

УДК 662.528

СЕТЕВОЙ ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ РАСЧЕТА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РИСКОВ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ НА ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТАХ

*канд. хим. наук С.Г. КОТОВ, д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. САЕЧНИКОВ, Д.С. КОТОВ
(Белорусский государственный университет, Минск)*

Представлен сетевой программный модуль расчета индивидуальных рисков пожаровзрывоопасных объектов с визуализацией на электронных картах. Сформированные электронные карты могут быть интегрированы в существующую корпоративную геоинформационную систему Министерства по чрезвычайным ситуациям и в последующем использованы при составлении планов ликвидации пожаров и аварий на пожароопасных объектах.

В рамках разработанного программного средства визуализации карт риска реализована технология перевода карт с бумажных носителей на электронные. Что позволяет построить любую карту индивидуального риска или вероятности поражения человека, выполнить анализ влияния основных факторов на зоны поражения. Следовательно, проектировщики имеют возможность самостоятельно рассчитать зоны вероятности поражения человека, выполнить анализ влияния на них основных параметров технологического процесса, внести соответствующие изменения в проект либо предусмотреть компенсирующие мероприятия.

Введение. Перед проектировщиками объектов различного назначения стоит задача сокращения сроков их проектирования. Понятно, что сокращение сроков не должно отражаться на качестве проектирования, а это значит, что должны быть соблюдены требования всех действующих нормативных документов. В частности, для пожаровзрывоопасных объектов необходимо выполнить расчет индивидуальных рисков, определить зоны риска, превышающие требования нормативных документов, и для них предусмотреть компенсирующие мероприятия. Расчет индивидуальных рисков пожаровзрывоопасных объектов является одним из видов экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности, на осуществление которой требуется лицензия. В настоящее время лицензии на право осуществления экспертно-консультативной деятельности имеют в основном учреждения, подчиненные Министерству по чрезвычайным ситуациям, и ограниченное число проектирующих организаций.

В сложившейся ситуации подавляющее большинство проектировщиков вынуждено обращаться в учреждения Министерства по чрезвычайным ситуациям для проведения расчета индивидуальных рисков. При этом при оформлении договора на проведение таких расчетов проектировщику необходимо представить данные, которые содержатся в готовом проекте. После проведения расчетов индивидуальных рисков в учреждении Министерства по чрезвычайным ситуациям, что занимает значительный период, проектировщик однозначно знает зоны индивидуального риска, превышающие требования нормативных документов. Получив результаты расчетов, проектировщик встает перед дилеммой либо разрабатывать компенсирующие мероприятия, либо вносить изменения в проект. Вне зависимости от принятого решения сроки работы над проектом увеличиваются.

Стремясь быстрее завершить работы над проектом, проектировщики, как правило, идут по пути разработки компенсирующих мероприятий, так как это дает гарантированный результат, в то время как после переработки проекта потребуются повторный расчет индивидуального риска, при этом результат может быть далек от ожидаемого.

Основными нормативно-техническими документами, регламентирующими процедуру оценки пожарного риска, в Республике Беларусь, являются проект стандарта [1] и нормы пожарной безопасности [2]. Указанные документы устанавливают термины и определения, связанные с оценкой пожарного риска, определяют методологические принципы и общие требования к процедуре оценки пожарного риска, а также содержат методики оценки зон поражения опасными факторами.

В Российской Федерации действуют аналогичные документы, регламентирующие процедуру оценки пожарного риска – стандарт [3] и руководство [4].

Во всех этих документах одним из этапов оценки величин различных видов пожарного риска для наружных установок является определение условной вероятности поражения человека опасными факторами при реализации возможных сценариев пожара. Для определения условной вероятности поражения человека используются пробит-функции, связывающие между собой величины опасных факторов пожара и их последствий.

