

УДК 614.841

Анализ протекания аварии, сопровождаемой возникновением пожара и взрыва, на складах нефти и нефтепродуктов

Analysis of occurrence of accidents, followed by fire and explosion in the warehouses of petroleum and petroleum products

*Г.С. Дупляков¹,
М.В. Елфимова¹,
канд.техн.наук, доцент,
А.В. Пешков²,*

*канд.техн.наук, доцент
¹ФГБОУ ВО Сибирская
пожарно-спасательная
академия ГПС МЧС России,
²ФГБОУ ВО Уральский
институт ГПС МЧС России*

*G.S. Duplyakov¹,
M.V. Elfimova¹,
Ph.D. of Engineering Sciences,
Docent,
A.V. Peshkov²,
Ph.D. of Engineering Sciences,
Docent*

*¹FSBEE HE Siberian Fire
and Rescue Academy
EMERCOM of Russia,
²Ural State Fire Service Institute
of Emercom of Russia*

Аннотация:

В статье дана оценка нынешнему состоянию пожаровзрывобезопасности объектов нефтепромышленности РФ. Представлены результаты анализа последовательности развития аварии, сопровождаемой возникновением пожара и взрыва, на объектах складов нефти и нефтепродуктов (далее СНИН):

- представлена блок-схема развития аварии от инициирующего события до событий по ликвидации аварии;
- описаны различные сценарии развития аварии;
- приведен минимально необходимый набор событий для возникновения пожара, взрыва;
- описана логика работы системы обеспечения пожарной безопасности (далее СОПБ) складов нефти и нефтепродуктов;
- описаны барьеры безопасности, присутствующие в СОПБ, и последовательность их сработки по ходу развития аварии.

Ключевые слова: нефтепродукт, склад, авария, пожар, взрыв, тушение, безопасность.

Abstract:

The article assesses the current state of fire and explosion safety of oil industry facilities in the Russian Federation. The results of the analysis of the sequence of development of the accident, accompanied by the occurrence of fires and explosions, at the facilities of oil and petroleum products warehouses (hereinafter Snin):

- a block diagram of the development of the accident from the initiating event to the event for the elimination of the accident is presented;
- various scenarios of accident development are described;
- the minimum-necessary set of events for the development of an accident necessary for the occurrence of a fire or explosion is given;
- describes the safety barriers of the fire safety system and the sequence of their development in the course of the accident.

Key words: petroleum products, warehouse, accident, fire, explosion, extinguishing, safety.

Российская Федерация занимает лидирующие позиции в мире по экспорту углеводородного топлива, в частности нефти и нефтепродуктов. Внутри страны функционирование большей части народного хозяйства

зависит от поставок нефти и нефтепродуктов. Таким образом, стабильность функционирования внешней и внутренней экономики нашей необъятной родины зависит от стабильности функционирования нефтяной промышленности. Но при анализе статистики реализации опасных техногенных явлений на объектах нефтяной промышленности были получены следующие данные:

- 67 % опасных техногенных явлений реализуются в виде пожаров и взрывов;
- больше половины пожаров, возникающих в нефтепромышленности РФ, приходится на объекты СНИН;
- в состав СНИН входят резервуары по хранению жидких нефтепродуктов, на долю которых приходится половина всех пожаров происходящих на объектах нефтяной промышленности РФ [1].

Как видно из анализа статистики, большая часть пожаров и взрывов в нефтяной промышленности РФ реализуется за счет объектов СНИН. СНИН – комплекс зданий, резервуаров и других сооружений, предназначенных для приема, хранения и выдачи нефти и нефтепродуктов [2]. К СНИН относятся:

- предприятия по обеспечению нефтепродуктами (нефтебазы);
- резервуарные парки и сливно-наливные сооружения магистральных нефтепроводов, нефтепродуктопроводов, пунктов сбора нефтяных месторождений, нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий;
- расходные склады нефтепродуктов промышленных предприятий.

СНИН состоят из трех основных функциональных частей:

- сливноналивные эстакады (прием и отгрузка нефти и нефтепродукта);
- насосные станции (транспортировка нефтепродукта по трубопроводам на территории склада);
- резервуарные парки (хранение нефти и нефтепродукта).

