

DOI:

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ, СВЯЗАННЫМИ С ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Резников Д.О.

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, Россия, г. Москва

М.Харитоньевский пер.д.4

mibsts@mail.ru

Аннотация: В докладе рассмотрено действие принципа практической целесообразности (принципа ALARP) при принятии управленческих решений о необходимости реализации защитных мероприятий, направленных на снижение индивидуального риска, связанного с эксплуатацией объектов повышенной опасности

Ключевые слова: управление рисками, неопределенность, безопасность, эффективность

Введение

Эксплуатация объектов повышенной опасности (ОПО) связана с хранением, переработкой и транспортировкой значительных объемов опасных энергий, веществ 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 объекта повышенной опасности в течение жизненного цикла может быть представлена как последовательность изменяющихся во времени состояний объекта. Если удастся обеспечить переход объекта из заданного начального состояния (ввод в эксплуатацию) к заданному конечному состоянию (плановый вывод из эксплуатации), то можно говорить о реализации сценария успеха. Ввиду высокого уровня неопределенности неизбежно присутствующих 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 аварийные и катастрофические сценарии, эксплуатация ОПО сопряжена со значительными рисками для населения, природной среды и объектов экономики.

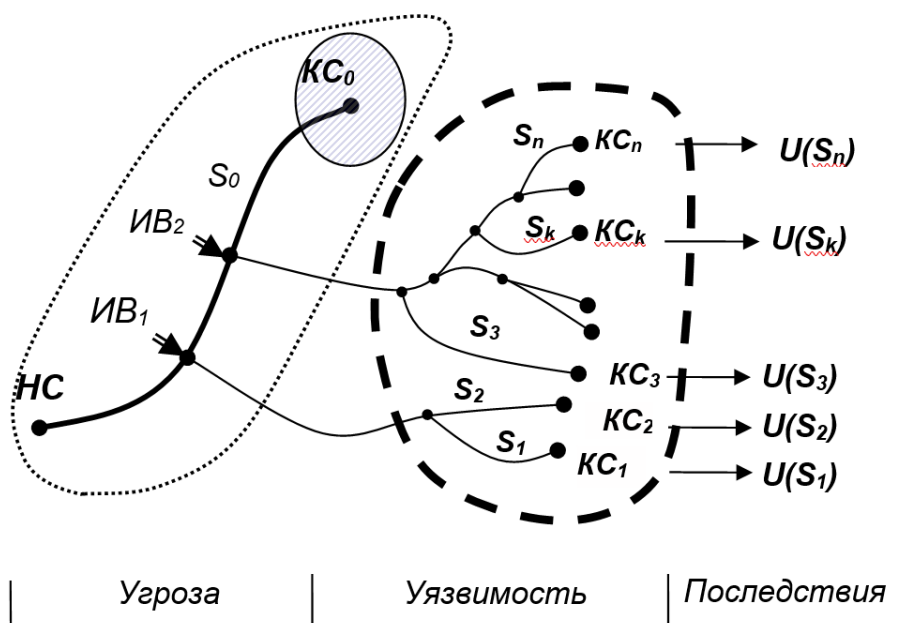


Рис. 1. Сценарная оценка ОПО

Управление ОПО предполагает осуществление специальных воздействий на систему, призванных направить ее эволюцию по запланированному сценарию (S₀) и не допустить реализацию аварийных сценариев. В тех случаях, когда критерий риска является определяющим фактором при выборе

управленческих воздействий на систему, принято говорить об управлении риском ОПО, подчеркивая этим, что управление ОПО ведется по критерию риска.

Управление риском ОПО приходится осуществлять в условиях наличия двух конкурирующих групп требований, направленных на обеспечение экономической эффективности и безопасности объекта. В этой связи могут быть предложены две стратегии управления, использующие различные параметры риска в качестве параметров управления:

1) Некоторые параметры риска используются как ограничения при решении задачи оптимизации, например может максимизироваться прибыль Π , генерируемая объектом при наличии ограничения на величину индивидуального риска $[R_i]$:

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

2) Критерии приемлемости индивидуального 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 качестве функционал, определяющий затраты жизненного цикла C_Σ рассматриваемого объекта [3, 4].

