывоопасной. При поступлении дизельного топлива в акцепторную емкость концентрация паров снизилась и произошел взрыв из-за разряда статического электричества.</p>
<p>ДАТА: 31.05.2005 Г. МЕСТО: ЗАО «Петербургский нефтяной терминал» (Управление по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора по городу Санкт-Петербургу). При проведении операции по сливу дизельного топлива воспламенились пары нефтепродукта. Оператор-сливщик получил смертельную травму.</p>	<p>Дизельное топливо сливалось в резервуар, где находились пары бензина с концентрацией выше взрывоопасной. При поступлении дизельного топлива концентрация паров снизилась до взрывоопасной и произошел взрыв из-за разряда статического электричества внутри приемной емкости.</p>
<p>ДАТА: 05.09.2006 Г. МЕСТО: ООО «Ульяновск-терминал» НК «ЮКОС» (Управление по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора по Ульяновской области). При наливе дизельного топлива в автоцистерну произошел «хлопок» паров нефтепродуктов в горловине автоцистерны и возникло возгорание. Водитель получил ожоги тела, от которых впоследствии скончался.</p>	<p>Причина та же, что указывалась ранее.</p>
<p>ДАТА: 11.12.2006 Г. МЕСТО: ОАО «Лукойл – Ухтанефтепереработка» (Чечорское управление по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора). На участке по отгрузке нефтепродуктов во время наливания дизельного топлива в автоцистерну произошел взрыв с последующим воспламенением, во время которого были получены ожоговые травмы.</p>	<p>В ОАО «Лукойл-Ухтанефтепереработка» произошло два похожих взрыва в течение двух недель. Первый взрыв был без жертв. В обоих случаях наполнялась дизельным топливом автоцистерна, которая до этого перевозила бензин.</p>