Как показал анализ функционирования СНИН, высокая пожаровзрывоопасность данных объектов реализуется по двум основным причинам:

1. их функционирование, непосредственно связано с перемещением нефти и нефтепродуктов, что постоянно сопровождается риском возникновения проливов нефтепродукта и образования топливно-воздушной смеси (далее ТВС), как

вследствие нарушения технологического процесса, так и при его протекании в заданных параметрах [3]. В контексте данного исследования под ТВС понимается смесь паров нефтепродукта с воздухом, способная к воспламенению;

2. СОПБ СНИН имеет ряд существенных проблем – функционирует неэффективно [4].

Как видно, из всего перечисленного выше, на объектах СНИН имеются негативные дестабилизирующие тенденции. Причины данных тенденций выяснены и, чтобы исправить сложившуюся обстановку, необходимо предпринять корректирующие меры. Но для того, чтобы предпринять наиболее конструктивные меры по снижению риска возникновения пожара, взрыва на данных объектах, необходимо провести структурный анализ последовательности развития аварии, сопровождаемой возникновением пожара, взрыва, от головного иницирующего до конечных событий по ликвидации. Для чего необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать и проанализировать типовую блок-схему событий развития аварии, сопровождаемую возникновением пожаров и взрывов, на объектах СНИН.
2. Выявить барьеры безопасности в СОПБ. Барьер безопасности – организационные и (или) технические меры, направленные на предотвращение, контроль и смягчение последствий развития аварии [5];
3. Установить логику работы СОПБ СНИН при развитии аварии, сопровождаемой возникновением пожаров и взрывов.

Краткая характеристика объектов СНИН:

Резервуарные парки

Резервуары служат для хранения нефти и нефтепродуктов. Классифицируются по расположению относительно земли: горизонтальные и вертикальные объемом 3 – 100000 м³[3]. По конструктиву крыши: стационарная (далее резервуар типа РВС), плавающая (далее резервуар типа РВСПК) или понтон (далее резервуар типа РВСП) [3]. Резервуары размещаются в группы по номинальному общему объему всех резервуаров группы, по виду хранимого нефтепродукта [2]. Каждая группа резервуаров размещается в обваловании [2]. В ходе данного исследования не рассматривались горизонтальные и подземные резервуары, так как данные типы резервуаров ограничены по объему до 100 м³ и широкое распространение на СНИН не получили [3].

Насосные станции

Представляют собой сооружение закрытого или открытого объема, внутри которого располагаются центробежные насосы с приводом от электродвигателя. К насосам подсоединены подводящие и отводящие трубопроводы для перемещения нефтепродукта по складу.

Сливоналивные эстакады

Технологические сооружения для слива и налива нефти и нефтепродукта в цистерны железнодорожного, автомобильного и водного транспорта. Классифицируются по принципу наполнения емкостей на закрытого (герметичного налива) и открытого типа налива [3].

В ходе изучения протекания аварий, сопровождаемых пожарами и взрывами, на резервуарных парках, насосных станциях и сливоналивных эстакадах, было установлено, что эти аварии имеют схожую хронологию протекания событий. Что в свою очередь делает возможным построение обобщенной блок-схемы событий для всех трех данных объектов (см. рис).

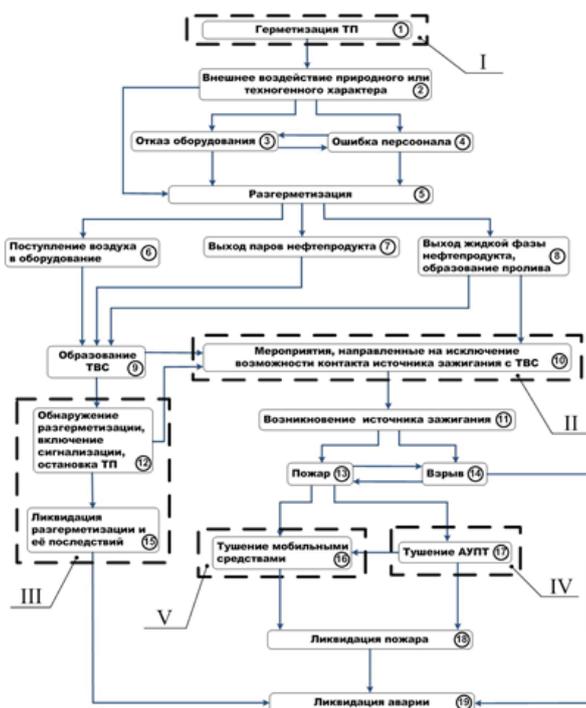


Рис. - Блок - схема событий протекания аварии, сопровождаемой возникновением пожаров и взрывов, для объектов СНиН

Пояснения к рисунку:

- в прямоугольники заключены основные события протекания аварии;
- окружностями с цифрой обозначены номера событий;

- пунктирными фигурами обозначены барьеры безопасности СОПБ, а выноска с римской цифрой – номер барьера, в зависимости от первостепенности его сработки при протекании аварии.

