

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РИСКА И РАЗРАБОТКИ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**Охроменко А.С., Серебренников Д.С.**  
**Научный руководитель – д-р. техн. наук Амельчугов С.П.**

*Сибирский федеральный университет*

Объекты добычи, переработки и хранения нефтепродуктов обладают высокой пожарной опасностью. Это обуславливается наличием больших количеств пожароопасных веществ, обращающихся в технологических процессах - на территории парков сосредотачивается от 10 до 500 тыс. тонн углеводородного топлива, так же различных источников зажигания (атмосферное электричество, искры от электрооборудования, открытый огонь, курение). Все обращающиеся в технологических процессах нефтепродукты классифицируются как горючие и легковоспламеняющиеся жидкости, многие из которых относятся к особоопасным.

Наиболее опасными пожарами остаются пожары, происходящие в резервуарах, которые входят в технологические схемы предприятий связанных с добычей, транспортировкой, переработкой и хранением углеводородных продуктов, в первую очередь это связано с принципом «домино».

Пожары на объектах нефтегазового комплекса характеризуются причинением значительного экологического ущерба связанного с попаданием в окружающую среду большого количества токсичных продуктов горения, огнетушащих средств, мощным тепловым излучением. При горении нефть и нефтепродукты образуют углекислый газ окись углерода, сернистый газ, азот, полиароматические углеводороды, альдегиды, сажу и другие соединения. Их содержание в продуктах горения тем выше, чем выше плотность нефтепродукта.

Взрывы в резервуарах являются типичным началом возникновения пожара в резервуаре. Любой пожар возникает от появления источника зажигания в подготовленной паровоздушной смеси внутри или снаружи резервуара. В этом случае происходит взрыв горючей смеси, что может приводить к полному или частичному разрушению резервуаров, запорной арматуры, и другого технологического оборудования.

Для того, чтобы резервуар полностью не разрушался при взрыве, во внутреннем пространстве резервуара, предусмотрен «слабый» шов, соединяющий стенки резервуара и его крышу, который должен разрушаться первым и давать выход продуктам горения для сброса избыточного давления, возникающего при взрыве. Случаи полного сброса крыши не редки при возникновении пожаров в резервуарах, при этом ее обычно отбрасывает на 30 – 50 м от резервуара, стенки резервуара остаются в нормальном положении, свободный доступ к поверхности горения не создает помех для тушения резервуара. Однако зачастую такая защита не срабатывает в полной мере, что может приводить к осложнению обстановки на пожаре. Не редки случаи, когда крышу не разрушает полностью, а отрывает с части периметра резервуара с последующим обрушением крыши внутрь горящего резервуара. Это приводит к образованию «карманов» (происходит в 60% случаев пожаров), что в значительной степени затрудняет ликвидацию пожара в резервуаре.

Характерным аспектом является возможность разрушения резервуара. Статистические данные о более чем 50 случаях полного разрушения резервуаров при

хранении различных видов нефтепродуктов свидетельствуют о том, что это, возможно, наиболее катастрофический вариант развития пожара. При полной разгерметизации резервуара может происходить следующее: розлив продукта в пределах обвалования, возникновение гидродинамической волны с последующим разрушением соседних резервуаров или розлив продуктов на большой площади, образование загазованности на большой площади, возможно с выходом взрывоопасной зоны за пределы резервуарного парка, выход гидродинамической волны за пределы резервуарного парка.

На сегодняшний день, как в России, так и за рубежом существует достаточное количество методик, руководств и стандартов по оценке пожарного риска. В гораздо меньшем количестве присутствуют руководства и методики по разработке противопожарных мероприятий на объектах повышенной опасности, к которым относятся объекты нефтегазовой отрасли.

Так, американское пособие «Tank Farm and Bulk Storage Fire Incidents (Module 7)» позволяет разработать планы по борьбе с пожарами на нефтебазах, рассчитать количество необходимых веществ для защиты объекта от повторной взрыва или повторного возгорания.

Национальной ассоциацией по противопожарной защите (NFPA, США) был разработан целый ряд руководств, регламентирующих любой аспект противопожарной деятельности как для общественных зданий и сооружений (NFPA 551 - Guide For the Evaluation of Fire Risk Assessments; NFPA 101 - Life Safety Code), так и для производственных (NFPA 69 - Standard on Explosion Prevention System; NFPA 395 - Farm Tanks).

Также стоит упомянуть зарубежные руководства, посвященные количественной оценке риска и основанные на принципах «гибкого» нормирования: CPR 18E. Guidelines for quantitative risk assessment (Руководство по количественной оценке риска), CPR 12E. Methods for determining and processing probabilities (Методы определения и обработки вероятностных величин) и CPB 14E. Methods for the calculation of physical effects (Методы расчета физических эффектов).

В России на сегодняшний день существует несколько руководств и методик по качественной и количественной оценке риска, а также по методам профилактики и борьбы с пожарами на производственных объектах. В первую очередь, это Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденная МЧС России. В данной методике достаточно подробно представлены методы оценки опасных факторов, процедура построения логического дерева событий и аналитические соотношения, позволяющие рассчитать параметры волны давления и интенсивность теплового излучения.

