

DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-85-91

УДК 658.58:62

© Н.А. Махутов, Д.О. Резников, М.В. Лисанов, 2020

Нормирование и управление рисками, связанными с эксплуатацией опасных производственных объектов



Н.А. Махутов,
чл.-кор. РАН, д-р
техн. наук, проф., пл.
науч. сотрудник

ИМАШ РАН, Москва, Россия



Д.О. Резников,
канд. техн. наук, вед.
науч. сотрудник,
mibbsts@mail.ru



М.В. Лисанов,
д-р техн. наук,
директор центра
анализа риска

ЗАО НТЦ ПБ,
Москва, Россия

В статье рассмотрены подходы к нормированию индивидуального риска. Выполнен анализ принципа практической целесообразности в целях внедрения системы управления риском аварии при эксплуатации опасных производственных объектов.

Ключевые слова: безопасность, опасный производственный объект, индивидуальный риск, управление риском, приемлемый риск, неопределенность.

Для цитирования: Махутов Н.А., Резников Д.О., Лисанов М.В. Нормирование и управление рисками, связанными с эксплуатацией опасных производственных объектов// Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 12. — С. 85–91. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-85-91

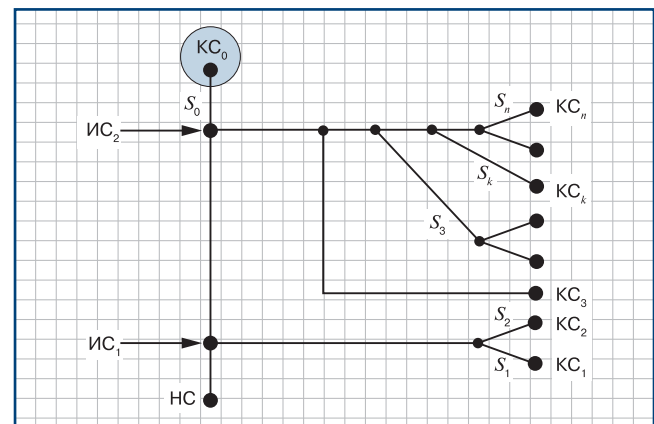
Введение

Эксплуатация опасных производственных объектов (ОПО) связана с обращением больших объемов опасных веществ, высокой концентрацией энергии и информационных потоков. Для ОПО характерны [1–3]:

сложные нелинейные взаимодействия между входящими в их состав элементами;

имеющие вероятностный характер сложные цепочки (сценарии) причинно-следственных связей между опасными событиями и процессами, которые протекают в системе в течение срока ее эксплуатации.

Эволюция ОПО в течение жизненного цикла может быть представлена как последовательность изменяющихся во времени состояний. Если удастся обеспечить переход объекта из начального состояния (ввод в эксплуатацию) к заданному конечному состоянию (консервация, ликвидация ОПО), то можно говорить о реализации сценария успеха S_0 (рис. 1, здесь НС — начальное состояние ОПО; S_0 — сценарий успешного выполнения системой своих функций; KC_0 — заданное конечное состояние ОПО; $ИС_1$, $ИС_2$ — инициирующие события; S_i — сценарии отказа, реализующиеся после достижения предельных состояний, $i = 1, 2, \dots, n$; KC_i — поврежденные конечные состояния ОПО, соответствующие сценариям S_i). Ввиду высокого уровня неопределенности, неизбежно присутствующего в сложных системах, функционирование ОПО является многовариантным и описывается разветвленным сценарным деревом, содержащим точки бифуркации. В связи с тем, что сценарный граф ОПО неизбежно включает



▲ Рис. 1. Сценарная оценка состояния ОПО

▲ Fig. 1. Scenario assessment of the state of a hazardous production facility (HPF)

аварийные и катастрофические сценарии (S_1, S_2, \dots, S_n), эксплуатация ОПО сопряжена со значительными рисками для населения, природной среды и объектов экономики.

Управление технологическими процессами на ОПО предполагает специальные воздействия на технологическую систему, призванные направить ее эволюцию по запланированному сценарию S_0 и не допустить реализации аварийных сценариев. В тех случаях, когда критерии риска и соответствующее методическое обеспечение оценки риска являются определяющими факторами при выборе управленческих воздействий на процесс обеспечения безопасности, можно говорить об управлении риском ОПО.