Сценарий развития аварии (см. рис.):

Первоначальными мероприятиями в СОПБ СНиН препятствующими инициированию аварии, сопровождаемой возникновением пожаров и взрывов, выступают мероприятия по герметизации технологического процесса (далее ТП), что соответствует событию «Герметизация ТП». Данные мероприятия направлены на то, чтобы по максимуму ограничить газовый, жидкостный обмен между внутренним объемом технологического оборудования и окружающей средой.

Такие мероприятия сводятся к тому, чтобы:

1. ограничить массы и (или) объем паров нефтепродукта поступающих в окружающую среду;
2. поддерживать концентрации паров нефтепродукта в среде окислителя вне предела воспламеняемости (менее значения НКПР, либо более значения ВКПР).

Далее в результате наступления события «Внешнее воздействие природного или техногенного характера», происходит инициирование аварии. Событие «Внешнее воздействие природного или техногенного характера» подразумевает под собой изменение состояния технологической системы ввиду природных причин: природные катаклизмы, техногенных причин: выполнение технологических операций (обслуживание и ремонт оборудования, слив и налив емкостей хранения нефтепродукта и т.д.). Далее в результате воздействия на технологическую систему наступает событие «Разгерметизация». В контексте данного исследования событие «Разгерметизация» подразумевает под собой газовый или жидкостный обмен между средами, разделенных оболочкой технологического оборудования. События «Разгерметизация» разгерметизация может наступить, как при нормальном протекании ТП, что соответствует сценарию развития аварии 2–5. Что обуславливается допускаемыми технологическими явлениями, как большие и малые дыхания резервуаров, выход паров нефтепродукта при заправке цистерн транспорта. Наступление события разгерметизация при нарушении нормального протекания ТП реализуется за счет наступления событий «Отказ оборудования» и (или) «Ошибка персонала», что соответствует сценариям развития аварии: 1–2–3–5; 1–2–3–4–5; 1–2–4–5; 1–2–4–3–5.

Далее «Разгерметизация» влечет за собой впоследствии совместное или одиночное возникновение трех последующих событий:

- «Выход паров нефтепродукта» из объема технологического оборудования в окружающую среду;
- «Выход жидкой фазы нефтепродукта, образование пролива»;
- «Поступление воздуха в оборудование».

Возникновение любого из трех данных событий инициирует возникновение события «Образование ТВС». Только в случае с событиями «Выход паров нефтепродукта» и «Выход жидкой фазы нефтепродукта, образование пролива» образуется ТВС в окружающей среде (облако ТВС) за пределами объема оборудования. А в случае с событием «Поступление воздуха в оборудование» ТВС образуется во внутреннем объеме оборудования. События «Выход паров нефтепродукта», «Поступление воздуха в оборудование», «Образование ТВС» внутри оборудования не имеют место быть на насосных станциях, поскольку в них отсутствуют объемные емкости для скопления нефтепродукта, в которых может образовываться паровоздушная смесь нефтепродукта.

Для образования ТВС необходимо два обязательных условия:

1. температура нефтепродукта должна быть выше его температуры вспышки;
2. концентрация паров нефтепродукта в воздухе должна лежать в области воспламеняемости между НКПР и ВКПР.

При наступлении одного из двух событий «Образование ТВС», «Выход жидкой фазы нефтепродукта, образование пролива», развитие ситуации до возникновения пожара, взрыва невозможно только ввиду отсутствия источника зажигания. Для снижения вероятности контакта источника зажигания с ТВС в СОПБ СНИН предусмотрены «Мероприятия направленные на исключение возможности контакта источника зажигания с ТВС» [3].