Основная часть. В процессе оценки пожарного риска условные вероятности поражения человека рассчитываются для каждого рассматриваемого опасного фактора при реализации всех расчетных сцена-

риев развития пожара. Расчеты производятся для различных точек территории как в пределах, так и за пределами объекта. При этом для адекватной оценки пожарного риска промышленного объекта необходимо рассмотреть различные типы аварийных ситуаций с разгерметизацией технологического оборудования и трубопроводов (от малых утечек с диаметром истечения в несколько миллиметров до катастрофических, связанных с полным разрушением оборудования).

Следует отметить, что для оценки пожарного риска объекта может потребоваться проанализировать до нескольких сотен сценариев развития пожара. Например, в работе [5] при оценке пожарного риска для комплекса первичной подготовки нефти и газа рассматривались 62 типовые аварийные ситуации и более 400 связанных с ними сценариев пожара, а в работе [6] при оценке пожарного риска для терминала отгрузки нефти – 24 типовые аварийные ситуации и более 100 связанных с ними сценариев пожара.

О необходимости оптимизации и упрощения процедуры рисков давно говорят как проектировщики, так и ведущие специалисты Всероссийского НИИ противопожарной обороны [7].

Самым простым, по мнению специалистов ВНИИПО [7], вариантом оптимизации процедуры расчетов условной вероятности поражения является использование детерминированных критериев поражения. Детерминированные критерии показывают значение параметров опасного фактора, при которых наблюдается тот или иной уровень поражения людей или разрушения окружающих зданий, сооружений и оборудования. Однако использование такого подхода приводит к тому, что в некоторых случаях значения условной вероятности поражения могут быть ниже по сравнению со значениями, полученными с использованием пробит-функций, что существенным образом сказывается на результатах оценки риска.

Другим вариантом является использование экспресс-методов, необходимых для определения условной вероятности поражения человека тепловым излучением при пожарах на наружных технологических установках и позволяющих, с одной стороны, существенно упростить процедуру расчетов, а с другой – получить результаты, которые удовлетворительно согласовывались бы с данными точных вычислений в соответствии с нормативными документами. Этот подход реализован в методике определения условной вероятности поражения человека тепловым излучением при пожарах на наружных технологических установках, приведенной в [7]. В ней рассматриваются такие сценарии пожара на наружных установках, как пожар пролива горючих жидкостей (ГЖ) и образование огненного шара.

При реализации этого подхода условная вероятность поражения человека Q_i в зависимости от расстояния r до центра пролива может быть аппроксимирована с определенным запасом надежности следующим образом:

$$Q_i = \begin{cases} 1, & \text{если } r \leq R1; \\ 0,5, & \text{если } R1 \leq r \leq R2; \\ 0,1, & \text{если } R2 \leq r \leq R3; \\ 0, & \text{если } r > R3, \end{cases} \quad (1)$$

где $R1, R2, R3$ – расстояния, на которых условная вероятность поражения человека тепловым излучением при пожаре пролива ГЖ, рассчитанная по нормативным документам, равна соответственно 0,5; 0,1 и 0,01.

Расчет значений $R1, R2$ и $R3$ – для пожаров проливов углеводородных топлив (СПГ, СУГ, газовый конденсат и бензин) с радиусом от 1 до 60 м может быть произведен с использованием полинома следующего вида:

$$R_i = \sum_{j=0}^9 a_{ij} (R_{\text{пролива}})^j, \quad i = 1; 2; 3, \quad (2)$$

где a_{ij} – коэффициенты, зависящие от вида топлива; $R_{\text{пролива}}$ – радиус пролива, рассчитанный в соответствии с нормативными документами. При использовании значений коэффициентов a_{ij} – (j – от 0 до 9), приведенных в работе [7], среднеквадратичное отклонение не превышает 1 м.

Аналогично, как это делается для пролива ГЖ, вероятность поражения человека Q_i в зависимости от расстояния r до центра проекции центра огненного шара также может быть рассчитана по формуле (1). Значения $R1, R2$ и $R3$ для огненного шара с массой горючего в диапазоне от 20 до 100000 кг, могут быть аппроксимированы полиномом следующего вида:

$$R_i = \sum_{j=0}^7 b_{ij} (\ln(m))^j; \quad i = 1; 2; 3, \quad (3)$$

где b_{ij} – коэффициенты; m – масса горючего в огненном шаре, кг. При использовании значений коэффициентов b_{ij} – (j – от 0 до 7), приведенных в работе [7], результаты расчета размера зон, на границах кото-

рых условная вероятность поражения человека тепловым излучением при образовании огненного шара равна 0,5; 0, 1 и 0,01, отличаются от показателей, определенных в соответствии с нормативными документами, менее чем на 0,1 м.