Управление риском ОПО приходится осуществлять в условиях наличия двух конкурирующих групп

требований, направленных на обеспечение социальной составляющей, экономической эффективности и безопасности объекта. В этой связи могут быть предложены две стратегии управления, использующие различные параметры риска в качестве параметров управления:

некоторые показатели риска применяются как ограничения при решении задачи оптимизации, например, может максимизироваться прибыль Π , генерируемая объектом при наличии ограничения на величину индивидуального риска $[R_i]$:

$$\max_{R_i < [R_i]} \Pi; \quad (1)$$

критерии приемлемости (допустимости) показателей риска используются как ограничения при решении задачи оптимизации, а экономические риски включаются в явном виде в целевую функцию оптимизационной задачи. Иными словами, экономические риски включаются в функционал, определяющий затраты жизненного цикла C_Σ рассматриваемого объекта [3, 4]:

$$\min_{R_i < [R_i]} C_\Sigma, \quad (2)$$

где C_Σ — затраты жизненного цикла ОПО; C_{pr} , C_{str} , C_{exp} , C_d — затраты соответственно на проектирование, строительство, эксплуатацию и вывод из эксплуатации рассматриваемого объекта; $E\{U\}$ — ожидаемые ущербы (или экономические риски) от потенциальных аварий, связанных с функционированием объекта в течение его жизненного цикла;

$$C_\Sigma = C_{pr} + C_{str} + C_{exp} + C_d + E\{U\}. \quad (3)$$

Другой отличительной особенностью управления риском ОПО является то, что оно выполняется в условиях высокого уровня неопределенности оценок риска. При этом могут быть выделены два принципиально различных типа неопределенностей [4–7]:

неопределенности, связанные с ограниченностью знаний о сложных процессах, протекающих в ОПО, и о характере взаимодействий между его элементами, с соответствующим отсутствием необходимой информации для расчетов (неопределенности 1-го типа);

неопределенности, обусловленные вариативностью параметров ОПО и случайным характером воздействий на него (неопределенности 2-го типа).

Как указано в [4], при количественной оценке риска аварий для задач обеспечения безопасности (в отличие от, например, метрологии) часто не обязательно знать «истинное» — точное значение показателя риска (иногда это и невозможно по причине отсутствия необходимых данных), а необходимо лишь подтверждение выполнения определенных критериев, в том числе критериев допустимого риска, например, при обосновании минимальных допу-

стимых расстояний. В этом контексте особо важной становится оценка неопределенностей, связанных с вычислительной процедурой (естественно, при сохранении усилий по получению достоверных статистических данных и участия квалифицированных исполнителей). Поэтому на практике эта проблема обычно решается с помощью консервативности применяемых допущений.

При внедрении системы управления риском следует принять во внимание следующие взаимно дополняющие друг друга принципы [8]:

принцип MEM (англ. Minimum Endogenous Mortality — минимальная эндогенная смертность). Этот принцип заключается в следующем: «Угроза, связанная с новой системой, не должна повышать уровень минимальной эндогенной смертности для индивидуума»;

принцип GAMAB (фр. Globalement Au Moins Aussi Bon — в целом, по крайней мере, такой же) формулируется следующим образом: «Все новые системы должны в целом иметь уровень риска, по крайней мере, такой же, что и равнозначная существующая система»;

принцип ALARP (англ. As Low As Reasonably Practical — настолько низкий уровень риска, насколько это оправдано с практической точки зрения). Приемлемый уровень риска, в соответствии с принципом ALARP, — это такой уровень риска, для которого затраты на его достижение являются экономически эффективными при соблюдении социальных аспектов.

Оценка, нормирование и управление рисками могут выполняться по различным показателям риска, основные из которых индивидуальные, социальные и экономические:

социальный риск оценивается с помощью так называемых F/N -кривых [9];

экономический риск, который также описывается специальным образом построенной функцией распределения случайной величины U (экономический ущерб от аварий на рассматриваемом объекте в течение года R_d):

$$P(U > u),$$

где u — экономический ущерб.

Осознание невозможности реализации концепции абсолютной безопасности (нулевого риска) обусловило переход к концепции приемлемого риска. При ее использовании одним из ключевых является вопрос о нормировании риска, под которым принято понимать процесс задания предельно допустимого уровня риска $[R]$, который не может быть превышен ни при каких обстоятельствах, и пренебрежимого уровня риска $<R>$, которым на данном этапе развития экономики возможно пренебречь.

