ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ТОКСИ$^{+Risk}$ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА

ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», г.Москва

Агапов А.А.
Исполняющий обязанности директора по информационным технологиям, кандидат технических наук

Лазукина И.О.
Инженер

Марухленко А.Л.
Инженер-программист

Марухленко С.Л.
Инженер-программист

Софьин А.С.
Инженер

В издательстве ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» выпущен 4-томный сборник документов «Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска» [1-4], включающий 25 действующих нормативных правовых актов и методических документов в помощь проектным и эксплуатирующим организациям-декларантам при подготовке декларации пожарной безопасности.

В качестве одного из инструментов практической реализации требований нормативных документов в сборник включены авторское пособие по расчету пожарного риска на объектах производственного назначения с помощью программного комплекса ТОКСИ+^{Risk} (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009615864), а также примеры расчета пожарного риска при авариях на наружных установках типовых опасных производственных объектов (ОПО). Настоящая статья посвящена вопросам применения комплекса ТОКСИ+^{Risk} для оценки пожарного риска.

Однако прежде чем переходить к рассмотрению возможностей, программы остановимся на анализе требований нормативных и методических документов, связанных с оценкой пожарного риска. Для оценки пожарного риска Постановлением Правительства Российской Федерации от 31.03.09 №272 установлены правила проведения расчетов по оценке пожарного риска при разработке декларации пожарной безопасности в случаях, установленных Федеральным законом от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [5]. Расчет пожарного риска осуществляется по методикам [6-7], утвержденным МЧС России, на основании:

– анализа пожарной опасности объектов защиты;

– определения частоты реализации пожарной ситуации;
– построения полей опасных факторов (ОФ) пожара для различных сценариев его развития;
– оценки последствий воздействия ОФ пожара на людей для различных сценариев его развития;
– наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений, строений.

Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [6] (далее – методика) устанавливает порядок их расчета при авариях с выбросом взрывопожароопасных веществ как для наружных установок, так и для производственных зданий. Отметим, что упомянутая методика не распространяется на производственные объекты специального, в том числе военного назначения, объекты производства, переработки, хранения взрывчатых веществ и материалов, линейные части магистральных трубопроводов и др.

Методика включает методы оценки опасных факторов пожара, в том числе по стадиям расчета: истечение жидкости и газа; количественная оценка массы горючих веществ, поступающих в окружающее пространство в результате возникновения пожароопасных ситуаций; определение максимальных размеров взрывопожароопасных зон; параметров волны давления при сгорании газо-, паро- или пылевоздушного облака; параметров волны давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью или сжиженным газом при воздействии на него очага пожара; интенсивности теплового излучения от пожара пролива, огненного шара и в случае пожара-вспышки, а также факела при струйном горении.

В качестве недостатка методики следует отметить, что при рассмотрении стадий аварии с выбросом опасных веществ (ОВ) полностью исключены стадии расчета рассеяния облака топливно-воздушной смеси и его перемещения в потоке воздуха от источника выброса. Одно из следствий этого – невозможность оценки массы взрывоопасного вещества в пределах взрывоопасной зоны. Предложенная рекомендация принимать в качестве этой массы 10% от общей массы горючего вещества, содержащегося в облаке, –представляется очень грубым приближением. Другим следствием является исключение из рассмотрения стадии расчета, связанной с токсическим поражением персонала при авариях с выбросом ОВ, для наружных установок в процессе или в связи с возникновением взрыва или пожара.

В методике приведены детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей, а также сведения по частотам реализации инициирующих пожароопасных ситуаций событий для некоторых типов оборудования объектов и условные вероятности исходов, необходимые для оценки риска. Наконец, завершая обзор методики [6], отметим, что согласно ей

при оценке риска не подлежат рассмотрению ситуации, в результате которых не возникает опасность для жизни и здоровья людей. В этом состоит еще одно отличие расчетов для оценки пожарного риска от расчетов, выполняемых при декларировании промышленной безопасности ОПО, где, кроме ущерба здоровью людей, также учитывается ущерб от потери или повреждения материальных ценностей.