Нами, базируясь на возможностях современной вычислительной техники и информационных технологий, предложен метод расчета индивидуальных рисков пожаровзрывоопасных объектов, основанный на расчете зон поражения с учетом вероятности возникновения чрезвычайной ситуации. Этот подход позволяет, не только значительно сократить время от начала расчета до согласования проекта, но и перейти к качественному новому уровню обеспечения пожарной безопасности.

Согласно [1, 2] величину индивидуального риска R_g при сгорании газо-, паро- или пылевоздушных смесей рассчитывают по формуле:

$$R_g = \sum_{i=0}^n Q_{ei} Q_{eni}, \quad (4)$$

где Q_{ei} – вероятность возникновения i -той аварии с горением газо-, паро- или пылевоздушной смеси на рассматриваемой наружной установке, год⁻¹; Q_{eni} – условная вероятность поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной установки, избыточным давлением при реализации указанной аварии i -того типа; n – количество типов рассматриваемых аварий.

Величину индивидуального риска R_n при возможном сгорании горючих газов, легковоспламеняющихся жидкостей, горючих жидкостей и/или трудногорючих жидкостей, твердых горючих и/или трудногорючих веществ и/или материалов, в том числе пылей и/или волокон, веществ и/или материалов, способных при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и/или друг с другом гореть, для наружных установок, относящихся по пожарной опасности к категории B_n , рассчитывают по формуле [1, 2]:

$$R_g = \sum_{i=0}^n Q_{fi} Q_{fni}, \quad (5)$$

где Q_{fi} – вероятность возникновения пожара на рассматриваемой наружной установке в случае аварии i -того типа, год⁻¹; Q_{fni} – условная вероятность поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной установки, тепловым излучением при реализации аварии i -того типа; n – количество типов рассматриваемых аварий.

Значения Q_{ei} и Q_{fi} определяют из статистических данных или на основе ГОСТ 12.1.004 [8] (проекта стандарта [1]).

Нахождение вероятности возникновения аварии или пожара на конкретной наружной установке в настоящее время практически невозможно по двум причинам:

- во-первых, количество эксплуатирующихся однотипных установок в Республике Беларусь невелико;
- во-вторых, чрезвычайные ситуации, происходящие на них, редки; информация об отказах, не приведших, к чрезвычайным ситуациям, не афишируется, следовательно, официальная статистика носит отрывочный характер.

Вследствие этого статистические данные не позволяют сделать однозначный вывод о вероятности возникновения той или иной аварии.

Для оценки риска на основе построения логической схемы, в которой учитываются различные иницирующие события и возможные варианты их развития, как указывалось выше, в ряде случаев необходимо проанализировать несколько сотен сценариев развития пожара. В настоящее время алгоритмов построения логических схем, которые можно формализовать и использовать для создания соответствующего программного обеспечения, нет. Разработка таких алгоритмов является актуальной научной задачей в области как обеспечения пожарной безопасности, так и защиты населения от других чрезвычайных ситуаций.

В то же время метод расчета вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной установки, избыточным давлением при реализации аварии и тепловым излучением легко формализуем, что позволяет перейти к созданию программного средства.

Основываясь на данных методики расчета вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной взрывопожароопасной установки [1, 2], разработан алгоритм расчета. Разработанный алгоритм расчета вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной взрывопожароопасной установки, реализован в качестве Java-приложения. Выбор языка программирования обусловлен тем, что в последующем предполагалось Java-приложение трансформировать в Java-апплет, расположенный на сайте организации, имеющей лицензию на право осуществления экспертно-консультативную деятельность в области пожарной безопасности.

