

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

**Аннотация.** Обоснована необходимость разработки автоматизированных комплексов прогнозирования пожаровзрывоопасности производственных объектов на основе современных компьютерных технологий.

**Ключевые слова:** прогнозирование, технология, производственный, объект.

V.P. Nazarov, Y.V. Korotovskikh

## COMPUTER TECHNOLOGY PREDICTION FIRE AND EXPLOSION HAZARD OF PRODUCTION OBJECTS

**Abstract.** The necessity of developing automated systems fire and explosion hazard forecasting of production objects based on modern computer technology.

**Key words:** forecasting, technology, production, object.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 22 августа 2010 г.

В настоящее время в мире ежегодно происходит около 7,0 млн пожаров, а риск гибели людей на пожарах превышает  $10^{-5}$  [1]. На предприятиях нефтегазового комплекса (НГК) риск гибели людей на пожарах колеблется в пределах  $10^{-3}$ - $10^{-5}$ , а при ликвидации аварий и предремонтной подготовке технологического оборудования риск ещё выше, что существенно превышает требования Федерального закона ФЗ-123 "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" и действующих стандартов в области промышленной и пожарной безопасности.

Необходимость решения проблем пожаровзрывобезопасности (ПВБ) на объектах НГК приобрела значительную актуальность после многочисленных аварий и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на нефтепроводах, нефтепродуктопроводах и газопроводах. Особенно потрясла общественность ЧС в 1989 г. на железнодорожном перегоне между станциями Улу-Теляк и Аша (Башкирия), в результате которой погибли 1234 человека.

В настоящее время в стране находится в эксплуатации около 200 тыс. км магистральных и 1,0 млн км технологических трубопроводов. Основное развитие системы магистральных нефтепроводов (нефтепродуктопроводов) происходило в 60-70-е годы. В 2000 г. доля нефтепроводов со сроком эксплуатации более 20 лет составила 73 %, а более 30 лет – 41 %, что свидетельствует о повышенной опасности возникновения аварий, ЧС и пожаров. Около 30 % аварий и ЧС в России связаны с воспламенением разливов (утечек) транспортируемого сырья.

Основными причинами аварий, ЧС и пожаров явились: подземная коррозия металла (21 %), брак строительно-монтажных работ (21 %), дефект труб и оборудования (14 %), механические повреждения, в том числе от сторонних организаций (19 %). На магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах частота аварий и ЧС на 1 км трубопровода составляет около  $0,21-0,25 \cdot 10^{-3}$  в год [2].

Вызывает опасение, что существующая сеть трубопроводного транспорта и резервуаров, к настоящему времени выработавшая свой ресурс, без принятия мер превентивного характера может перерасти в катастрофу, осложненную взрывами и пожарами. Динамика пожаров на данных объектах характеризуется очень высокими скоростями их развития.

Вопросы прогнозирования и ликвидации последствий аварий, пожаров предполагают использование значительного объема первичной информации и наукоемких технологий их обработки, анализа и выработки управленческих решений. Вместе с тем накопленный опыт ликвидации аварий и ЧС на нефтепроводах показал, что снижение и ликвидация их отрицательных социально-экономических последствий могут быть более успешными при правильном планировании и умелой реализации комплекса мероприятий по предотвращению, локализации и ликвидации аварий, ЧС и пожаров на основе разработки автоматизированных комплексов с использованием современных компьютерных технологий.

Согласно статистике, доля пожаров в промышленном секторе России при производстве регламентных, ремонтных и огневых работ составляет 13 % от общего количества пожаров. При этом на предприятиях НГК доля пожаров при ремонтных и огневых работах достигает 50 %, а на резервуарах – 70 %. К сожалению, на объектах НГК при ликвидации аварий и при предремонтной подготовке резервуаров и трубопроводов (газопроводов) преобладает ручной труд с высоким риском для обслуживающего персонала, что противоречит требованиям Федерального закона ФЗ-123 "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

Одной из основных проблем создания автоматизированных комплексов является отсутствие алгоритмов выполнения вышеуказанных технологических операций и программного обеспечения для прогнозирования вероятностей появления опасных событий. Введение приказом МЧС № 404 методики [8] позволяет прогнозировать вероятности возникновения пожара и аварий, но данная методика не учитывает особенности предремонтной подготовки технологических процессов и ликвидации последствий аварий на производственных объектах. В работе [9] приведена классификация методов обеспечения пожарной безопасности, которые основаны на принципе разрыва связей мнемонического треугольника горения, тремя сторонами которого являются: окислитель, горючее и источник зажигания по следующим группам (методам):

- 1) снижению концентрации паров (газов) углеводородов;
- 2) предотвращению контакта источника зажигания с взрывоопасными паро-, газоздушными смесями;

3) флегматизации (ингибирование) газового пространства технологического оборудования.