Оценка пожарного риска, а в общем случае, оценка риска гибели людей, как на территории опасного объекта, так и в селитебной зоне вблизи объекта предполагает определение значений поля потенциального риска в *i*-й области территории объекта

$$P(i) = \sum_{j=1}^{N} Q_{IIj}(i) \cdot Q_j \,, \qquad (1)$$

где N – число возможных сценариев возникновения аварийной ситуации;

$Q_{IIj}(i)$ – условная вероятность поражения человека в *i*-й точке в результате реализации *j*-го сценария;

Q_j – частота реализации *j*-го сценария в течение года, год$^{-1}$.

Величина индивидуального риска R_m (год$^{-1}$) для *m*-го работника при его нахождении на территории объекта определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^{I} q_{im} \cdot P(i) \,,$$

где I – количество областей территории объекта;

q_{im} – вероятность присутствия *m*-го работника в *i*-й области территории объекта.

Построение поля потенциального риска без использования специального программного обеспечения – задача крайне трудоемкая, а в ряде случаев невыполнимая вовсе.

Возможности программного комплекса ТОКСИ+^{Risk}

Программный комплекс ТОКСИ$^{+\text{Risk}}$ разработан в соответствии с требованиями и положениями действующих руководящих и методических документов и предназначен для использования при:

- разработке деклараций промышленной и пожарной безопасности;
- проектировании производственных объектов, на которых получаются, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются ОВ;
- разработке планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций;
- разработке инженерно-технических мероприятий гражданской обороны;
- разработке паспортов безопасности;
- разработке мероприятий по защите персонала и населения от возможных аварий;

– оценке воздействия аварийных выбросов ОВ на окружающую среду;
– количественном анализе опасностей и оценке риска аварий на ОПО;
– обосновании условий страхования и проведении иных процедур, связанных с оценкой последствий выбросов ОВ на ОПО.

Программный комплекс ТОКСИ+^{Risk} включает визуальную оболочку, осуществляющую общий графический интерфейс, единую для всех подключенных к комплексу модулей базу данных со свойствами ОВ, базу данных параметров проекта, а также программные модули, реализующие сами методики как для проведения отдельных расчетов, так и для комплексного решения задачи оценки риска.

Другое назначение оболочки – ее использование в качестве общего контейнера для накопления результатов расчетов, полученных по различным методикам, а также для визуализации на ситуационном плане результатов (фактически – зон возможного поражения и полей потенциального риска гибели людей).

В общем случае решение задачи оценки риска с использованием комплекса ТОКСИ$^{+Risk}$ включает следующие основные стадии:
– настройка ситуационного плана;
– задание исходных данных для проведения риск-анализа, включая метеостатистику;
– определение совокупности сценариев для расчета («дерево событий»);
– расчет и нанесение на ситуационный план зон действия ОФ аварии;
– оценка числа пострадавших;
– построение поля потенциального риска на сиуационном плане и расчет коллективного, индивидуального и социального рисков гибели людей.

Аварийная ситуация задается совокупностью объектов на графической подложке (в качестве подложки для ситуационного плана может быть использован графический файл в растровом формате *.bmp либо в векторном формате *.dwg). Условно вся совокупность объектов, наносимых на ситуационный план, подразделяется на статические и динамические. Статическое подмножество представляет собой набор площадных объектов (слоев), характеризующих размещение людей на плане (открытые площадки и производственные помещения), множество единиц аварийного оборудования и трубопроводов. Динамическое подмножество составляют рассчитанные зоны действия опасных факторов.

Для нанесения границ зон возможного нахождения людей на территории производственного объекта и в селитебной зоне (цеха, производственные участки, административные здания, жилые постройки, парки, дороги и т.д.) в программе предусмотрен специальный режим задания площадных объектов. Ситуационный план с площадными объектами показан на рис.1.