С помощью разработанного Java-приложения получают зависимости условной вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной установки, не только от радиуса пролива углеводородных топлив и массы горючего в огненном шаре, как это предлагается в экспресс-методе [7], но и от всех параметров, используемых в расчетах, в соответствии с [1, 2] (например, времени срабатывания системы автоматики). Анализ получаемых математических зависимостей требует сопоставления их с картами и планами.

В рамках задания «Разработка программного средства для визуализации карт риска населению Беларуси от природных и техногенных рисков» государственной программы прикладных исследований «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций» осуществлены доработка, тестирование и отладка программных средств, позволяющих визуализировать карты риски от природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. К сожалению, до настоящего времени, кроме методики оценки индивидуального риска на наружных установках при возникновении чрезвычайных ситуаций, методик оценки индивидуального риска от других чрезвычайных ситуаций, утвержденных нормативными документами, в республике нет, как нет и программных средств оценки индивидуального риска от этих чрезвычайных ситуаций.

В связи с этим с целью апробации разработанного программного средства визуализации карт риска населению Беларуси от природных и техногенных рисков выполнено его сопряжение с разработанным Java-приложением расчета вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной взрывопожароопасной установки (рис. 1). Это позволяет формировать карты вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной взрывопожароопасной установки.

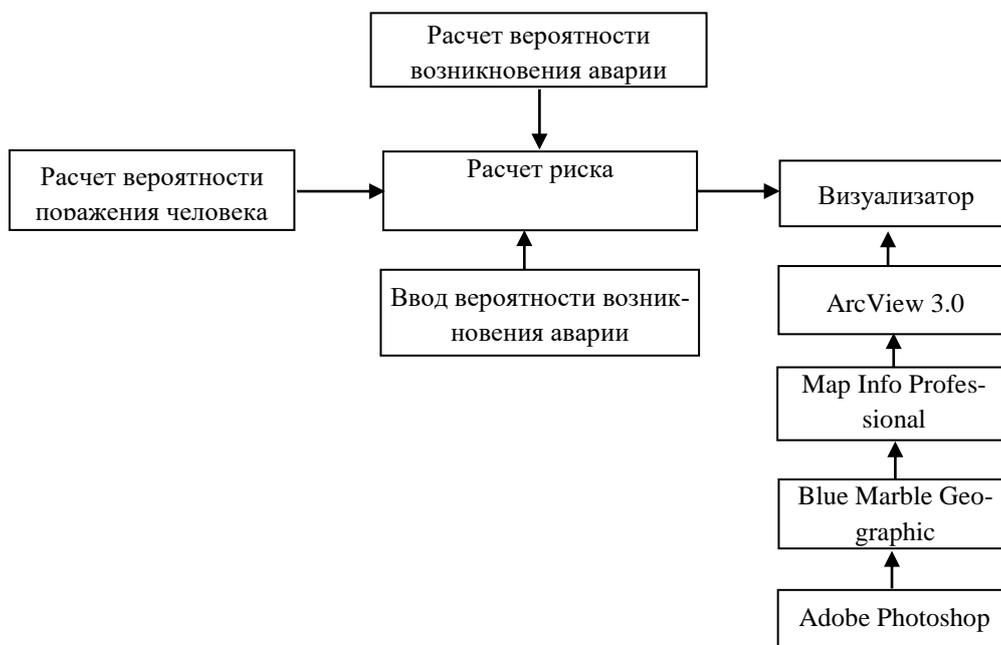


Рис. 1. Схема сопряжения средства визуализации карт риска населению Беларуси от природных и техногенных рисков с разработанным Java-приложением расчета вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной взрывопожароопасной установки

Сопряжение программного средства визуализации карт риска с Java-приложением расчета вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной взрывопожароопасной установки, выполнено через Java-модуль расчета индивидуального риска, который в последующем может быть сопряжен с Java-приложением расчета вероятности возникновения аварии или пожара на основе логической схемы, учитывающей различные инициирующие события и возможные варианты их развития. В настоящее время данный модуль используется для двух целей:

1) для транспортировки данных из Java-приложения расчета вероятности поражения человека в программное средство для построения карт вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной взрывопожароопасной установки;

2) для ввода вероятности возникновения аварии (пожара), рассчитанной ручным способом, расчета индивидуального риска исходя из введенных значений и результатов расчета вероятности поражения человека и последующего построения карт индивидуального риска.

