

*Соловей В.В., д-р техн. наук, зав. отд. термодинамики,
ИПМаш НАН України,
Давидюк О.В., вед. інж., ЗАО «Северодонецкий ОРГХИМ»,
Буц Ю.В., канд. геогр. наук, зав. каф., УГЗУ*

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РИСКА АВАРИЙ – ОСНОВА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Проанализировано прохождение процедуры декларирования безопасности и определены основные недостатки действующей нормативной базы. Рассмотрены методологические и практические вопросы анализа и количественной оценки риска. Определена необходимость дальнейшего развития и совершенствования методов количественной оценки риска. Предложены пути повышения уровня промышленной безопасности на начальных этапах проектирования

Постановка проблемы. О реализации евроинтеграционного вектора Украины, в том числе и в области обеспечения промышленной безопасности, можно судить по принятию в Украине 18.01.2001 г. Закона «Об объектах повышенной опасности», № 2245–14 [1]. Данным Законом предусматривается выполнение ряда мероприятий, в числе которых находятся идентификация и разработка декларации безопасности (далее ДБ) объекта повышенной опасности (далее ОПО), страхование ответственности перед третьими лицами за ущерб, причиненный в случае аварии, разработка планов локализации и ликвидации аварий, информирование общественности и компетентных органов об авариях и наличии опасных производственных объектов. Данные процедуры уже активно работают в странах Евросоюза и России.

Анализ последних исследований и публикаций. Следует отметить, что в данном Законе нашли свое отражение законодательные акты межгосударственного применения: Директива Севезо I и Директива Севезо II (RICHTLINIE 96/82/EG DES RATES vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen) [2], с изменениями по состоянию на 31.12.2003 г. Наименование Директивы Севезо II с немецкого переводится так: «Директива 96/82/ЕС Совета от 9.12.1996 г. об

управлении опасностями при тяжелых авариях с опасными веществами».

Законом «Об объектах повышенной опасности» определены такие существенные с позиций современного, научно-обоснованного управления промышленной безопасностью понятия: *потенциально опасный объект, объект повышенной опасности, идентификация объекта повышенной опасности, авария на объекте повышенной опасности, трансграничное воздействие аварии, риск, приемлемый риск, управление риском, декларация безопасности*. Таким образом, в составе процедуры декларирования официально введена и обязательна для исполнения процедура анализа и количественной оценки риска аварий, по результатам которой принимаются управленческие решения о возможности как строительства ОПО, так и дальнейшая эксплуатация объекта, корректируются или утверждаются принятые технические решения, обеспечивающие заданный уровень безопасности. Ответственность получает возможность узнать, какому же риску подвергаются люди, находящиеся вблизи или в удалении от такого объекта.

Европейское Агентство по проблемам окружающей среды, обобщив накопленные сведения об аварийности на промышленных объектах с 1970 по 1996 гг., делает вывод о снижении числа аварий, аварийных утечек нефти на фоне роста интенсивности деятельности промышленных объектов и отмечает действенную, позитивную роль в этом процессе Директивы Севезо II [3]. К такому же выводу пришла и Центральная служба сбора и обработки данных об авариях и нарушениях на технологических установках (ЗЕМА) Германии. В частности ЗЕМА отмечает, что с 2000 г. наблюдается тенденция стабилизации числа аварий в промышленности с незначительным снижением их числа в период с 2000 – 2003 гг. [4].

Специалистами страховой компании НК «ЛУКОЙЛ» и ЗАО «Индустриальный риск» проанализированы сведения об аварийности в Европе, Северной Америке и Среднем Востоке [5]. На основании результатов анализа можно констатировать о позитивном влиянии Директивы Севезо II на уровень промышленной безопасности в тех странах, где она применяется. В Докладе Госгортехнадзора России [6] о состоянии промышленной безопасности, а также по другим обобщенным сведениям Госгортехнадзора, отмечена стабилизация снижения уровня аварийности в промышленности,

начиная с введения федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 г.

