

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ И УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ

Член-корреспондент РАН Махутов Н.А., д.т.н. Ахметханов Р.С.
Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН

В статье рассмотрен системный подход к анализу и управлению рисками. Для этого используется система обобщенных соотношений, описывающих риски систем «человек - технический объект – среда» и проводится анализ рисков с использованием матричных выражений для риска, вероятности возникновения аварии и возможного ущерба. Это позволяет наглядно отразить системные, общие и интегральные особенности риска и облегчить процессы анализа и управления ими. Основным критерием управления безопасностью является снижение рисков при оптимальном использовании материальных и финансовых средств.

Ключевые слова: риск, вероятность, ущерб, управление риском, финансовые и материальные затраты

A SYSTEMATIC APPROACH TO RISK EVALUATION AND MANAGEMENT

N.A. Makhutov, Akhmethanov R.S.

This article describes a system approach to the analysis and management of risks. For this is used the system of generalized relations, describing the risks systems «man - technical object - environment» and a risk analysis with the use of matrix expressions for the risk, the probability of accidents and damage. This allows you to clearly reflect the system, general and integrated features of the risk and of facilitating the processes of analysis and management. The main criterion of the safety management is the reduction of risks in the optimal use of material and financial resources.

Key words: risk, the probability of damage, risk management, financial and material costs

При оценке рисков в техногенной сфере, как правило, используются дискретные модели. Обычно риск R определяется вероятностью возникновения аварийной ситуации P и возможным ущербом U [1-6]

$$R = P \cdot U. \quad (1)$$

В случае, когда риск R рассматривается для n -го числа возможных аварийных ситуаций, то выражение для определения риска будет следующим

$$R = \sum P_i U_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Величины вероятности P и ущерба U определяются параметрами системы, ее текущим состоянием, происходящими технологическими и управляющими процессами, которые связаны с потоками в системе энергии E , вещества W и информации I .

Обобщенная система определяющих соотношений для анализа и управления рисками в сложных системах $R_i(t)$ для момента времени t может быть описана в форме [2]

$$\begin{aligned} R_i(t) &= F \{P_i(t), U_i(t)\}, \\ P_i(t) &= F_P \{P_N(t), P_T(t), P_S(t)\}, \\ U_i(t) &= F_U \{U_N(t), U_T(t), U_S(t)\}, \\ R_i(t) &= F_R \{R_N(t), R_T(t), R_S(t)\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $P_i(t)$, $U_i(t)$ – интегральные (суммарные) вероятности и ущербы для момента времени t ;

$P_N(t), P_T(t), P_S(t)$ - вероятности возникновения в момент времени t неблагоприятных (опасных) событий, обусловленные человеческим фактором, технической системой и внешней средой соответственно;

$U_N(t), U_T(t), U_S(t)$ - ущербы, наносимые неблагоприятными (опасными) событиями в момент времени t человеку, техническому объекту и внешней среде соответственно.

Приведенная система отношений представляет собой обобщенную модель риска для системы «человек - технический объект-среда».

При оценке рисков рассматриваются опасные процессы и вредные вещества, действующие на технические объекты, население и окружающую среду. Под *опасностью* понимаются явления, процессы, действия или условия, чреватые наличием некоторого потенциала (как правило, это энергия, вещество или информация), который может нанести ущерб здоровью людей, привести к их гибели, нанести ущерб окружающей среде, привести к потере сохранности материальных объектов.

Изучение физических процессов, которые приводят к изменению показателей качества, состоянию технических объектов и их элементов, наиболее полно можно провести лишь в рамках системного подхода при анализе системы «человек - машина - среда», учитывающей все особенности техногенных аварий и катастроф. В основе системного подхода при изучении сложных систем лежат системные принципы, к которым относятся: целостность, структурность, взаимозависимость системы и среды, иерархичность, множественность описания каждой системы и др.[7].

Целостность — принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов и не выводимость свойств системы из свойств составляющих ее элементов, так как свойства объекта как целостной системы определяются не столько суммированием свойств его отдельных элементов, а только свойствами его структуры.