Результаты литературных и собственных расчетных данных вероятности поражения человека, находящегося на заданном расстоянии от наружной взрывопожароопасной установки, свидетельствуют, что в большинстве случаев вероятность поражения человека избыточным давлением и тепловым излучением при авариях и пожарах на технологических установках равна 0,01 и не превышает несколько сот метров. В этой связи для визуализации зон индивидуального риска и вероятности поражения человека необходимы достаточно крупные карты или планы. Однако если такие и имеются в электронном виде, то, как правило, носят закрытый характер и недоступны для большинства проектировщиков и организаций, осуществляющих экспертно-консультативную деятельность.

В то же время проектировщики, как правило, имеют на бумажных носителях необходимые для работы крупные карты и планы застраиваемых территорий.

В рамках разработанного программного средства визуализации карт риска реализована технология перевода карт с бумажных носителей на электронные. Она предполагает сканирование бумажных носителей с разрешением не менее 300 dpi и 24 бита на пиксель. Далее следует предварительная обработка полученных растровых файлов (обрезка, сшивка и уменьшение количества бит на пиксель до 4) в программе Adobe Photoshop 7.0.

Для географической привязки растрового слоя используется программа Blue Marble Geographic Transformer 3.09: координатная система Гаусса – Крюгера (Пулково, 1942), зона 5, единицы измерения – метры. Первоначальная подготовка цифровых тематических слоёв осуществляется в пакете MapInfo Professional V4.0. Из формата MapInfo Professional цифровые тематические слои переводятся в обменный формат MapInfo (файлы *.mif и *.mid), а из него – в формат ArcView 3.0. Завершающие операции производятся в пакете ESRI ArcView V3.0a с использованием скрипта, написанного на встроенном языке Avenue. На выходе получается комплект из одного цифрового тематического слоя, что достаточно для визуализации зон индивидуального риска или вероятности поражения человека.

Указанные программные средства позволяют построить любую карту индивидуального риска или вероятности поражения человека, выполнить анализ влияния основных факторов на зоны поражения. Следовательно, проектировщики имеют возможность самостоятельно рассчитать зоны вероятности поражения человека, выполнить анализ влияния на них основных параметров технологического процесса, внести соответствующие изменения в проект либо предусмотреть компенсирующие мероприятия. Вследствие этого уже на стадии обращения в учреждение, имеющее лицензию на право экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности, проектировщики будут знать результат расчета индивидуальных рисков и в конечном итоге получат предсказуемый результат, а сроки проектирования не будут затягиваться. Таким образом, созданные программные средства уже сейчас позволяют проектировщикам сократить сроки проектирования и согласования проектной документации документов.

Еще больший выигрыш во времени можно получить, объединив усилия проектировщиков и учреждений, имеющих лицензию на право экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности, используя современные информационные и телекоммуникационные технологии.

Очевидно, что учреждение, имеющее лицензию на право экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности, чтобы построить карту риска, должно собрать исходные данные, провести расчет и нанести на карту зоны индивидуального риска. Таким образом, специалисты учреждения должны повторить все то же, что делают проектировщики. Созданное программное обеспечение позволяет уже сейчас автоматизировать процесс расчета и в организации, имеющей лицензию на право экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности.

Вместе с тем работы, связанные с проведением расчетов и построением карт, требуют определенных временных затрат, при этом результат расчета зон вероятности гибели людей, как и формирования электронных карт, будет один и тот же. Отклонения могут возникнуть только из-за введения иной вероятности возникновения пожара или аварии. Это, как указывалось выше, является следствием того, что в настоящее время нельзя полностью формализовать проведение этого расчета.