Нормирование риска

Анализ методических подходов (например, [9–20]) показывает, что критерии допустимого риска

аварий рекомендуется определять исходя из совокупности условий, включающих:

качественные критерии (основанные на лингвистических оценках), отражающие конкретные требования безопасности (например, условия более жестких требований к обеспечению безопасности населения или условия недопущения выхода поражающих факторов за территорию объекта);

количественные критерии (например, критерии приемлемого индивидуального риска, условия соблюдения безопасных расстояний на основе оценок последствий аварий и т.п.).

Примеры формулировок критериев приемлемого (допустимого) риска аварий представлены в таблице.

Критерии	Примеры формулировок критериев приемлемого риска
Качественные	1. Поражающие факторы аварий при разрушении любой единичной емкости на объекте не должны выходить за границу санитарно-защитной зоны
	2. Предприятие X не должно представлять опасность для третьих лиц, большую, чем для своего персонала
	3. «126. Критерии допустимого (приемлемого) риска гибели людей для безопасных расстояний обосновываются в проектной документации или в обосновании безопасности ОПО СПГ исходя из условия непревышения индивидуального риска гибели персонала при авариях среднестатистических значений гибели людей в техногенных происшествиях (неестественных причин).» (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности объектов сжиженного природного газа», утверждены приказом Ростехнадзора от 26 ноября 2018 г. № 588)
Количественные	1. Индивидуальный риск гибели персонала от аварий на рассматриваемом объекте или на соседних объектах не должен превышать $1 \cdot 10^{-4}$ в год
	2. Уровень допустимого потенциального риска для населения при авариях на ОПО не должен превышать $1 \cdot 10^{-6}$ в год

С точки зрения исключения субъективизма для нормирования наиболее привлекательны количественные критерии. Такие критерии приведены в нормах ряда зарубежных стран, но, как правило, не на законодательном уровне (как в Нидерландах), а в корпоративных стандартах или иных документах рекомендательного характера. В России количественные критерии индивидуального и социального рисков установлены для расчетов пожарного риска в Федеральном законе от 22 июля 2008 г. № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и для оценки риска гибели людей в чрезвычайных ситуациях — в стандартах [16, 17], предельная частота разрушения зданий и сооружений при аварийных взрывах ($1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹) приведена в руководстве [21]. В нормативной базе в области промышленной безопасности отсутствуют критерии риска гибели людей, поэтому при необходимости на практике (как правило, при проектировании) такие критерии устанавливаются в обосновании безопасности ОПО в соответствии с [22].

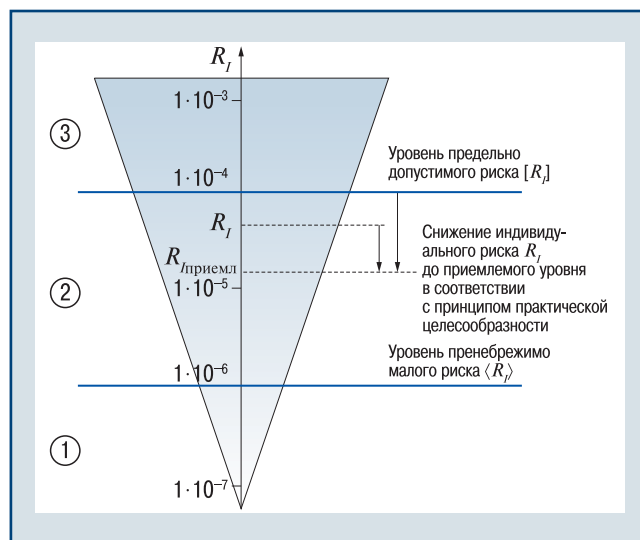
В целях обоснования предельных уровней приемлемого риска в качестве «опорной» точки обычно рассматривается фоновый уровень смертности по неестественным причинам в техногенных происшествиях (гибель в дорожно-транспортных про-

исшествиях, бытовых пожарах и пр.), который в России и промышленно развитых странах составляет $1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ [13].

Рассмотрим вопрос нормирования на примере нормирования индивидуального риска гибели человека [1, 9].

Уровни индивидуального риска

При реализации принципа ALARP выделяют три уровня индивидуального риска: пренебрежимо малый, приемлемый и недопустимый (или чрезмерный) (рис. 2, здесь 1 — область пренебрежимо малого риска; 2 — область приемлемого риска; 3 — область недопустимого (чрезмерного) риска).