Взаимозависимость системы и среды состоит в том, что система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия со средой, являясь при этом ведущим компонентом этого взаимодействия. В системе «человек - машина – среда» важным компонентом этих взаимодействий является человек, и эффективность функционирования системы во многом определяется его квалификацией и исполнительностью, которые оказывают большое влияние на надежность и безопасность технических систем, в особенности опасных производственных (ОПО) и критически важных (КВО) объектов.

Множественность описания каждой системы состоит в том, что вследствие сложности системы ее адекватное познание требует построения множества различных сценариев и моделей, каждая из которых описывает лишь определенный аспект функционирования системы.

С учетом системного подхода, источников и реципиентов техногенной ЧС сценарии возникновения и развития ЧС могут быть разделены на несколько типов. Например, рассматривая природно-техногенно-социальную (ПТС) систему, обычно используют укрупненную общую классификацию опасностей и рисков. В этом случае рассматривается взаимодействие сфер - природной, техногенной и социальной. Например, если ЧС возникла в природной сфере, то природная ЧС инициирует ЧС техногенного характера, которая взаимодействует с социальной сферой. В ответ на действия ЧС природного и техногенного характера социальная сфера воздействует на природную сферу.

Исходя из классификации опасностей и рисков по источникам их возникновения и поражаемым объектам, можно для техногенной сферы выделить следующие типы сценариев техногенных катастроф: природно-техногенный, социо-техногенный, техно-природный, техно-социальный и техногенный. Каждый из приведенных типов отличается пространственно-временными особенностями, инициирующими и опасными факторам, рассматриваемых с точки отношения их к источникам или реципиентам.

Рассмотрим обобщенную поверхность риска (рис. 1) построенную по выражению (1). При построении этой поверхности вероятность аварии P рассматривается в диапазоне от 0 до 1,0. А ущерб U от 0 до ущербов катастроф планетарного типа. Вводя фиксированные значения рисков, получим линии равного риска. Риски определенного уровня возможны при различных значениях вероятностей P и ущербов U возможных аварий и катастроф.