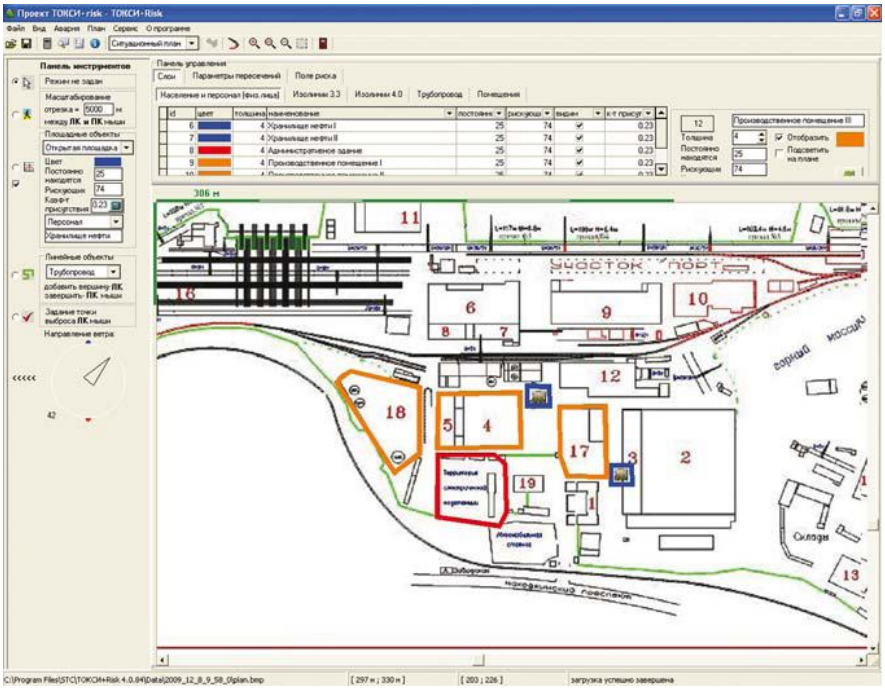

Рис. 1. Ситуационный план с площадными объектами

Важно отметить, что каждый площадной объект (среди прочего) характеризуется такими показателями, как количество людей, постоянно находящихся в его границах, коэффициент времени присутствия, число рискующих. Эти показатели определяют вероятность нахождения человека в пределах площадного объекта и используются при расчете коллективного и индивидуального рисков. Принимается допущение о равномерном характере распределения людей по площадному объекту. Таким образом, для любого m-го сотрудника вероятность присутствия его в i-й области территории объекта составляет

$$q_{im} = \frac{N_{пост,i}}{N_{риск,i}} \cdot k_{прис,i},$$

где $N_{пост\,i}$ – число постоянно и одновременно находящихся на объекте людей (например, число человек в одной смене);

$N_{риск\,i}$ – число рискующих (общее число людей, которые могут находиться когда либо на объекте; например, суммарное их число во всех сменах);

$k_{прис\,i}$ – коэффициент присутствия (средний относительный показатель времени нахождения человека на объекте).

Для задания характеристики возможных источников выброса ОВ (емкостное оборудование, технологические трубопроводы), а также «дерева событий» используется специальный модуль программы — «Инструмент для работы с проектом» (рис.2).