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

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

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

Другой отличительной особенностью управления риском ОПО является то, что оно осуществляется в условиях наличия высокого уровня неопределенности. При этом могут быть выделены два принципиально различные типа неопределенностей, определяющих уровень риска ОПО:

- Неопределенности, связанные с ограниченностью знаний о сложных процессах, протекающих в ОПО, и о характере взаимодействий между его элементами (неопределенности 1-го типа).
- Неопределенности, обусловленные вариативностью параметров ОПО и случайным характером воздействий на него (неопределенности 2-го типа).

В соответствии с этим выделяются два базовых направления снижения неопределенностей, формирующих основу управления риском ОПО [5]:

- Для снижения неопределенностей 1-го типа реализуются научные разработки, направленные на построение более полных и адекватных математических моделей ОПО, позволяющих более точно прогнозировать различные сценарии эволюции ОПО и исключать наиболее катастрофичные из них путем построения систем защиты.
- Для снижения неопределенностей 2-го типа осуществляется комплексный мониторинг, направленный на получение дополнительной информации об ОПО, и создаются системы штатной и аварийной диагностики, позволяющие снизить уровень неопределенности относительно текущего состояния ОПО (степени повреждения критических компонентов ОПО, наличии в них опасных дефектов и отказах отдельных компонентов ОПО, способных инициировать сценарии аварий).

Осуществление этих разработок позволяет создать научную и информационную основу принятия обоснованных управленческих решений, связанных с функционированием объектов повышенной опасности, в частности, принимать решения о возможности дальнейшей эксплуатации системы, о необходимости реализации комплекса защитных мероприятий, программы ремонтных работ, или, иными словами, управлять рисками ОПО.

Эксплуатация объектов повышенной опасности становится невозможной без проведения оценки рисков, выработки нормативных критериев приемлемости рисков и процедур снижения рисков до тех уровней, с которыми общество готово смириться ради тех благ, которые обеспечиваются данными системами. Безопасность эксплуатации объектов повышенной опасности может быть обеспечена на основе совместного применения следующих взаимно дополняющих принципов [1-4]:

- принцип MEM (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 (Globalement Au Moins Aussi Bon, фр.: 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 (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.

Оценка, нормирование и управление рисками может осуществляться по различным показателям. В соответствии с этим принято выделять индивидуальные, социальные и экономические риски:

- Под индивидуальным риском принято понимать вероятность гибели одного, заранее выбранного человека в течение одного года $R_i: P$.
- Социальный риск оценивается с помощью, так называемых, FN -кривых, представляющих собой специальным образом построенные функции распределения случайной величины N – количество жертв аварий на определенном объекте в течение одного года $R_s: P(N > n)$, где n – текущее значение величины «количество жертв».
- Экономический риск, который также описывается специальным образом построенной функцией распределения случайной величины U – экономический ущерб от аварий на рассматриваемом объекте в течение года $R_e: P(U > u) R_e: P(U > u)$, где u – текущее значение величины «экономический ущерб». В англоязычной литературе они получили название FD -кривых.

Осознание невозможности реализации концепции абсолютной безопасности (нулевого риска) обусловило переход к концепции приемлемого риска, суть которой состоит в том, что риск не может быть полностью исключен, но может быть снижен до приемлемого уровня, с которым государство и общество на данном этапе развития готовы смириться. В настоящее время данная концепция лежит в основе практически всех программ управления риском. 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 $\langle R \rangle$, которым на данном этапе развития экономики, государство считает возможным пренебречь.

2 Нормирование рисков

Нормирование риска является ключевым элементом процессов управления риском и принятия решений, касающихся реализации защитных мероприятий и возможности дальнейшего функционирования объекта. При этом нормирование может осуществляться:

- по вероятности (например, может быть установлена предельная вероятность гибели человека при аварии);
- по последствиям (например, недопустимыми могут быть ущербы, превышающие определенную величину);
- по комбинированным показателям (например, по произведению вероятности на последствия).

Выбор предельно допустимого уровня зависит от многих факторов, в частности: от наличия технологий снижения риска, характера требований и ограничений со стороны надзорных органов, отношения к риску общества в целом и конкретных лиц, принимающих решения.