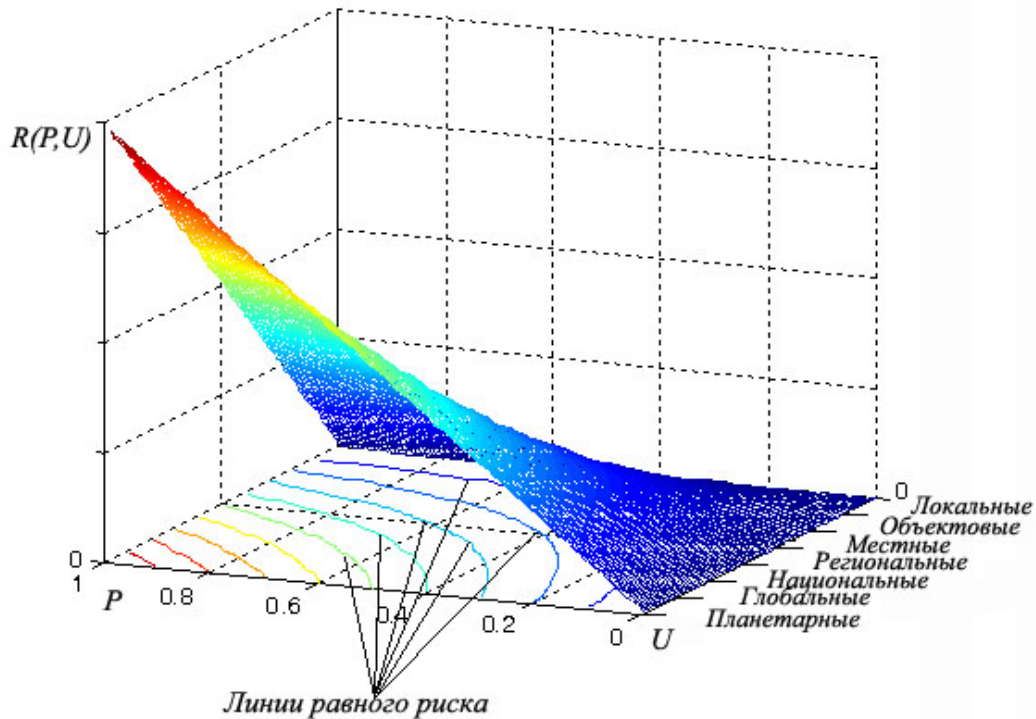


Рис. 1. Обобщенная поверхность риска $R(P,U)$

Существуют ситуации, когда риски для различных объектов или процессов могут быть равны. Но восприятие их людьми может быть различным. Наиболее значимыми рисками считаются обычно те, которые происходят редко, но с большими ущербами. А те, которые происходят часто, но с малыми ущербами не воспринимаются населением, как правило, серьезно. С точки зрения управления рисками это неверно. Управление должно производиться для всех видов риска без учета их восприятия обществом с учетом необходимых оптимальных затрат на их снижение. Рассмотрим различные варианты распределения характеристик риска на плоскости $P0U$. Часто при анализе рисков приводятся зависимости, связывающие между собой вероятности и ущербы. На рис. 2 приведен такой пример. Пусть имеется зависимость $R=f(P,U)$, для которой можно построить линию, связывающую независимые величины P и U ($P=f(U)$ или $U=f(P)$). В этом случае риск определяется интегралом по линии L , лежащей на плоскости UOP

$$R = \int_L f(U,P) ds. \quad (4)$$

Для определения данного интеграла следует представить линию $L(A, B)$ в параметрической форме $U=u(t)$, $P=p(t)$, где t отлично от длины дуги s . Но s можно считать функцией от t , причем непрерывно дифференцируемой в интервале $[t_{1(A)}, t_{2(B)}]$. Деля в интеграле подстановку $ds = \sqrt{u'^2(t) + p'^2(t)} dt$, получим следующее выражение

$$R = \int_L f(U,P) ds = \int_{t_1}^{t_2} f[p(t), u(t)] \sqrt{u'^2(t) + p'^2(t)} dt \quad (5)$$

В случае, когда аварийные и катастрофические ситуации могут распределяться с различной плотностью $f(s)$ на линии L , выражение для определения интегрального риска будет следующим

$$R = \int_L f(U, P) f(s) ds. \quad (6)$$

Среднее значение риска определится величиной

$$R = (\int_L f(U, P) f(s) ds) / M, \quad (7)$$

где $M = |L_{f(s)}| = \int_L f(s) ds$ – общее число рассматриваемых аварий на L . Характер распределения плотности аварийных и катастрофических ситуаций $f(s)$ может иметь унимодальный или полимодальный характер. При управлении рисками следует учитывать и этот фактор.

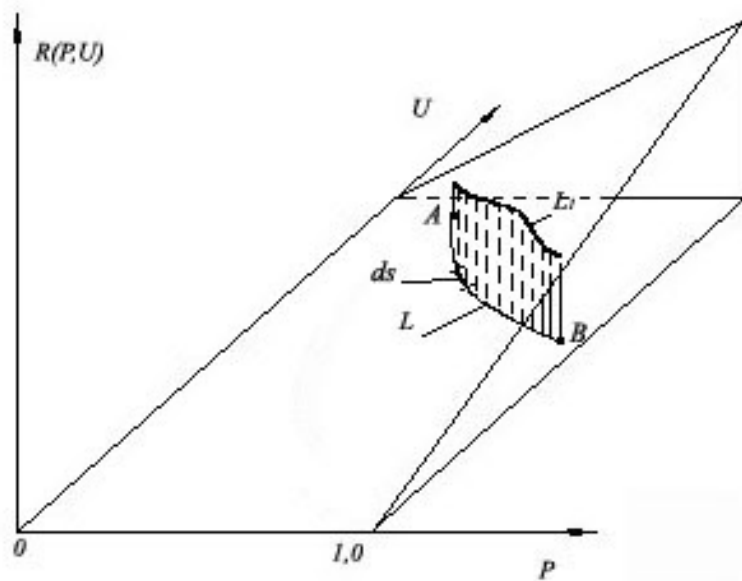


Рис.2. Определение интегрального риска по линии $L(P, U)$

В случае, когда аварии и катастрофы заполняют некоторую область S , то интегральная оценка риска определяется следующим значением