Мировая практика процедуры декларирования.

Процедура декларирования промышленной безопасности является интегрирующим этапом обеспечения и управления промышленной безопасностью. Результатом прохождения процедуры декларирования является декларация безопасности (в странах Европейского Сообщества – Sicherheitsbericht (в Германии и других немецко-язычных странах Сообщества), Safety Report (англоязычные страны Сообщества)), разрабатываемая как документ, подготовленный по результатам исследования степени опасности и количественной оценки риска аварий, определения достаточности организационных и технических мероприятий по предупреждению и готовности к локализации и ликвидации аварийных ситуаций и аварий.

Выполнение положений Директивы Севезо II контролируется Европейской комиссией. Страны участники ЕС регулярно каждые три года представляют сведения в рабочий орган Еврокомиссии. Согласно актуальному на сегодняшний день Докладу Еврокомиссии от 8 сентября 2004 г. о проведении Директивы 96/82/ЕС (Севезо II) за период с 2000 по 2002 гг. в ЕС сложилась следующая ситуация:

количество «поддирективных» предприятий старых членов ЕЭС, ед. 3278

количество предприятий старых членов ЕЭС, разработавших декларацию безопасности, % 93,3

количество «поддирективных» предприятий новых членов ЕЭС, ед. 434

количество предприятий новых членов ЕЭС, разработавших декларацию безопасности, % 62,7

Постановка задачи и ее решение. Анализ риска аварий – ключевой этап разработки декларации безопасности.

Отметим, что в Украине разработаны и действуют методики проведения идентификации, разработки деклараций безопасности, определения рисков и их приемлемых уровней, определения ущербов, прогнозирования последствий выброса химических веществ [7–11]. К сожалению, в Украине не разработаны (в [10] даны лишь ссылки на зарубежные источники) методики определения количественных характеристик опасных факторов аварии:

взрыва, огненного шара, вспышечного пожара, факела, токсоволны, эффекты BLEVE и Boilover.

Отдельные из перечисленных методик имеются в России. Представляется очевидным тот факт, что, чем раньше отсутствующие методики, учитывающие результаты мировых исследований, будут разработаны в Украине, тем раньше уровень декларирования в Украине достигнет «проектных показателей» и будет соответствовать Европейскому уровню. Безопасность производств – это не только сохранение здоровья, а иногда и жизни человека, это залог стабильности экономики, защиты окружающей среды и интенсивной привлекательности. ЗАО «Северодонецкий ОРГХИМ», являясь с 1996 г. головной организацией Минпромполитики Украины по вопросам безопасной эксплуатации изотермических хранилищ жидкого аммиака и работающих под давлением хранилищ сжиженных углеводородных газов, проводит ряд исследовательских работ в части методологии анализа и оценки риска аварий.

Ключевым этапом разработки ДБ (анализа безопасности ОПО) является анализ и оценка степени опасности – анализ риска аварий. Частным случаем анализа риска аварий является оценка риска аварий – определение количественных показателей, т.е. риск может и должен нормироваться.

Понятие риска применимо к следующим основным негативным факторам аварии:

- 1) гибель человека/людей – оценка риска гибели людей;
- 2) загрязнение окружающей среды – оценка риска загрязнения окружающей среды;
- 3) причинение материального ущерба – оценка риска материального ущерба.

По результатам анализа и оценки риска аварий определяется возможность эксплуатации ОПО, необходимость и достаточность превентивных и защитных мероприятий.

Действующая в Украине Методика [10], на наш взгляд, может быть улучшена при корректировке существующих понятий и нормировании отдельных критериев в соответствии с нижеследующим.