Нормативное значение предельно допустимого риска должно быть, с одной стороны, достаточно низким, чтобы не вызывать беспокойства людей, которые подвергаются ему, и обеспечивать приемлемую безопасность общества. С другой стороны, оно должно быть технически возможным и не препятствовать экономическому развитию из-за чрезмерно высоких затрат, необходимых для снижения риска до предписанного уровня. Компромисс между этими двумя конфликтующими требованиями зависит от уровня технологического, социального и экономического развития общества и достигается в процессе согласования интересов различных сторон.

Рассмотрим вопрос нормирования на примере нормирования индивидуальных рисков. При оценке индивидуального риска учитывается возможность гибели человека при всех возможных сценариях отказа системы, причем различаются только два состояния человека: «жив» (последствия равны 0), «мертв» (последствия равны 1). В этой постановке величина последствий не будет входить в выражение для данного индекса риска.

Таким образом, индекс индивидуального риска определяется вероятностью гибели в течение года, в результате аварии в рассматриваемой системе одного выбранного заранее человека (например, оператора, представителя персонала или лица, проживающего на сопредельной территории) [1].

Принято разделять средний индивидуальный риск для персонала обслуживающего систему (или населения прилегающих территорий) и максимальный индивидуальный риск для человека (оператора), который в наибольшей степени подвержен действию опасных факторов системы.

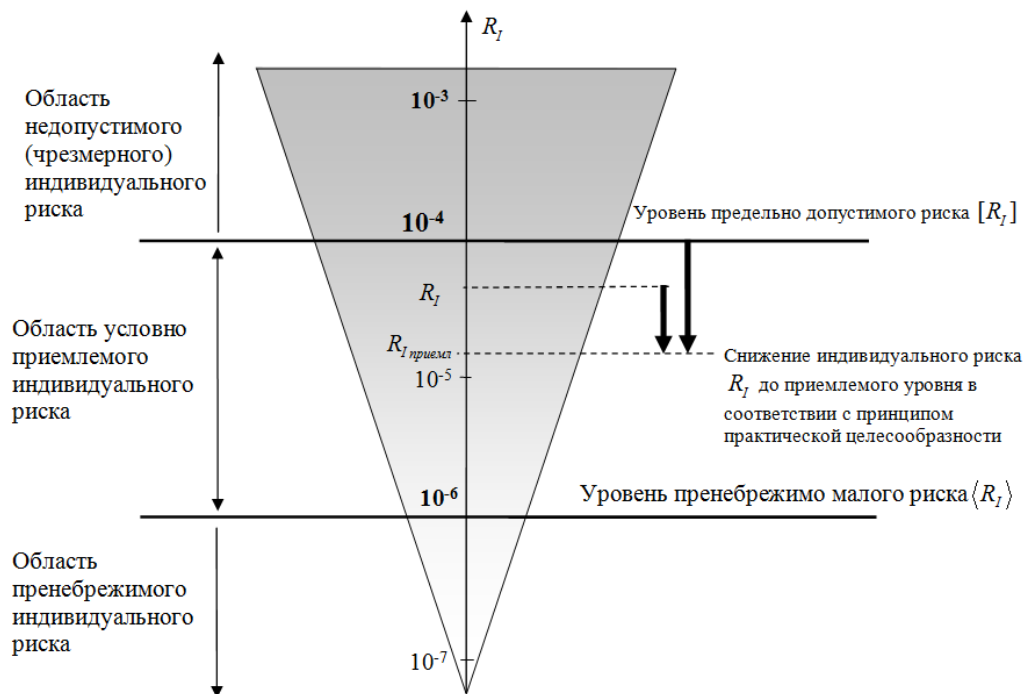


Рис. 1. Уровни индивидуального риска

Уровни индивидуального риска

Далее встает вопрос об отнесении индивидуального риска, связанного с функционированием рассматриваемой системы, к различным уровням: Обычно выделяют три уровня индивидуального риска (рис.1): пренебрежимо малый, приемлемый и недопустимый (или чрезмерный) риски.