Таким образом, в случае наступления события «Разгерметизация» логика работы СОПБ, при условии отсутствия контакта источника зажигания с нефтепродуктом, сводится к тому, чтобы:

1. обнаружить разгерметизацию и ее последствия. Под последствиями разгерметизации подразумеваются события: «Образование ТВС», «Выход паров нефтепродукта», «Выход жидкой фазы нефтепродукта, образование пролива», «Поступление воздуха в оборудование»;
2. включить сигнализацию и остановить ТП;

3. не допустить контакта источника зажигания с проливом и ТВС нефтепродукта, до того момента пока:

- не будет ликвидирована разгерметизация;
- пролив нефтепродукта не деактивирует персонал (покрытие пеной, адсорбентами, смыв водой) или он самостоятельно не ликвидируется (полное испарение);
- в случае образования ТВС в окружающей среде, пока облако ТВС самостоятельно не рассеется (концентрация паров нефтепродукта в окружающей среде станет ниже НКПР);
- в случае образования ТВС в объеме оборудования, концентрация паров нефтепродукта в воздушном пространстве не уйдет из области воспламеняемости (ниже НКПР или выше ВКПР). Что соответствует событию «Ликвидация разгерметизации и ее последствий».

Описанная выше логика работы СОПБ соответствует следующим сценариям с момента наступления события «Разгерметизация» до события «Ликвидация аварии»:

- если разгерметизация сопровождается только истечением нефтепродукта с образованием пролива: 5–8–9, 10–12, 10–15–19;
- если разгерметизация сопровождается только выходом паров нефтепродукта: 5–7–9, 10–12, 10–15–19;
- если разгерметизация сопровождается выходом жидкой фазы и выходом паров нефтепродукта, то сценарий развития аварии будет аналогичен, как в двух приведенных выше сценариях, только события «Выход паров нефтепродукта» и «Выход жидкой фазы нефтепродукта, образование пролива» будут наступать совместно;
- если в результате разгерметизации ТВС образуется внутри объема оборудования: 5–6–9, 10–12, 10–15–19. Как правило, на практике при возникновении реальной аварии, сопровождаемой разгерметизацией оборудования, события 6,7,8 могут реализоваться совместно или в различных комбинациях: 6,8; 6,7.

Но, как показывает анализ статистики пожаров и взрывов на объектах СНИН [1], несмотря на все предусмотренные мероприятия по исключению источников зажигания в СОПБ, они все же возникают по ряду причин [1], что соответствует событию «Возникновение источника зажигания». Таким образом, если в результате разгерметизации возникли события «Выход жидкой фазы нефтепродукта, образование пролива», «Образование ТВС» и до

ликвидации этих событий происходит контакт источника зажигания с нефтепродуктом, то это непременно приводит к возникновению пожара, взрыва. Различие в условиях наступления пожара или взрыва заключается только лишь в том, если воспламенение, инициированное источником зажигания, произошло до смешения паров нефтепродукта с воздухом, процесс горения будет диффузионным (горение пролива) – событие «Пожар». В случае, когда воспламенение по тем или иным причинам не наступает, формируется паровоздушное облако ТВС – происходит смешение паров нефтепродукта с воздухом. Таким образом, при вносе источника зажигания, скорость экзотермической реакции окисления не лимитируется подводом горючего и окислителя в зону реакции (кинетическое горение), что при недостаточном отводе выделяемого тепла приводит к резкому возрастанию скорости реакции. Такой эффект будет называться химическим взрывом – событие «Взрыв». Таким образом, сценарий возникновения «Пожара» будет иметь следующий вид: 5–8–10–11–13. Взрыва:

- 5–8–9–10–11–14;
- 5–7–9–10–11–14;
- 5–6–9–10–11–14.

События «Пожар», «Взрыв» могут взаимоиницировать друг друга, что соответствует сценариям протекания аварии 11–14–13; 11–13–14.

Исходя из анализа блог-схемы событий, минимально необходимый набор исходных событий, одновременное возникновение которых достаточно для реализации события «Взрыв»:

- «Образование ТВС»;
- «Возникновение источника зажигания»; для события «Пожар»;
- «Выход жидкой фазы нефтепродукта, образование пролива»;
- «Возникновение источника зажигания».

При возникновении на объекте события «Пожар» оно может быть ликвидировано с помощью следующих мероприятий, предусмотренных в СОПБ СНИН:

- ликвидация стационарной автоматической установкой пожаротушения (далее АУПТ), что соответствует событию «Тушение АУПТ»;
- если на данной категории объекта не предусмотрено размещение АУПТ, ликвидация стационарной неавтоматической установкой пожаротушения, приводимой в действие от мобильных

средств, что соответствует событию «Тушение мобильными средствами». Под мобильными средствами понимается силы пожарной охраны на передвижной пожарной технике;

- если стационарная установка пожаротушения оказалась выведенной из строя опасными факторами пожара (далее ОФП) или тушение ей неэффективно, ликвидация передвижными приборами подачи огнетушащего вещества (далее ОТВ) от мобильных средств, что соответствует событию «Тушение мобильными средствами».