Следует отметить тот факт, что зарубежные руководства опираются на методологию «гибкого» нормирования, которая предусматривает использование новейших методов вычислительного моделирования. В современных условиях разработка экономически оптимальных и эффективных противопожарных мероприятий немислима без научно обоснованного прогноза динамики опасных факторов пожара и взрыва, особенно для промышленных комплексов. Уже давно разрабатывают и совершенствуют программы (σFire, FDS, Flunet, CFX, Smartfire, KAMELEON FireEx), позволяющие достаточно точно задать исходные данные и корректно рассчитать физические явления с учетом внешних условий (погода, температура, скорость ветра). Такие сложные явления как пожар и взрыв невозможно правильно рассчитать, основываясь на методы оценки опасных факторов, которые не учитывают многие внешние факторы, и аналитические соотношения.

На данный момент Россия только подходит к методологии «гибкого» нормирования. Стало больше внимания уделяться методам математического моделирования, основанным на решении полевых уравнений (уравнений Навье-Стокса). Происходит интенсивное внедрение полевого метода для моделирования пожаров и взрывов в области инженерных расчетов. В ближайшем будущем именно полевые методы станут основным инструментом расчетов пожаров и взрывов, это связано как с ростом вычислительных мощностей, так и развитием математических моделей описывающих процессы, происходящие при пожаре и взрыве, и алгоритмов их решения. Использование такого мощного инструмента как математическое моделирование позволит адекватно проводить оценку риска для промышленных объектов и разработать соответствующие тактические приемы по ликвидации чрезвычайной ситуации.

С помощью программного продукта FLACS. Нами проведено расчетное исследование параметров волны давления при взрыве резервуара с нефтяными продуктами. Для решения такой задачи было использовано специальное программное обеспечение для расчета избыточного давления и динамики взрыва, разработанное норвежским институтом CMR. Данное программное обеспечение широко используется для оценки риска и разработки превентивных мер по обеспечению пожарной безопасности предприятий нефтегазовой отрасли за рубежом.

Анализ поведения взрывной волны начинается с рассмотрения основных законов гидродинамики и теплопереноса. Это законы сохранения массы, момента и энергии. Далее идут уравнения и предположения, описывающие процессы характерные для взрыва, такие как: импульс давления, химическое реагирование, скорость распространения волны и прочие.

В качестве объекта исследования был выбран резервуар PBC-20000. Модель строилась с учетом соседних резервуаров и обвалования (рис. 1).

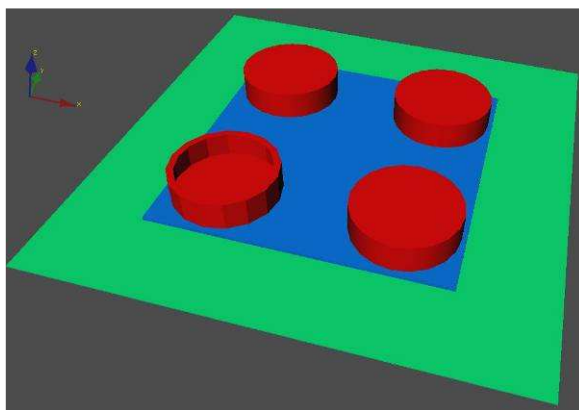


Рисунок 1 – Геометрия объекта.

Рассматривался сценарий взрыва резервуара с перегретой нефтью. В результате избыточного давления и высокой температуры внутри резервуара происходит отрыв крышки с освобождением смеси углеводородов. После разрушения крышки резервуара происходит образование газоздушного облака, которое при наличии источника зажигания инициирует волну давления.

Независимо от вычислительного моделирования процесса взрыва был произведен расчет по аналитическим соотношениям из Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Рассматривалась абсолютно аналогичная ситуация с идентичными исходными данными.

Результаты расчетов были сведены в таблицу и сравнивались по величине избыточного давления с результатами расчета в программе.

	Расчет в программе	Расчет по Методике
<i>Величина избыточного давления:</i>	<i>Радиус распространения волны, м</i>	
<b>28</b> кПа (средние повреждения зданий)	<b>110</b>	<b>103,2</b>
<b>12</b> кПа (умеренные повреждения зданий, повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т.п.)	<b>177</b>	<b>183</b>
<b>5</b> кПа (нижний порог повреждения человека волной давления)	<b>300</b>	<b>367</b>
<b>3</b> кПа (малые повреждения, разбита часть остекления)	<b>412</b>	<b>572</b>

На основании проведенных расчетов можно выдвинуть предположение о том, что на ближних расстояниях динамика волны, посчитанная по аналитическим соотношениям, сопоставима с динамикой, посчитанной в программе. На дальних расстояниях появляются существенные отличия, это достаточно важный аспект для оценки риска. Вероятнее всего, аналитические соотношения не учитывают некоторые нестационарные явления (например, затухание волны давления) и влияние внешних условий (например, наличие преград, конструкций, ветер).

На основании анализа и результатов проведенного расчетного исследования можно сделать следующий вывод:

программный продукт FLACS позволяет на ранней стадии проектирования объектов нефтегазового комплекса предусмотреть снижение затрат на строительство зданий, сооружений и конструкций, не попадающих в зону поражения волной давления, а так же определить уязвимые участки.