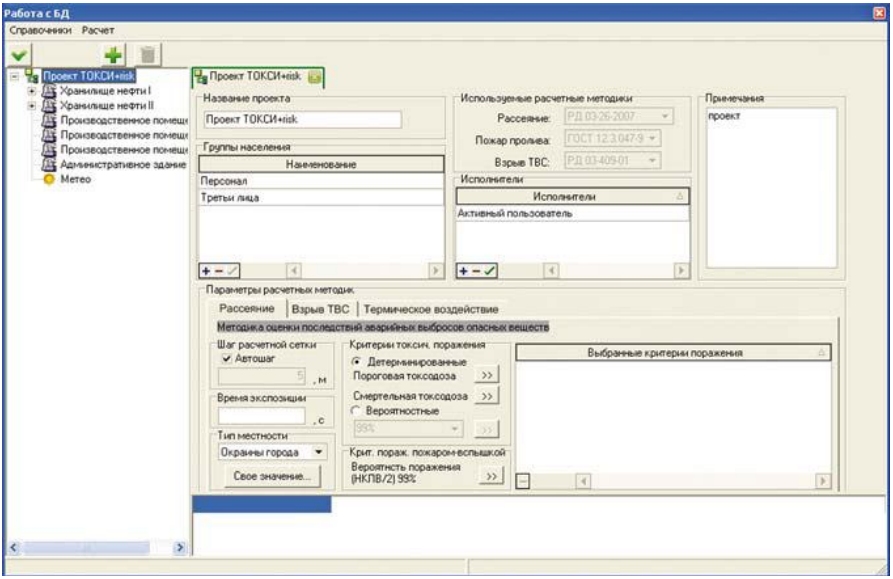

Рис. 2. Главное окно модуля «Инструмент для работы с проектом»

В этом модуле задаются критерии поражения людей для каждого из ОФ возможной аварийной ситуации. Критерии поражения могут быть как детерминированными, так и вероятностными (используются соответствующие пробит-функции). Для расчетов ударно-волнового воздействия при взрыве топливно-воздушной смеси и термического воздействия при сгорании легковоспламеняющихся жидкостей и горючих газов используются методика [8] и методики из [9], вошедшие составными частями в методику [6]. Для оценки последствий рассеяния ОВ в атмосфере и определения зон поражения от пожара вспышки, расчета последствий токсического воздействия ОВ на персонал и население в комплексе ТОКСИ+^{Risk} применяется математическая модель, приведенная в [10].

Отметим, что совместное использование в программном комплексе ТОКСИ+^{Risk} перечисленных методик позволяет автоматизировать расчет массы ОВ во взрывоопасных пределах путем моделирования рассеяния ОВ и получить исходные данные для анализа поражения от взрыва топливно-воздушной смеси (ТВС).

При моделировании рассеяния ОВ в атмосфере существенное значение имеет учет метеорологической обстановки на момент аварии. В комплексе ТОКСИ+^{Risk} предусмотрены возможность работы с базой данных метеостатистики местности, а также задания метеоданных в ручном режиме. Интерфейс для задания метеостатистики показан на рис.3.