Социальный риск характеризует тяжесть последствий (катастрофичность) реализации опасностей. Социальный риск характеризует масштаб и вероятность (частоту) аварий и определяется функцией распределения потерь (ущерба), у которой есть устано-

вившеєся названіє – F/N -крива. В общем случает, в зависимости от задач анализа, под N можно понимать и общее число пострадавших, и число смертельно травмированных или другой показатель тяжести последствий. Соответственно, критерий приемлемого риска будет определяться уже не числом для отдельного события, а кривой, построенной для различных сценариев аварии с учетом их вероятности и тяжести последствий. В настоящее время изучается возможность использования двух кривых, когда, например, в логарифмических координатах определены F/N -кривые приемлемого и неприемлемого рисков смертельного травмирования. Область между этими кривыми определяет промежуточную степень риска, вопрос о снижении которой следует решать, исходя из специфики производства и региональных условий.

Целесообразность корректировки понятий социального риска и ожидаемого количества погибших – коллективный риск следует из представленных выше определений. Т.е., в случае социального риска оценка риска гибели людей лишь по одному значению погибших, равном 10 человек, не является показателем, характеризующим всю тяжесть (катастрофичность) последствий реализации опасностей. Так, для случаев аварии с сильнодействующими ядовитыми веществами количество погибших может достигать сотен и более человек, при этом вероятность таких аварий может практически не меняться в интервале от 5 до 1000 человек. Подобная ситуация актуальна для ОПО, находящихся в непосредственной близости к местам скопления людей, селитебной зоне. При этом подобные значения риска могут быть сформированы и взрывопожароопасными веществами (из-за близости людей, дрейфа облака и т.п.). О важности применения критерия социального риска в виде распределения зависимости частоты последствий от их тяжести говорится в ряде научных публикаций специалистов д.т.н. Лисанова М.В., д.т.н. Печеркина А.С., НТЦ «Промышленная безопасность», работе Маршалла В. «Основные опасности химических производств» [12].

Учитывая, что декларирование безопасности служит цели, которая заключается в оценке величины риска гибели людей, независимо от отнесения людей к персоналу или третьим лицам и причинения ущерба объектам заботы (имуществу третьих лиц, окружающей среде) и разработке на основе анализа мероприятий по повышению безопасности, целесообразно ввести процедуру оценки риска гибели **персонала** ОПО, риска причинения мате-

риального ущерба ОПО. Так, при значительной удалённости ОПО от гражданских лиц и объектов заботы, полученное значение индивидуального, территориального или социального (в том числе и *MD*) риска может удовлетворять требованию приемлемости. Тогда как персонал ОПО, или лица сторонних организаций, находящиеся на ОПО, могут подвергаться недопустимому риску. Практически для таких удалённых от населения и объектов заботы ОПО декларация безопасности не предусматривает необходимость защиты, как самого персонала, так материальных ресурсов.

Зонирование территории посредством потенциального территориального риска целесообразно применять на этапе определения наилучшего места размещения ОПО. Так, можно научно обоснованно, с позиций промышленной безопасности разместить проектируемый объект на существующей площадке в промзоне. Также, если какая либо из составляющих ОПО будет являться источником превышения приемлемой величины риска, представляется возможность проведения точечных мероприятий, снижающих риск до приемлемых показателей. Следует также заметить, что на основании величин потенциального территориального риска определяются остальные показатели риска: индивидуальный, социальный, коллективный.

На практике нахождение распределения потенциального территориального риска вызывает большие трудности по причине сложности и трудоемкости расчетов. Последнее обстоятельство только усиливается отсутствием комплексной научно-обоснованной математической модели и алгоритма практического решения. Авторами найдено частное решение данной задачи: разработаны математическая модель и алгоритм практического определения потенциального территориального риска локально расположенных объектов и их опасных составляющих, как, например, нефте- и газоперерабатывающие заводы, химические производства, склады или товарно-сырьевые парки.

Разработанные математическая модель и алгоритм расчета позволяет рассчитывать потенциальный территориальный риск для неограниченного количества эпицентров аварий с взрывом, пожаром, огненным шаром, пожаром пролива, вспышечным пожаром, факелом, токсической волной. Далее, по полученным значениям потенциального территориального риска находятся: индивидуальный риск для заданных групп персонала и третьих лиц, социа-

льный риск и его распределение (кривая Фармера), коллективный риск.