При разработке алгоритмов прогноза опасности целесообразно учесть следующие особенности обеспечения пожаровзрывобезопасности.

Первая группа способов (метод) ПВБ при предремонтной подготовке объекта реализуется с помощью следующих технологических операций: принудительная вентиляция, пропаривание, гидравлическая мойка, сорбция паров и газов, компримирование паро-, газоздушных смесей, механическая чистка. В зависимости от экономической целесообразности и свойств горючей нагрузки (ГН) указанные способы могут применяться отдельно или в комбинации.

Обоснование принципов ПВБ целесообразно проводить с учетом оценки пожарной опасности и критических условий воспламенения и горения тонких слоев (пленок) углеводородосодержащей ГН.

Принцип ПВБ второго метода основан на исключении контакта источника зажигания и горючих веществ. Пожарная безопасность обеспечивается с помощью воздушно-механических пен (ВМП) и (или) твердеющих пен. Учитывая широкое распространение пен в практике пожаротушения и наличие на объектах значительного количества пенообразователя с истекшим сроком хранения, целесообразно более детально рассмотреть способы изоляции источника зажигания с помощью воздушно-механических пен. При использовании в качестве изолирующего покрытия быстроразрушающихся ВМП в процессе подачи происходит одновременная дегазация газового пространства. Если применяются твердеющие пены, пленкообразователи, микрошарики, при подаче которых практически отсутствует эффект снижения концентрации, то после покрытия ими поверхности испарения требуется вентиляция газового пространства.

Третий метод обеспечения ПВБ огневых работ основан на принципе снижения концентрации окислителя в газовом пространстве и не требует предварительной очистки технологического оборудования.

ГОСТ 12.1.044-89 требует определять коэффициент безопасности, исходя из ошибки расчета или эксперимента по определению показателя пожаровзрывоопасности. Использовать для оценки ПВБ коэффициент безопасности указанного ГОСТа неверно. Такой подход не учитывает неравномерность распределения концентрации в газовом пространстве резервуара и погрешность газового анализа в процессе контроля уровня безопасности. Для определения коэффициентов безопасности требуется проведение комплекса экспериментально-теоретических исследований.

В качестве критерия оценки готовности резервуара к огневым работам в работах В.П. Назарова предложено принять невоспламеняемую толщину слоя технологических остатков.

Понятие "предельно допустимая пожарная нагрузка" (ПДПН) технологических остатков можно использовать как показатель пожаробезопасной степени очистки перед огневыми работами. Количественно ПДПН представляет собой массу горючих остатков, находящихся на единице площади загрязненной поверхности.

Понятие "требуемое качество очистки" (ТКО) целесообразно рассматривать, исходя из одновременного выполнения условий снижения концентрации паров углеводородов в тоннеле и достижения в процессе очистки ПДПН. Значение безопасной концентрации следует принимать, исходя из особенностей проведения работ. При работах в противогазе в качестве безопасного значения концентрации можно принять предельно допустимую взрывобезопасную концентрацию, исходя из условий. В случае отсутствия надежных средств защиты органов дыхания за безопасную концентрацию следует принимать предельно допустимую концентрацию (ПДК) в соответствии с санитарными нормами.

Методика оценки ПБ регламентных и ремонтных огневых работ на производственных объектах включает аналитический расчет ПДПН, определение остаточной пожарной нагрузки (ОПН), контрольный анализ загазованности, сравнение результатов определения ОПН с ПДПН и газового анализа с ПДВК.

Система пожарной безопасности работ на объектах НГК в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004-91 должна состоять из следующих трех подсистем: предотвращения пожара, противопожарной защиты и организационно-технических мероприятий.

Предотвращение пожара достигается предотвращением образования горючей среды в газовом пространстве технологического оборудования и (или) предотвращением возникновения источника зажигания. Источниками зажигания при строительстве, эксплуатации, а также при ликвидации аварий и ремонте технологических объектов НГК могут быть:

- искры удара при монтаже и работе вентиляционного оборудования;
- самовозгорание пирофорных соединений;
- разряды статического электричества при пропарке, мойке и других операциях;
- тепловое проявление электрического тока при работе электронасосов, компрессоров, вентиляторов, используемых при очистке трубопроводов;
- искры, связанные с работой двигателей внутреннего сгорания;
- атмосферное электричество.

Для оценки уровня ПВБ необходимо знать значения вероятностей предотвращения возникновения источника зажигания ( $P_{из}$ ) и невоспламенения горючей смеси ( $P_{гс}$ ).