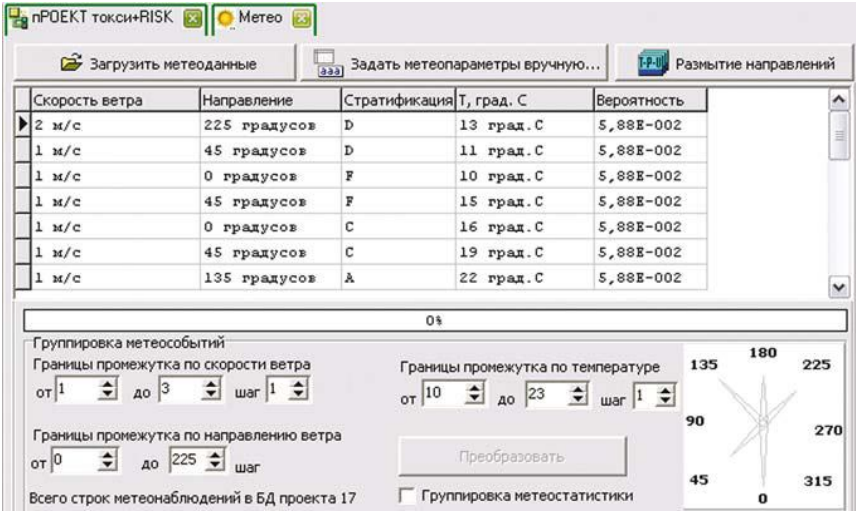

Рис. 3. Интерфейс для задания метеостатистики

При оценке показателей риска необходимо указать для каждой единицы оборудования возможные инициирующие события и их исходы с соответствующими вероятностями или, другими словами, сформировать «дерево событий» аварийной ситуации. В программе предусмотрена возможность задания для каждой единицы оборудования множества возможных его состояний, характеризующихся ОВ, его количеством и условиями хранения в емкости. Каждому такому состоянию оборудования могут соответствовать несколько вариантов развития аварии в зависимости от инициирующего события: полного разрушения или разгерметизации емкости (в последнем случае пользователю необходимо определить множество аварийных отверстий истечения ОВ и вероятности их возникновения).

Вследствие разнообразия статистических данных, используемых для определения вероятностей возникновения событий, приводящих к аварийным ситуациям, и их исходов, а также различия подходов к описанию развития аварийной ситуации, в программном комплексе реализован способ задания событий, исходов и их вероятностей с помощью ветвей эквивалентного «дерева событий» (рис.4).

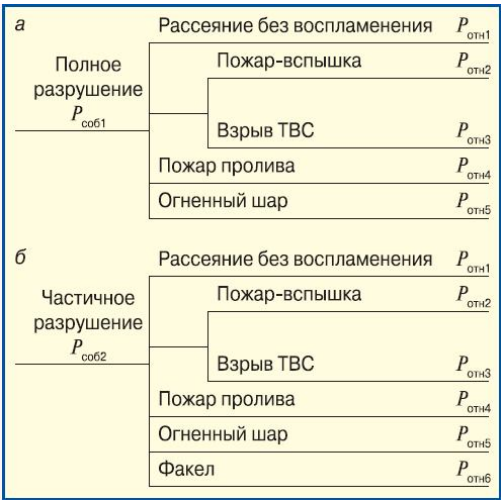

Рис. 4. Ветви эквивалентного «дерева событий»:
а – ветвь «Полное разрушение»;
б – ветвь «Частичное разрушение»

Инициирующее событие характеризуется значением частоты, год$^{-1}$, а возможность возникновения соответствующих исходов определяется с помощью условных вероятностей (их сумма должна быть меньше либо равна 1).

Таким образом, частота реализации j-го сценария Qj в течение года будет определяться:-

$$Q_j = P_{соб\ n}\, P_{отн\ l}\, P_{метео\ k}\,, \qquad (2)$$

где $P_{соб\ n}$, $P_{метео\ k}$ – частота возникновения соответственно *n*-го инициирующего события и *k*-го погодного условия, год$^{-1}$;

$P_{отн\ l}$ – частота реализации *l*-го исхода, относительно вызвавшего его события.

В качестве возможных исходов рассматриваются следующие:

- рассеяние без воспламенения (токсическое поражение);
- пожар-вспышка;
- взрыв ТВС;
- пожар пролива;
- факельное горение;
- огненный шар.

На рис.5 показана ветвь «дерева событий» при реализации сценария полного разрушения отдельно стоящей емкости с нефтью. Вероятности событий и исходов определены с помощью приложений 1 и 2 методики [6]. Используя несложные математические преобразования, вычис-

ляли значения относительных вероятностей эквивалентного «дерева событий», применяемого при расчетах в ТОКСИ+^{Risk} (рис.6), например:

– вероятность возникновения пожара пролива

$$P_{отн,\ 4} = P_{1,1}P_{2,1} + P_{1,2}P_{2,2} = 0{,}1; \quad (3)$$

– вероятность возникновения пожара-вспышки и последующего взрыва ТВС

$$P_{отн,\ 3} = P_{1,2}\,P_{2,3}P_{3,2} = 0{,}14. \quad (4)$$

Из соотношения (3) видно, что для исходного «дерева событий» (см. рис.5), будет проведена консервативная оценка зон поражения человека тепловым излучением.