Практика применения данного расчетного комплекса показала его эффективность при решении задач количественной оценки риска в целях декларирования промышленной безопасности, как в Украине, так и в России.

Ситуация с анализом и количественной оценкой риска аварий усугубляется еще и тем обстоятельством, что в Украине существующая методика определения риска [10], позволяет лишь теоретически определять некоторые количественные показатели риска, но не полную их совокупность, необходимую для всесторонней оценки опасности ОПО. Как упоминалось выше, в области расчета количественных параметров опасных факторов аварии в Украине, имеется официально утвержденная МЧС Украины Методика прогнозирования последствий пролива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте [11]. Данная Методика является незначительно переработанным вариантом методики ШГО СССР и предназначается лишь для предварительного оперативного прогнозирования обстановки «с запасом» с заражением территории газообразными сильнодействующими ядовитыми веществами. Основным недостатком данной методики являются: 1) неопределенность результатов расчетов (зона заражения количественно должна характеризоваться распределением в пространстве и времени концентраций токсичного газа и, соответственно, токсодоз); 2) невозможность применения методики для количественной оценки показателей риска аварий в целях декларирования безопасности ОПО; 3) некорректные результаты при расчетах вторичных облаков и облаков газов с плотностью большей, чем плотность воздуха.

В России от данной Методики отказались еще в 1997 г., предложив взамен методику «Токси», которая более адекватно отражает ситуацию при расчете аварий с газами, близких по плотности к воздуху. В 2005 г. специалистами ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность» (Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору России) подготовлен проект методики «Токси 3» для расчетов параметров дрейфа тяжелого газа. В Украине, к сожалению, такая работа не ведется.

Ряд нерешенных проблем практического и теоретического характера, сопровождающие выполнение работ по анализу и ко-

личественной оценке риска аварий, сводят, фактически, на нет эффективность процедуры декларирования на этапе проектирования. Главным образом, это происходит из-за трудоемкости получения количественных показателей риска, отсутствия методики расчета и пакета прикладных программ для ее реализации. Таким образом, основной проблемой является то обстоятельство, что на ранних этапах проектирования, еще нет полных и четких сведений о системе противоаварийной защите, а также о надежности технических средств системы противоаварийной защиты, отсутствуют многие другие данные, необходимые для количественной оценки риска аварий. Изложенные проблемы, в частности, приводят к тому, что декларация принимает именно декларативный характер и результаты анализа и оценки риска практически не используются. Управление промышленной безопасностью, основанное на количественной оценке риска аварий, таким образом, не выполняется на этапе выбора площадки размещения объекта. Не определяются и наиболее опасные составляющие ОПО, с целью их размещения на приемлемом удалении от социально-значимых объектов и третьих лиц.

Учитывая практическую необходимость решения вышеизложенной задачи, предлагаем ввести новый критерий количественной оценки риска, пригодный для применения на ранних этапах проектирования.

Полное наименование критерия (полное): *потенциал опасности гибели человека в результате аварии* (сокращенное): *потенциал опасности*.

Определение понятия *потенциал опасности* (далее *ПО*): гипотетически возможная интегральная вероятность смертельного поражения человека. *ПО* определяется как сумма вероятностей независимых событий – гибели человека от реализации всей совокупности гипотетически возможных поражающих факторов аварий. Отличительной особенностью от критерия потенциального территориального риска является то, что при определении *ПО* не учитывается возможность локализации аварийной ситуации, срабатывание средств противоаварийной защиты.