1) Пренебрежимо малый индивидуальный риск – это риск, сопоставимый с другими рисками, с которыми люди сталкиваются в повседневной жизни и, которые считаются несущественными (например, риск, связанный с падением метеорита на жилой дом). Предельная величина (верхняя граница) пренебрежимо малого риска определяется нормативной базой страны, исходя из уровня ее экономического развития, культуры безопасности и отношения к человеческой жизни. В экономических развитых странах в качестве верхней границы пренебрежимо малого индивидуального риска установлена вероятность гибели человека $\langle R_I \rangle = 10^{-6}$ в год (1 на млн.). То есть, $R_{I\text{пренебр}} < 10^{-6}$ [5-8]. В случае, если индивидуальный риск, связанный с эксплуатацией системы, попадает в область пренебрежимо малых рисков, законодатель не требует принятия каких-либо дополнительных мер, направленных на дальнейшее снижение рисков. Эксплуатация системы с таким низким уровнем риска может быть продолжена без каких-либо дополнительных усилий, направленных на снижение обусловленного ею риска. Соответственно считается, что эксплуатация технической системы с таким уровнем риска может не контролироваться органами технического надзора.

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 осуществляться, 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 [5-8] приемлемые риски лежат в диапазоне $\langle R_I \rangle = 10^{-6} \leq R_{I\text{ приемл}} \leq [R_I] = 10^{-4}$.

Установление конкретного численного значения предельно допустимого индивидуального риска $[R_I]$ является принципиальным, социально значимым вопросом. Очевидно, что его решение входит в компетенцию политического руководства страны и основывается на стремлении установить конкретное численное значение для величины $[R_I]$ на таком низком уровне, какой технически достижим. Однако при этом необходимо учитывать, что такое стремление связано с очень большими экономическими затратами на снижение риска, которые в конечном итоге, как правило, ведут к нерентабельности самой хозяйственной деятельности. В силу этого, при установлении конкретного численного значения для предельно допустимого индивидуального риска, отдавая приоритет социальным аспектам проблемы, необходимо учитывать и уровень экономического развития страны. Принимаемое конкретное значение $[R_I]$ должно соответствовать социальным требованиям и в то же время не может становиться запретительным барьером (накладывать чрезмерные ограничения) для осуществления хозяйственной деятельности, обеспечения эффективности и дальнейшего развития экономики страны. Более высокий уровень экономического и технологического развития позволяет установить более низкие значения для предельно допустимого индивидуального риска.

В работе [8] была предложена следующая формула для оценки предельно допустимого индивидуального риска:

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

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

- если человек не принимает добровольно 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: $\beta \sim 10 - 100$.

Британскими нормами [5-8] в качестве предельно допустимого индивидуального риска установлена вероятность гибели человека $[R_I] = 10^{-4}$ в год (1 на 10 тыс.). То есть $R_{I\text{ недоп}} > 10^{-4}$.

3 Управление рисками

Если рассматриваемый объект генерирует риски, попадающие в область пренебрежимых, то никаких специальных мер, направленных на снижение риска предпринимать не требуется. Необходимо лишь осуществлять мониторинг состояния системы, подтверждающий, что с течением времени риски не выходят за границу пренебрежимых. Если же функционирование объекта обуславливает риски, попадающие в область недопустимых, то регулярная деятельность такой системы должна быть немедленно прекращена и должны быть предприняты срочные меры, направленные на снижение риска.

Регламентирование деятельности в случае, если риски эксплуатации системы попадают в область приемлемых рисков, требует более подробного рассмотрения. Регулирование должно осуществляться с учетом двух конкурирующих между собой групп требований, связанных с обеспечением безопасности и экономической эффективности. Очевидно, что вследствие ограниченности ресурсов и несовершенства существующих технологий, бесконечное снижение величины индивидуального риска практически невозможно и привело бы к тому, что любая хозяйственная деятельность стала бы нерентабельной. Поэтому согласно принятым нормам деятельность, которая осуществляется в области условно приемлемых рисков, должна соответствовать некоторому компромиссному принципу, предусматривающему реализацию мер, направленных на снижение рисков до уровня практической целесообразности, который также называют уровнем приемлемого риска $R_{I\text{ приемл}}$. Таким образом, если риски, связанные с эксплуатацией технической системы, попадают в область условно приемлемых, организация, эксплуатирующая эту систему, должна принять для снижения риска такие меры, которые считаются целесообразными с практической точки зрения. Здесь под «целесообразными», подразумевается меры, реализация которых не требует неоправданно высоких затрат или

необоснованно больших усилий. 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.