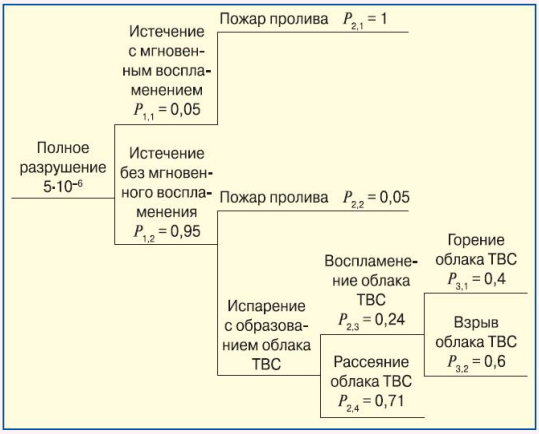

Рис. 5. Ветвь «дерева событий» при полном разрушении оборудования

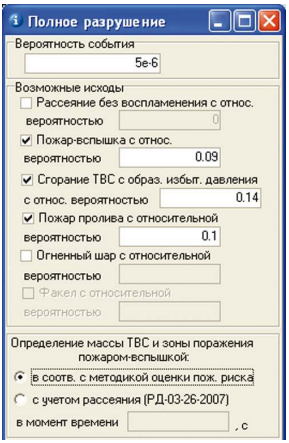

Рис. 6. Задание параметров «дерева событий» в ТОКСИ+^{Risk}

ТОКСИ+^{Risk} позволяет автоматически вычислять взрывоопасную массу для оценки ударно-волнового воздействия, используя следующие подходы:

– в соответствии с приложением 3 методики [6], как 10% от массы горючего вещества, находящегося в облаке;
– согласно [10] путем интегрирования концентрации по пространству, ограниченному поверхностями равных концентраций 0,5НКПВ и ВКПВ в заданный момент времени. Момент времени интегрирования можно определить как время присутствия в атмосфере наибольшей взрывоопасной массы горючего вещества с помощью средств, реализованных в модуле оценки последствий рассеяния ОВ.

Для формирования по каждой ветви «дерева событий», с учетом актуальной метеостатистики, списка заданий для расчета соответствую-

щим блоком методики, разработан блок генерации сценариев, обеспечивающий построение множества комбинаций расчетов, необходимых для решения задачи оценки риска. Отметим, что в зависимости от конкретного проекта список заданий может включать в себя сотни, а иногда и тысячи сценариев. Результатом расчетов поражающих факторов аварий для заданного множества сценариев является семейство зон поражения, ограничивающих области ситуационного плана и характеризующихся показателем, соответствующим вероятности реализации того или иного поражающего фактора и вносящим вклад в общий потенциальный риск (фактически – это слагаемое в формуле (1) для определенной точки ситуационного плана).

Суперпозиция областей, ограниченных этими зонами поражения, позволяет сформировать поле потенциального риска (рис.7) для рассматриваемого производственного объекта.