▲ Рис. 2. Уровни индивидуального риска для персонала ОПО на основе принципа ALARP

▲ Fig. 2. The levels of individual risk to HPF personnel based on the principle of ALARP

1. Пренебрежимо малый индивидуальный риск — это риск, сопоставимый с другими рисками, с которыми люди сталкиваются в повседневной жизни, которые считаются несущественными (например,

риск, связанный с падением метеорита на жилой дом). В большинстве нормативов в качестве верхней границы пренебрежимо малого индивидуального риска для персонала установлена вероятность гибели $\langle R_I \rangle = 1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$. То есть $R_{I\text{пренебр}} < 1 \cdot 10^{-6}$.

2. Недопустимые (чрезмерные) риски — риски, с которыми, за исключением чрезвычайных случаев, люди не готовы мириться ни при каких выгодах от эксплуатации системы. В случае попадания индивидуальных рисков в недопустимую область эксплуатация системы считается невозможной до того момента, когда будут реализованы защитные мероприятия, позволяющие перевести риски в область приемлемых рисков. Причем снижение риска до уровня ниже $[R_I]$ должно выполняться, невзирая на стоимость защитных мероприятий.

3. Приемлемые индивидуальные риски — риски, с которыми, учитывая выгоды от эксплуатации системы, люди (или общество в целом) готовы мириться при условии, что эти риски тщательно отслеживаются и минимизируются в соответствии с соображениями практической целесообразности.

Согласно нормам большинства стран приемлемые риски лежат в диапазоне $\langle R_I \rangle = 1 \cdot 10^{-6} \leq R_{I\text{приемл}} \leq [R_I] = 1 \cdot 10^{-4}$.

В работе [12] предложена следующая формула для оценки предельно допустимого индивидуального риска:

$$[R_I] = \beta \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

где β — коэффициент, зависящий от степени добровольности, с которой человек занимается данной деятельностью, и степени его заинтересованности в результатах этой деятельности. Величина β варьируется в широких пределах:

если человек добровольно не принимает решения о том, чтобы подвергнуться риску, и не получает при этом никаких благ: $\beta \sim 0,01-0,1$;

если человек осознанно занимается опасной деятельностью, рассчитывая получить значительные блага: $\beta \sim 10-100$.

То есть практически всегда $R_{I\text{недоп}} > 1 \cdot 10^{-4}$

Управление рисками

Если рассматриваемый объект генерирует риски, попадающие в область пренебрежимых (область 1, см. рис. 2), то никаких дополнительных мер, направленных на снижение риска, предпринимать не требуется. Необходимо лишь выполнять мониторинг состояния системы, подтверждающий, что с течением времени риски не выходят за границу пренебрежимых. Если же функционирование объекта обуславливает риски, попадающие в область недопустимых (область 3, см. рис. 2), то для эксплуатации такой системы должны быть предприняты меры, направленные на снижение риска.

Регламентирование деятельности в случае, если риски эксплуатации системы попадают в область

приемлемых рисков (область 2, см. рис. 2), которую иногда в различных источниках именуют как «желтая» или «серая» зона, требует более подробного рассмотрения. Регулирование должно выполняться с учетом конкурирующих между собой групп требований, связанных с обеспечением безопасности, социальной защиты и экономической эффективности. Поэтому деятельность, которая осуществляется в области условно приемлемых рисков, должна соответствовать некоторому компромиссному принципу, предусматривающему реализацию мер, направленных на снижение рисков до уровня практической «целесообразности» $R_{I\text{приемл}}$. В этом и состоит принцип минимизации рисков с учетом практической целесообразности (принцип ALARP), который подразумевает максимально возможное снижение рисков, достигаемое за счет реально имеющихся (ограниченных) ресурсов.