Исходя из выше перечисленного, авария с момента наступления пожара, взрыва до ее ликвидации может развиваться по следующим сценариям, рассмотрим наиболее протяженные и характерные для СНИН:

1. если произошел взрыв без инициирования пожара, АУПТ не сработала на опасные факторы взрыва: 11–14–19;
2. если произошел взрыв с инициированием пожара; объект оборудован АУПТ и пожар не был ей ликвидирован, тушение осуществлялось с помощью мобильных средств: 11–14–13–17–16–18–19;
3. если произошел пожар с инициированием взрыва; объект оборудован АУПТ и пожар не был ей ликвидирован, тушение осуществлялось с помощью мобильных средств: 11–13–14, 17–16–18–19;
4. если произошел пожар без инициирования взрыва; объект оборудован АУПТ, которой был ликвидирован пожар: 11–13–17–18–19;
5. если произошел пожар без инициирования взрыва; объект не оборудован АУПТ или АУПТ не сработала; тушение осуществлялось от мобильных средств: 11–13–17–18–19.

Таким образом, логика работы СОПБ и протекание аварии, сопровождаемой возникновением пожара и взрыва, на СНИН имеет следующую последовательность:

1. герметизация технологического процесса – предотвращение возможности образования ТВС и пролива нефтепродукта;
2. если произошла разгерметизация, то обнаружить ее и ее последствия;
3. не допустить контакта источника зажигания с нефтепродуктом, до того момента пока не будет ликвидирована разгерметизация и ее последствия;

4. остановить технологический процесс, чтобы не допустить увеличение масштабов аварии, оповестить об аварии персонал объекта и предпринять меры по локализации и ликвидации разгерметизации и ее последствий;
5. если произошел контакт источника зажигания с нефтепродуктом, ликвидировать пожар с помощью АУПТ;
6. если на объекте не предусмотрена АУПТ, осуществить тушение стационарными приборами подачи ОТВ от мобильных средств подразделениями объектовой пожарной охраны;
7. если ликвидация пожара стационарными установками пожаротушения оказалось неэффективной или невозможной, осуществить тушение с помощью передвижных приборов подачи ОТВ от мобильных средств силами подразделений объектовой пожарной охраны;
8. если сил и средств подразделений объектовой пожарной охраны недостаточно для локализации пожара, привлечь территориальные подразделения пожарной охраны.

В ходе проведения анализа, было установлено, что в СОПБ складов нефти и нефтепродуктов имеются 5 барьеров безопасности:

- I – мероприятия по герметизации ТП;
- II – мероприятия, направленные на исключение возможности контакта источника с ТВС;
- III – мероприятия, направленные на обнаружение последствий разгерметизации, остановку ТП и включение сигнализации, ликвидации разгерметизации и ее последствий;
- IV – ликвидация пожара с помощью АУПТ;
- V – ликвидация пожара с помощью мобильных средств.

В контексте данного исследования не рассматривался комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, так как данный комплекс подразумевает под собой функционально-организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности: организация объектовой пожарной охраны, обучение рабочих, служащих и администрации, составление инструкций в области пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации и т.д. Также в контексте данного исследования не рассматривалось в качестве барьера безопасности обвалование резервуарной группы.

Направлением для дальнейшего исследования в данной области будет анализ качества работы барьеров безопасности и синтез направления для принятия мер по эффективному повышению качества СОПБ СНИН.

Литература

1. Дупляков Г.С. Анализ и обобщение статистических данных по опасным техногенным явлениям на объектах нефтяной промышленности РФ / Дупляков Г.С., Горбунов А.С., Елфимова М.В. и др. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2019, №3.-С.7-12.
2. СП 155.13130.2014 Свод правил склады нефти и нефтепродуктов требования пожарной безопасности (утвержденные приказом МЧС России от 26.12.2013 № 837).
3. Дупляков Г.С. Пожарная безопасность складов нефти и нефтепродуктов / Дупляков Г.С., Горбунов А.С., Елфимова и др. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2019, №4.
4. Дупляков Г.С. Проблемы обеспечения пожарной безопасности складов нефти и нефтепродуктов / Дупляков Г.С., Елфимова М.В. // Научный электронный журнал «Техносферная безопасность», 2019, №3(24).-С.50-62.