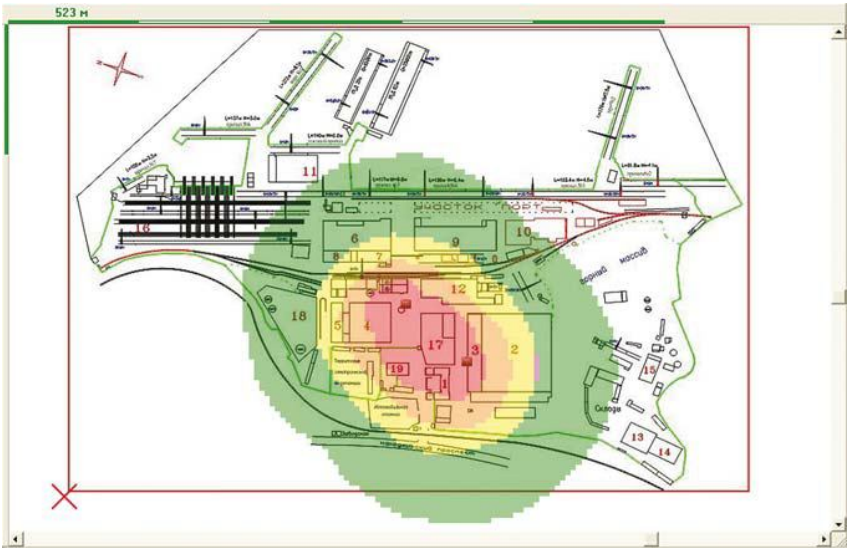

Рис. 7. Поле потенциального риска для рассматриваемого производственного объекта

При нахождении точек пересечения зон действия поражающих факторов аварии с ранее заданными площадными объектами, можно рассчитать возможное число пострадавших для каждого площадного объекта и социальный риск. Математическое «наложение» площадных объектов на поле потенциального риска позволяет рассчитать коллективный и индивидуальный риск возможной гибели людей для рассматриваемого производственного объекта.

В случае автоматизации расчетов показателей пожарного риска в зданиях объекта в комплексе ТОКСИ+^{Risk} также реализованы специальный калькулятор для определения времени блокировки путей эвакуации людей из производственных помещений и генератор протоколов расчетов в формате Microsoft Word.

Выводы

Отечественный программный продукт ТОКСИ+^{Risk} разработан в соответствии с утвержденной нормативной базой и позволяет решить следующие основные задачи:

- задание параметров аварийной ситуации, включающих индивидуальные характеристики региона, размещение и условия нахождения людей, промышленных площадок и производственных помещений, а также множество единиц оборудования с заданными инициирующими событиями;
- определение множества зон по детерминированным и вероятностным критериям поражения;
- расчет пересечений множества зон поражения и слоев, характеризующих размещение людей на ситуационном плане, для определения тяжести последствий аварии на ОПО;
- построение поля потенциального риска по множеству зон поражения, полученных в соответствии с заданными «деревьями событий» для каждого аварийного оборудования, а также метеостатистическими данными;
- оценка показателей риска, включающая определение вероятного числа пострадавших, коллективного и индивидуального рисков как для каждого слоя, так и для аварийной ситуации в целом, расчет социального риска и его графическое представление в виде F-N диаграммы.

По нашим данным на момент подготовки настоящей статьи программный комплекс ТОКСИ+^{Risk} – единственный программный продукт для расчета показателей пожарного риска на производственных объектах, который прошел официальную сертификацию в системе сертификации ГОСТ Р (сертификат соответствия № РОСС RU.СП22.Н00066 от 16.11.2009).

Демонстрационные ролики, иллюстрирующие основные возможности комплекса, учебный видео-курс по работе с программой и бесплатную стартовую версию ТОКСИ+^{Risk} можно получить на официальном интернет-сайте группы компаний «Промышленная безопасность» www.safety.ru.

Список литературы

1. Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: Сб. документов. – Сер.19. – Вып.2: Ч.1. Декларирование пожарной безопасности. Нормативные правовые акты / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009. – 220 с.
2. Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: Сб. документов. – Сер.19. – Вып.2: – Ч.2. Нормативные документы по пожарной безопасности. Своды правил / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009. – 328 с.
3. Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: Сб. документов. – Сер.19. – Вып.2: — Ч.3. Нормативные документы по пожарной безопасности. Своды правил / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009. – 452 с.
4. Декларирование пожарной безопасности и оценка пожарного риска: Сб. документов. – Сер.19. – Вып.2: – Ч.4. Нормативные правовые документы по оценке пожарного риска, методики и примеры / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2009. – 288 с.
5. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – №30 (ч.1). – Ст. 3579.
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. Приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 10.07.09 №404).
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (утв. приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 30.06.09 №382).
8. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (утв. постановлением Госгортехнадзора России 26.06.01 №25).
9. ГОСТ Р 12.3.047-98. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
10. РД 03-26-2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ. – Сер. 27. – Вып.6 / Колл. авт. – М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2008. – 124 с.