Вероятность предотвращения возникновения источника зажигания можно определить, исходя из значений нормативной вероятности предотвращения пожара  $P_б$  и  $P_{гс}$  по формуле:

$$P_{из} \geq 1 - \frac{1 - P_б}{1 - P_{гс}}. \quad (1)$$

Вероятность невоспламенения горючей смеси в период ликвидации аварий или предремонтной подготовки магистрального трубопровода определяется по формуле:

$$P_{гс} = 1 - \frac{K_б}{\tau_{об}} \sum_1^m \tau_1, \quad (2)$$

где  $\tau_1$  – продолжительность существования горючей смеси;  $\tau_{об}$  – общее время технологических операций по предремонтной подготовке;  $m$  – количество операций;  $K_6$  – коэффициент безопасности.

При проведении огневых работ вероятность источника зажигания допустимо принимать равной нулю.

Вероятность предотвращения пожара  $P_{пп}$  в данном случае можно определить по формуле:

$$P_{пп} \geq P_{гс} \left( 1 - \frac{n_o \cdot Q_H^B \cdot K_p}{N} \right), \quad (3)$$

где  $n_o$  – число рабочих, подвергшихся воздействию ОФП;  $Q_H^B$  – нормативная вероятность воздействия ОФП (в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.004-91 допустимо принимать равной  $10^{-6}$ );  $N$  – число рабочих в бригаде;  $K_p$  – количество обслуживаемых объектов в год одной бригадой.

Коэффициенты безопасности  $K_6$  могут быть определены, исходя из максимальных флуктуаций концентрации (снижение или увеличение концентраций в ходе проведения технологических операций), неравномерности распределения паров (газов) углеводородов (кислорода или флегматизатора) в газовом пространстве, погрешности газового анализа и точности определения показателя пожарной опасности.

Для определения коэффициентов безопасности необходимы экспериментальные исследования закономерностей распределения концентраций в газовом пространстве технологического аппарата. Погрешность определения показателя пожарной опасности может быть оценена в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89. Погрешность газового анализа определяется из паспортных данных газоанализаторов и точности их градуировки.

Алгоритм оценки уровня ПВБ включает в себя:

- расчет длительности взрывоопасного периода каждой стадии технологии ликвидации аварии или предремонтной подготовки;
- оценку суммарного времени технологии ликвидации аварии или предремонтной подготовки;
- определение вероятностей предотвращения и возникновения источника зажигания и невоспламенения горючей среды;
- оценку численности аварийной бригады и частоты проведения технологических операций;
- расчет вероятности предотвращения пожара.

Практическое использование указанного алгоритма требует разработки комплексного подхода с учетом требований интенсификации производства и экологической безопасности.

В решении вопросов обеспечения ПVB промышленных предприятий можно выделить следующие основные проблемы:

- обеспечение надежности технологического оборудования предприятий;
- предотвращение и ликвидация последствий аварий, сопровождающихся выходом и разливом углеводородного сырья и топлива в окружающую среду;
- переоснащение систем предотвращения и тушения пожаров современными сертифицированными средствами обеспечения ПVB;
- применение пожаровзрывобезопасных технологий проведения регламентных, ремонтных и огневых работ;
- организация разработки, проектирования и производства специализированной многофункциональной пожарной, пожарно-спасательной, пожарнотехнологической техники для промышленных объектов и разработка безопасных технологий её применения не только для тушения пожаров, но и для целей предотвращения пожаров и взрывов, а также безопасной и эффективной её эксплуатации при локализации и ликвидации последствий розливов, аварий и ЧС;
- разработка методик моделирования (прогнозирования) последствий аварий, пожаров и ЧС и алгоритмов принятия управленческих решений;
- разработка новых принципов построения и подготовки планов ликвидации последствий розливов жидкого сырья (топлива) и утечек газа с учетом специфики применения пожарно-спасательной и аварийно-спасательной техники при ликвидации ЧС, предотвращении и тушении пожаров;
- обучение и переподготовка персонала предприятий ТЭК.

Разработка автоматизированных комплексов прогнозирования пожаровзрывоопасности производственных объектов на основе современных компьютерных технологий должна производиться с учетом перечисленных выше проблем.

#### Литература

1. **Федеральный закон** от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ "О пожарной безопасности".
2. **Федеральный закон** от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ "О техническом регулировании".
3. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
4. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. № 272 "О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска".
5. **ГОСТ 12.1.004–91\*** ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
6. **ГОСТ Р 12.3.047-98** ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
7. **Катастрофы** и человек: Книга 1. Российский опыт противодействия чрезвычайным ситуациям / Воробьев Ю.Л., Локтионов Н.И., Фалеев М.И. и др. М.: АСТ-ЛТД, 1997. 256 с.
8. **Методика** определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. М.: МЧС России, 2009. 37 с.
9. **Назаров В.П.** Проблемы и методы обеспечения пожаровзрывобезопасности предприятий нефтегазового комплекса. Вестник Академии Государственной противопожарной службы, № 4. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. 209 с.