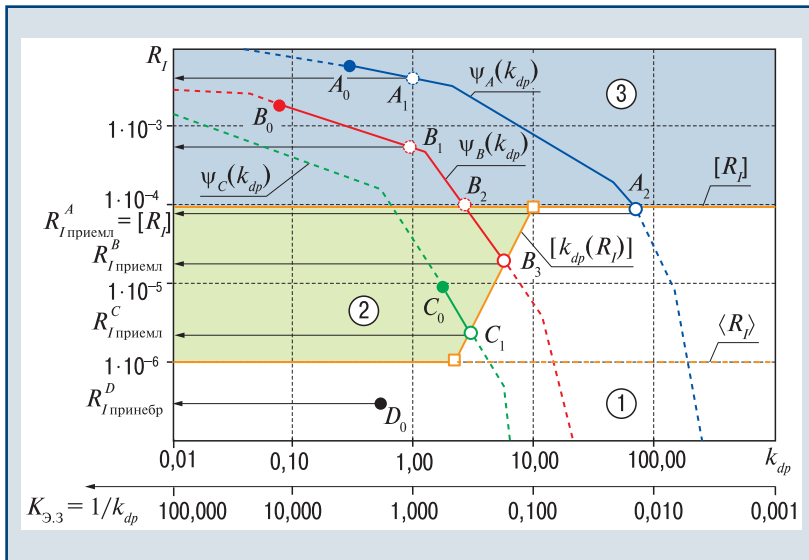
Искомый уровень $R_{I\text{приемл}}$ может определяться с учетом соотношения между расчетной величиной «стоимость защитных мероприятий, приходящаяся на спасение одной жизни» C_{SLS} (англ. Adjusted Cost Per Statistical Life Saved) и принятой в данной стране (или отрасли) нормативной величиной «стоимость человеческой жизни» (или затрат, которые государство готово нести на спасение жизни одного работника) L_c (англ. Life Cost Value): в процессе реализации программы защитных мероприятий по мере снижения риска приходится прибегать ко все более дорогостоящим решениям (рис. 3, здесь 1 — область, в которой эксплуатация системы разрешена и не требует реализации дополнительных защитных мер; 2 — область, в которой эксплуатация системы разрешена при условии ее соответствия принципу практической целесообразности; 3 — область, в которой эксплуатация системы запрещена). При этом величина C_{SLS} неуклонно возрастает и в определенный момент становится чрезмерно высокой (или непропорциональной) по сравнению со стоимостью человеческой жизни L_c .

При выработке критерия соответствия принципу практической целесообразности в качестве определяющего параметра вводят так называемый коэффициент диспропорциональности ($k_{dp} > 1$) между приведенной стоимостью усилий на спасение одного работника C_{SLS} и стоимостью человеческой жизни L_c [3, 18–20]:

$$k_{dp} = C_{\text{SLS}}/L_c, \quad (5)$$

где $C_{\text{SLS}} = (C_{pm} - B_e)/\Delta N$; C_{pm} — стоимость реализации защитных мероприятий; B_e — экономический эффект от реализации защитных мероприятий, выражающийся в снижении экономических ущербов, ожидаемых при аварии, в результате проведения защитных мероприятий:

$$B_e = \sum_{j=1}^{m_-} f_-^{(j)} U_-^{(j)} - \sum_{j=1}^{m_+} f_+^{(j)} U_+^{(j)}, \quad (6)$$



▲ Рис. 3. Траектории управления индивидуальным риском
▲ Fig. 3. Trajectories of the Individual risk management

где m_- и m_+ — число сценариев отказов до и после реализации защитных мероприятий; $f_-^{(j)}$, $f_+^{(j)}$ — вероятности реализации сценариев $S^{(j)}$ соответственно до и после реализации защитных мероприятий; $U_-^{(j)}$, $U_+^{(j)}$ — экономические ущербы, ожидаемые при сценариях $S^{(j)}$ соответственно до и после защитных мероприятий; ΔN — ожидаемое снижение числа жертв аварий после реализации защитных мероприятий:

$$\Delta N = N_- - N_+ = \sum_{j=0}^{m_-} f_-^{(j)} N_-^{(j)} - \sum_{j=0}^{m_+} f_+^{(j)} N_+^{(j)}, \quad (7)$$

где $N_-^{(j)}$, $N_+^{(j)}$ — число жертв при реализации сценариев $S^{(j)}$ соответственно до и после реализации защитных мероприятий.