Преимущества предлагаемого критерия:

- ПО не зависит от вероятности возникновения и развития аварии, а значит, повышается достоверность данной оценки величины риска, исключается возможность искусственного манипулирования величиной риска и представления приемлемых значений риска;

- ПО требует меньшего числа исходных данных, соответственно, уменьшается время и материальные затраты на выполнение, а также открывается техническая возможность выполнения на ранних этапах проектирования, разработки технико-экономического обоснования, когда еще нет точных сведений о системе мер и мероприятий противоаварийной защиты, данных о надежности технических устройств;

- ПО не зависит от возможности развития аварии по принципу «Домино». Фактически, ПО уже включает в себя весь неблагоприятный потенциал ОПО, в т.ч. и возможность развития аварии по принципу «Домино», тогда как в других методах необходимо отдельно рассматривать и количественно учитывать эффект «Домино», а методики для этого отсутствуют;

Недостатки предлагаемого критерия:

- ПО опирается на наличие у исполнителя достоверной (статистически обобщенной) базы данных о частоте реализации того или иного поражающего фактора аварии (данный недостаток свойственен практически всем существующим методам и критериям количественной оценки риска вероятности (частоты) реализации того или иного поражающего фактора аварии). Отсутствие такой базы данных снижает математическую достоверность на начальных этапах существования критерия.

Предлагаемый критерий ПО не служит цели заменить какой-либо из существующих критериев. Он является дополнительным показателем приемлемости места расположения ОПО с позиций обеспечения заданного уровня промышленной безопасности на начальном этапе проектирования, когда компетентным органам необходимо принимать управленческое решение.

ПО в точке с координатами (x,y) $PO(x,y)$ определяется:

$$PO(x,y) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - (P_i(x,y) \cdot \lambda_i)), \quad (1)$$

где $P_i(x, y)$ – вероятность смертельного поражения человека i -м поражающим фактором, в точке с координатами x, y , определяемая через пробит-функцию; n – максимальное количество поражающих факторов от всех эпицентров потенциально возможных аварий; i – порядковый номер поражающего фактора потенциально возможной аварии; x, y – координаты на плоскости, λ_i – частота (статистическая вероятность) развития аварии до определенного исхода с реализацией поражающего фактора, определяется на основании статистических данных, при их отсутствии рекомендуется пользоваться данными из таблицы 1.

Обращаем внимание на то, что при расчетном определении λ_i графоаналитическим методом «дерево событий» не следует учитывать вероятность срабатывания мер и средств противоаварийной защиты, т.к. это противоречит самому принципу критерия потенциала опасности, в основу которого положена необходимость учета гипотетически возможных наиболее худших последствий аварии.

Абсолютное численное значение потенциала опасности всего объекта получим, проинтегрировав выражение (1):

$$ABS = \iint_{x,y} PO(x, y) dx dy. \quad (2)$$

С учетом выражения (1) получим

$$ABS = \iint_{x,y} \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - (P_i(x, y) \cdot \lambda_i)) \right] dx dy. \quad (3)$$

Следует отметить, что использовать нормирование в качестве инструмента определения допустимых и недопустимых величин абсолютной величины потенциала опасности в силу объективных причин невозможно. Однако нормирование потенциала опасности не только возможно, но и, безусловно, необходимо.

Очевидно, что величина допустимого ПО не может быть менее величины допустимого потенциального территориального риска. Считается, что допустимый уровень ПО для третьих лиц не должен превышать фоновых показателей риска, которому подвергается человек в повседневной жизни. Для действующих объектов это практически недостижимый показатель, но в случае проекти-

рования новых ОПО, регламентирование этого показателя позволит на стадии формирования проектной документации обеспечить минимизацию вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций путем проведения сравнительного анализа выбора площадки, оптимизации размещения оборудования и внутрипроизводственной компоновки технологических магистралей и поиска, альтернативных более безопасных технологий.