Выходом из сложившейся ситуации является размещения созданного программного обеспечения на сайте организации, имеющей лицензию на право экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности (например, НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций), с предоставлением возможности удаленного доступа к нему проектировщикам (рис. 2).

Как и в первом случае, проектировщики могут воспользоваться программным обеспечением для своих нужд: выполнить расчеты; сформировать электронные карты; построить карты риска.

Окончательный вариант для готового проекта можно оставить на сайте учреждения, имеющего лицензию на право экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности. В этом случае при официальном обращении проектировщика за результатами расчетов специалистам учреждения, имеющего лицензию в области обеспечения безопасности, останется только проверить корректность

расчета вероятности возникновения пожара или аварии, так как проведение этого расчета в настоящее время нельзя полностью формализовать.

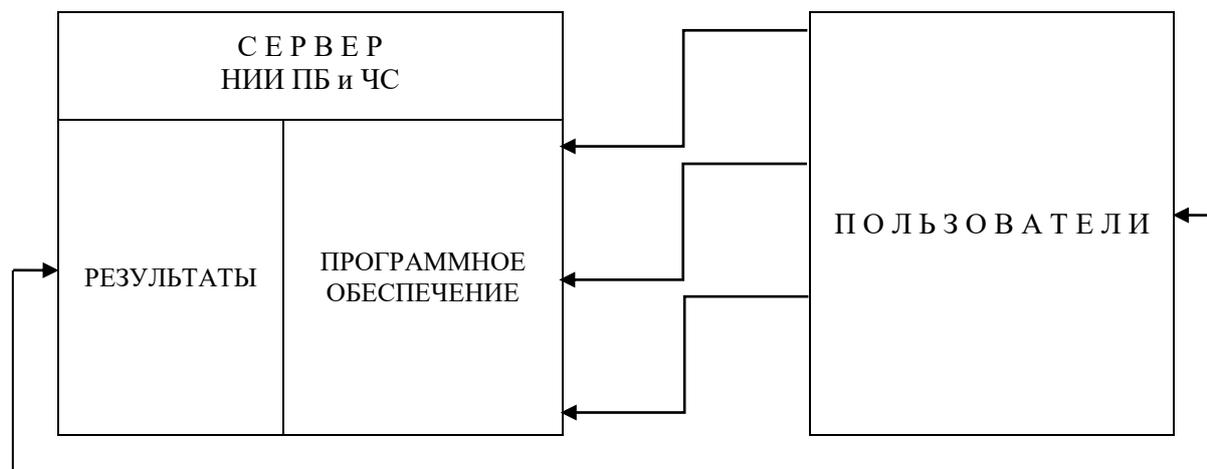


Рис. 2. Схема удаленного доступа проектировщиков к программному обеспечению организации, имеющей лицензию на право экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности

Результаты остальных расчетов как у проектировщика, так и у организации, имеющей лицензию на право экспертно-консультативной деятельности в области пожарной безопасности, не будут различаться. Если учесть, что лицензии на право осуществления экспертно-консультативной деятельности имеют в основном учреждения, подчиненные Министерству по чрезвычайным ситуациям, появляется дополнительная возможность в обеспечении пожарной безопасности.

Заключение. Сформированные электронные карты могут быть интегрированы в существующую корпоративную геоинформационную систему Министерства по чрезвычайным ситуациям и в последующем использованы при составлении планов ликвидации пожаров и аварий на пожароопасных объектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования: СТБ П 11.05.03-2006.
2. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: НПБ 5-2005.
3. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: ГОСТ Р 12.3.047-98.
4. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2006.
5. Оценка пожарного риска для буровой площадки с комплексом первичной подготовки нефти и газа / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2005. – № 3. – С. 14 – 21.
6. Оценка пожарного риска для крупномасштабного терминала отгрузки нефти / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2005. – № 1. – С. 40 – 49.
7. Экспресс-методы определения условной вероятности поражения человека / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2006. – № 5. – С. 73 – 79.
8. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. – 77 с.

Поступила 25.10.2007