В процессе управления риском по мере реализации программы защитных мероприятий дальнейшее снижение риска требует реализации все более сложных и дорогостоящих мер. При этом величина C_{SLS} и, следовательно, k_{dp} возрастают. При этом принцип практической целесообразности требует, чтобы последовательные действия, направленные на снижение риска, продолжались до того момента, когда коэффициент диспропорциональности k_{dp} не достигнет предельной линии:

$$[k_{dp}(R_I)] = aR_I + b,$$

где a , b — константы, которые определяются из условий:

$$[k_{dp}] = 10 \text{ при } R_I = [R_I] \sim \beta \cdot 10^{-4}; \quad (8)$$

$$[k_{dp}] = 3 \text{ при } R_I = \{R_I\} \sim \beta \cdot 10^{-6}. \quad (9)$$

Соответственно, можно предложить следующее условие достаточности защитных (компенсирующих)

мер безопасности в рамках принципа ALARP:

$$k_{dp} > [k_{dp}(R_I)]. \quad (10)$$

Выводы

1. Представлен подход к обоснованию приемлемого уровня индивидуального риска, основанный на сравнительном расчете экономических показателей риска аварии для различных вариантов мер безопасности с учетом их стоимости.

2. В перспективе социально-экономического развития в связи с совершенствованием существующих и появлением новых технологий обеспечения безопасности предельно допустимые и приемлемые уровни риска должны пересматриваться в сторону удовлетворения более жестких требо-

ваний безопасности. Поэтому приемлемый индивидуальный риск $R_{I\text{примем}}$ не является жестко заданной фиксированной величиной (как это общепринято), может снижаться по мере повышения надежности технологических систем, эффективности управления промышленной безопасностью опасных производственных объектов и снижения фонового (среднестатистического) риска смертности.

3. Необходимым условием для внедрения системы управления рисками на опасных производственных объектах являются повышение эффективности системы сбора и анализа данных по надежности, аварийности, мониторинга и контроля технического состояния на опасных производственных объектах, дальнейшее развитие методического обеспечения анализа риска в рамках осуществляемого в настоящее время риск-ориентированного подхода в области промышленной безопасности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 16-58-48008 ИНД_оми.

Список литературы

1. *Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности.* В 4 ч. Ч. 2. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками/ науч. редактор Н.А. Махутов. — М.: МГФ «Знание», 2006. — 752 с.
2. *Махутов Н.А., Резников Д.О.* Оценка и нормирование рисков при эксплуатации сложных технических систем// *Безопасность в техносфере.* — 2012. — Т. 1. — № 5. — С. 3–9.
3. *Махутов Н.А., Резников Д.О., Петров В.П.* Принцип практической целесообразности при нормировании индивидуального риска// *Безопасность в техносфере.* — 2012. — Т. 1. — № 6. — С. 7–12.
4. *Лисанов М.В., Сумской С.И., Швыряев А.А.* Неопределенности количественной оценки риска аварий на неф-

тегазовых объектах// Научно-технический сборник. Вести газовой науки. — 2018. — № 2 (34). — С. 125–134.

5. Резников Д.О. Способы компенсации неопределенностей при обеспечении защищенности сложных технических систем и оптимизации затрат их жизненного цикла// Проблемы машиностроения и автоматизации. — 2013. — № 3. — С. 57–64.

6. Shubinsky I., Zamyshlyayev A. Risk Management System on the Railway Transport// Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO). — IEEE, 2016. — P. 481–486. DOI: 10.1109/SMRLO.2016.84

7. Колесников Е.Ю. Количественное оценивание неопределенности техногенного риска// Проблемы анализа риска. — 2013. — Т. 10. — № 2. — С. 48–71.

8. Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Управление рисками на железнодорожном транспорте// Тр. Междунар. науч. школы «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах». — СПб, 2015. — С. 210–214.

9. Жуков И.С., Лисанов М.В., Самусева Е.А. Критерии допустимого социального риска при авариях на опасных производственных объектах// Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 5. — С. 79–86. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-5-79-86

10. Лисанов М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска// Безопасность труда в промышленности. — 2004. — № 5. — С. 11–14.

11. HSE (Health and Safety Executive). Policy and Guidance on Reducing Risks as Low as Reasonably practicable in Design. 2002. URL: <https://www.hse.gov.uk/managing/theory/alarp3.htm> (дата обращения: 10.10.2020).

12. HSE (Health and Safety Executive). Reducing Risks, Protecting People: HSE's Decision-making Process. URL: <https://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.pdf> (дата обращения: 10.10.2020).

13. Гражданкин А.И., Печёркин А.С., Николаенко О.В. Об установлении допустимых уровней риска аварии для оценки достаточности компенсирующих мероприятий в обосновании безопасности опасного производственного объекта нефтегазового комплекса// Безопасность труда в промышленности. — 2017. — № 12. — С. 51–57. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-12-51-57

14. Лисанов М.В., Буйновский С.Н. О критериях приемлемого риска аварий на опасных производственных объектах химического и нефтегазового комплекса// Безопасность труда в промышленности. — 2009. — № 3. — С. 76–78.

15. Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety. — New York: American Institute of Chemical Engineers, 1989. — 169 p.

16. ГОСТ Р 22.2.02—2015. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Оценка риска чрезвычайной ситуации при разработке проектной документации объектов капитального строительства. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124969> (дата обращения: 10.10.2020).

17. ГОСТ Р 22.10.02—2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций. URL:

<http://docs.cntd.ru/document/1200136698> (дата обращения: 10.10.2020).

18. Bowles D.S. Tolerable risk guidelines for dams: Principles and applications. URL: https://www.researchgate.net/publication/316282558_Tolerable_risk_guidelines_for_dams_principles_and_applications (дата обращения: 10.10.2020).

19. Risk analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management/ I. Escuder-Bueno, E. Matheu, L. Altarejos-García, J.T. Castillo-Rodríguez. — London: CRC Press, 2011. — 414 p.

20. Bowles D.S. ALARP evaluation: Using cost effectiveness and disproportionality to justify risk reduction. URL: https://www.osh.org.il/UploadFiles/00_alarp_tolerable_risk_theory.pdf (дата обращения: 10.10.2020).

21. Об утверждении Руководства по безопасности «Методы обоснования взрывоустойчивости зданий и сооружений при взрывах топливно-воздушных смесей на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 3 июня 2016 г. № 217. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456007106> (дата обращения: 20.10.2020).

22. Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. — Сер. 03. — Вып. 73. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2020. — 16 с.

mibbsts@mail.ru

Материал поступил в редакцию 30 октября 2020 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2020, № 12, pp. 85–89.
DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-85-89

Risk Regulation and Management Related to the Operation of Hazardous Production Facilities

N.A. Makhutov, RAS Corresponding Member, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Chief Research Associate

D.O. Reznikov, Cand. Sci. (Eng.), Lead Researcher, mibbsts@mail.ru

IMASH RAN, Moscow, Russia

M.V. Lisanov, Dr. Sci. (Eng.), the Director of Risk Analysis Center

STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russia

Abstract

The paper examines the types of uncertainties associated with operation of hazardous production facilities caused by the natural variability of the facility parameters and the limited knowledge about complex processes in the system under consideration, as well as the uncertainty of the results of quantitative risk assessment. Qualitative and quantitative criteria of tolerable (acceptable) risk adopted in various countries of the world are presented. The article considers the operation of the ALARP principle in making managerial decisions on the need to implement protective measures aimed at reducing individual risk, which allows to provide a compromise between competing requirements for ensuring safety and economic efficiency in the operation of hazardous production facilities.

In the future of socio-economic development, due to the improvement of existing and the emergence of new safety techno-

logies, the maximum allowable and acceptable levels of risk should be revised in order to meet more stringent safety requirements. Therefore, the value of tolerable individual risk in case of accidents at hazardous production facilities may not be a strictly specified value (as is generally accepted), but may decrease as the reliability of technological systems increases, the efficiency of industrial safety management increases, and the background (average) risk of mortality decreases. A necessary condition for implementing a risk management system is to improve the efficiency of the system for collecting and analyzing data on reliability, accident rate, monitoring and control of technical condition at hazardous production facilities, and further develop the methodological support for risk analysis within the framework of the currently implemented risk-oriented approach in the field of industrial safety.

Key words: safety, hazardous production facility, individual risk, risk management, tolerable risk, uncertainty.