Таблица 1

Исход аварии (опасный фактор аварии)	Частота (статистическая вероятность) реализации данного исхода аварии для наружных технологических установок					
	СУГ	ЛВЖ		ГЖ		Газы
		Без перегрева, без давления	С перегревом, под давлением	Без перегрева, без давления	С перегревом, под давлением	
Взрыв	0,25	0,5	0,25	0	0,34	0,25
Огненный шар	0,25	0	0,25	0	0	0,25
Вспышечный пожар	0,25	0,5	0,25	0	0,33	0,25
Факел	0,25	0	0,25	0	0,33	0,25
Пожар пролива	1	1	1	1	1	0
Токсово-лна	0	0	0	0	0	1 (если СДЯВ)
Итого:	1+1	1+1	1+1	1	1+1	1+1

Примечания:

1. Частоты имеют ориентировочный характер по причине того, что исход аварии будет зависеть от условий происхождения и развития аварии, степени перегрева и величины избыточного давления.
2. СУГ – сжиженные углеводородные газы.
3. ЛВЖ – легковоспламеняющиеся жидкости.
4. ГЖ – горючие жидкости.

5. Как правило, большинство аварий на взрывопожароопасных объектах (с обращением ЛВЖ, ГЖ), начавшихся со взрыва или огненного шара, заканчиваются пожаром пролива, поэтому вероятность пожара в завершающей стадии аварии может быть с высокой достоверностью приниматься равной 1. Также, принимается, что пожар пролива не входит в полную группу независимых событий: взрыв или огненный шар, или вспышечный пожар, или факел.

В организационном плане целесообразно создание в Украине научно-технического центра в структуре Государственного Комитета по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору Украины, который бы обеспечивал научно-техническую поддержку надзорной деятельности, координацию работ и исследований, направленных на научное обеспечение безопасности функционирования промышленных комплексов в Украине. Эффективность процедуры декларирования в Украине в части проведения исследования степени опасности объекта может быть существенно повышена при учёте опыта декларирования Европейского Сообщества и России.

Выводы:

1. Выполнен анализ процедуры декларирования безопасности и определены основные недостатки действующей нормативной базы.

2. Рассмотрены методологические и практические вопросы анализа и количественной оценки риска промышленных аварий. Показана необходимость дальнейшего развития и совершенствования методов количественной оценки рисков, возникающих в процессе эксплуатации промышленных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Украины об объектах повышенной опасности № 2245-14 от 18.01.2004г.
2. RICHTLINIE 96/82/EG DES RATES vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen. Konsolidierter TEXT. Geändert durch: Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003. Amtsblatt Nr.:L 284. Seite: 1. Datum: 31.10.2003. und Richtlinie 2003/105/EG des

- Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2003. Amtsblatt Nr.:L 345. Seite:97. Datum: 31.12.2003.
3. Die Umwelt in Europa: Der zweite Lagebericht // European Environment Agency.1998.
 4. Zentrale Melde- und Auswertestelle für Störfälle und Störungen in verfahrenstechnischen Anlagen (ZEMA) // Jahresberichten 1995 - 2003. Umweltbundesamt. Berlin, 1996 - 2005.
 5. Цховребов Ю.В. и Елохин А.Н. Страхование высокорисковых производств: некоторые инженерные аспекты.2002. ООО «Полимедиа», М., 128 с.
 6. Доклад "О состоянии промышленной безопасности опасных производственных объектов, рационального использования и охраны недр Российской Федерации в 2002 году" http://www.gosnadzor.ru/info/doc5_1.html
 7. ДНАОП 0.00–3.07–02. Нормативы пороговых масс опасных веществ для идентификации объектов повышенной опасности.
 8. ДНАОП 0.00–8.21–02. Порядок идентификации и учёта объектов повышенной опасности.
 9. ДНАОП 0.00–8.22–02. Порядок декларирования безопасности объектов повышенной опасности.
 10. Методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности. Утв. Приказом министерства труда и социальной политики Украины № 637 от 04.12.2002г.
 11. Методика прогнозирования последствий пролива (выброса) опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах и транспорте. Утв.Приказом МЧС Украины 27.03.2001г № 73/82/64/122.
 12. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ.-М.:Мир, 1989. – 672с., ил.