Согласно принципу ALARP риски, попадающие в область условно приемлемых должны снижаться до приемлемого уровня практической целесообразности R_l приемл. Искомый уровень R_l приемл определяется 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, которую 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. При этом величина C_{SLS} неуклонно возрастает и в определенный момент становится чрезмерно высокой (или непропорциональной) по сравнению величиной 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, 9, 10].

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

где $C_{SLS} = (C_{pm} - B_e) / \Delta N$, 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:

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

где m_- и m_+ - количество сценариев отказов до и после реализации защитных мероприятий, $f_-^{(j)}$ и $f_+^{(j)}$ - вероятности реализации сценариев $S^{(j)}$ до и после реализации защитных мероприятий, $U_-^{(j)}$ и $U_+^{(j)}$ - экономические ущербы, ожидаемые при сценариях $S^{(j)}$ до и после защитных мероприятий.

ΔN - ожидаемое снижение количества жертв аварий после реализации защитных мероприятий.

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

здесь $N_-^{(j)}$ и $N_+^{(j)}$ - количество 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:

$$K_{lim}(R_l) = a \cdot R_l + b$$

где a и b константы, которые определяются из условий (8) и (9)

$$(8) \quad K_{lim} = 10 \quad \text{при } R_l = [R_l] \sim \beta \cdot 10^{-4} ; ;$$

$$(9) \quad K_{lim} = 3 \quad \text{при } R_l = \{R_l\} \sim \beta \cdot 10^{-6} ; ;$$

Таким образом, принцип ALARP определяет следующее условие для прекращения реализации защитных мер:

$$(10) \quad k_{dp} > K_{lim}(R_l).$$

Таким образом, в случае если индивидуальный риск, связанный с эксплуатацией технической системы, попадает в область приемлемых рисков, то для получения разрешения на дальнейшую эксплуатацию системы необходимо выполнить ряд требований:

- Источники и величина риска, а также различные варианты реализации защитных мер должны быть внимательно оценены.

- Риски должны быть снижены до уровня практической целесообразности за счет реально имеющихся (ограниченных) ресурсов в соответствии с принципом практической целесообразности.
- По мере совершенствования существующих и появления новых защитных технологий практически целесообразный уровень приемлемого риска должен пересматриваться в сторону удовлетворения более жестким нормам безопасности. Поэтому величина приемлемого индивидуального риска $R_{I \text{ приемл}}$ для рассматриваемой системы не является жестко заданной фиксированной величиной, она должна снижаться по мере появления новых возможностей и средств обеспечения безопасности. Отсюда следует, что удовлетворение принципу практической целесообразности является не однократным мероприятием, а длительным процессом, который осуществляется в течение всего срока эксплуатации технической системы.

Эта работа была выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований, грант № 16-29-09575 офи_м

Литература

1. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Резников Д.О. и др. Безопасность России. Анализ риска и проблемы безопасности. Часть 2. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками. – М.: МГФ «Знание», 2006. – 434 с.
2. Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка и нормирование рисков при эксплуатации сложных технических систем//Безопасность в техносфере. 2012. № 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. № 6. С. 7-12.
4. Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Управление рисками на железнодорожном транспорте. Труды международной научной школы Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах. 2015. С. 210-214.
5. HSE (Health and Safety Executive). Assessing Compliance with the Law in Individual Cases and the Use of Good Practice. 2002. (<http://www.hse.gov.uk/dst/alarp2.htm>).
6. HSE (Health and Safety Executive). Policy and Guidance on Reducing Risks as Low as Reasonably in Design. 2002. (www.hse.gov.uk/dst/alarp3.htm).
7. HSE (Health and Safety Executive). Principles and Guidelines to Assist HSE in its Judgments that Duty Holders. Have Risk as Low as Reasonable Practicable. 2002. (<http://www.hse.gov.uk/dst/alarp1.htm>).
8. HSE. – “Reducing Risks, Protecting People: HSE’s Decision-making Process. Risk Assessment Policy Unit, Health and Safety Executive.” HSE Books, Her Majesty’s Stationery Office, London, UK, 2001.
9. Bowles D.S. – Tolerable risk guidelines for dams: Principles and applications. Risk analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management- Escuder-Bueno et al. (eds). Taylor & Francis Group. London. 2011.
10. Bowles, D.S. ALARP evaluation: Using cost effectiveness and disproportionality to justify risk reduction. ANCOLD Bulletin 127:89106. 2004.