References

- Makhutov N.A. Safety of Russia. Analysis of risk and safety problems. In 4 parts. Pt 2. Safety of civil and defense complexes and risk management. Moscow: MGF «Znanie», 2006. 752 p. (In Russ.).
- Makhutov N.A., Reznikov D.O. Assessment and Rationing of Risks Connected with Operation of Complex Technical System. *Bezopasnost v tekhnosfere = Safety in Technosphere*. 2012. Vol. 1. № 5. pp. 3–9. (In Russ.).
- Makhutov N.A., Reznikov D.O., Petrov V.P. Application of the ALARP Principle for Regulation of Individual Risk. *Bezopasnost v tekhnosfere = Safety in Technosphere*. 2012. Vol. 1. № 6. pp. 7–12. (In Russ.).
- Lisanov M.V., Sumskey S.I., Shvyryaev A.A. Uncertainties of the quantitative emergency risk assessment at oil-gas facilities. *Nauchno-tekhnicheskiy sbornik. Vesti gazovoy nauki = Scientific-Technical Collection Book «Vesti gazovoy nauki»*. 2018. № 2 (34). pp. 125–134. (In Russ.).
- Reznikov D.O. Methods for compensation of uncertainties in ensuring safety of complex technical systems and optimization of life cycle costs. *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii = Mechanical engineering and automation problems*. 2013. № 3. pp. 57–64. (In Russ.).
- Shubinsky I., Zamyshlyayev A. Risk Management System on the Railway Transport. Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO). IEEE, 2016. pp. 481–486. DOI: 10.1109/SMRLO.2016.84
- Kolesnikov E.Yu. Quantification of the technogenic risk uncertainty. *Problemy analiza riska = Issues of Risk Analysis*. 2013. Vol. 10. № 2. pp. 48–71. (In Russ.).
- Shubinsky I.B., Zamyshlyayev A.M. Risk Management in the Railway Transport. Tr. *Mezhdunar. nauch. shkoly «Modelirovaniye i analiz bezopasnosti i riska v slozhnykh sistemakh»* (Proceedings of the International scientific school «Modeling and analysis of safety and risk in the complex systems»). Saint-Petersburg, 2015. pp. 210–214. (In Russ.).
- Zhukov I.S., Lisanov M.V., Samuseva E.A. Criteria for Tolerable Social Risk in case of Accidents at Hazardous Production Facilities. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2020. № 5. pp. 79–86. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2020-5-79-86
- Lisanov M.V. On technical regulation and tolerable risk criteria. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2004. № 5. pp. 11–14. (In Russ.).
- HSE (Health and Safety Executive). Policy and Guidance on Reducing Risks as Low as Reasonably practicable in Design. 2002. Available at: <https://www.hse.gov.uk/managing/theory/alarp3.htm> (accessed: October 10, 2020).
- HSE (Health and Safety Executive). Reducing Risks, Protecting People: HSE's Decision-making Process. Available at: <https://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.pdf> (accessed: October 10, 2020).
- Grazhdankin A.I., Pecherkin A.S., Nikolaenko O.V. On the Establishment of the Tolerable Risk Levels of Accident for Assessment of Compensatory Measures Sufficiency in Substantiation of Safety of Hazardous Production Facility of Oil and Gas Complex. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2017. № 12. pp. 51–57. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2017-12-51-57
- Lisanov M.V., Buynovskiy S.N. About Accepted Risk Criteria at the Hazardous Industrial Objects of Chemical and Gas-oil Complex. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2009. № 3. pp. 76–78. (In Russ.).
- Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety. New York: American Institute of Chemical Engineers, 1989. 169 p.
- GOST R 22.2.02—2015. Safety in emergencies. Emergency risk management. Emergency risk assessment as a part of development of capital construction project documentation. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200124969> (accessed: October 10, 2020). (In Russ.).
- GOST R 22.10.02—2016. Safety in emergencies. Emergency risk management. Acceptable risk of emergency situations. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200136698> (accessed: October 10, 2020). (In Russ.).
- Bowles D.S. Tolerable risk guidelines for dams: Principles and applications. Available at: https://www.researchgate.net/publication/316282558_Tolerable_risk_guidelines_for_dams_principles_and_applications (accessed: October 10, 2020).
- Escuder-Bueno I., Matheu E., Altarejos-García L., Castillo-Rodríguez J.T. Risk analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management. London: CRC Press, 2011. 414 p.
- Bowles D.S. ALARP evaluation: Using cost effectiveness and disproportionality to justify risk reduction. Available at: https://www.osh.org.il/UploadFiles/00_alarp_tolerable_risk_theory.pdf (accessed: October 10, 2020).
- On the approval of Safety guide «Methods for substantiation of blast resistance of buildings and structures during explosions of fuel and air mixtures at hazardous production facilities»: Rostekhnadzor order № 217 of June 3, 2016. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456007106> (accessed: October 20, 2020). (In Russ.).
- General requirements for substantiation of safety of a hazardous production facility: Federal rules and regulations in the field of industrial safety. Ser. 03. Iss. 73. Moscow: ZAO NTTs PB, 2020. 16 p. (In Russ.).

Received October 30, 2020