$$R(S) = \iint_S f(P, U) d\sigma. \quad (8)$$

Также в данном выражении можно учесть плотность заполнения области S авариями и катастрофами $f(S)$, то выражение (8) примет следующий вид

$$R(S) = \iint_S f(S) f(P, U) d\sigma \quad (9)$$

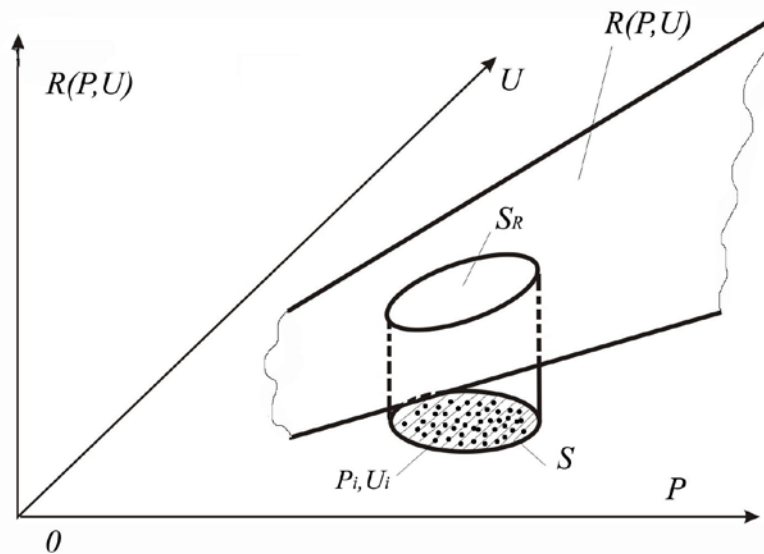


Рис.3. Определение интегрального риска для области S : S_R – область на поверхности риска $R=f(P,U)$

Из приведенных выше представлений следует вывод о необходимости уменьшения числа возможных аварий, т.е. уменьшения длины линии L и площади области S , а также их смещение в сторону меньших значений характеристик риска - вероятности P и ущерба U . Иллюстрация приведена на рис.4.

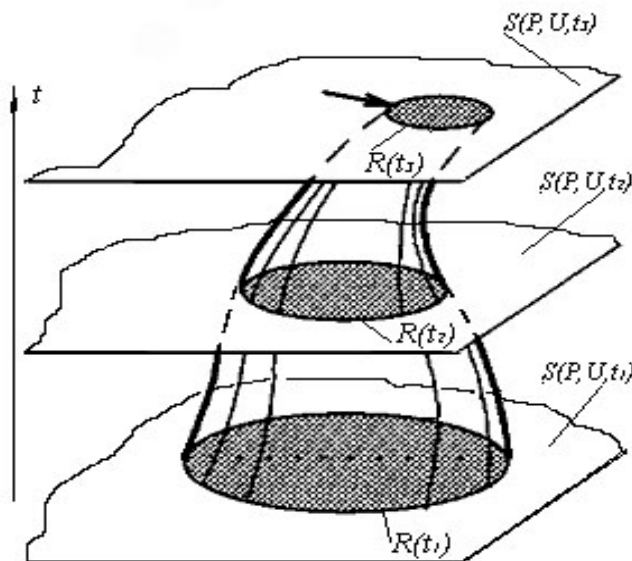


Рис.4. Управление рисками - снижение риска: $R(t_1) \rightarrow R(t_2) \rightarrow R(t_3)$

Для оптимального управления рисками следует учитывать системные свойства объектов и системные свойства рисков. Многие другие сложные и ответственные инженерные сооружения, являются сложными природно-техническими системами (ПТС), относящимися с точки зрения современной теории систем к классу сложных систем.

Характерными особенностями таких систем, как известно, являются:

- большое число подсистем и элементов со сложными связями, достаточно полная формализация которых связана со значительными трудностями;
- непостоянство структуры и функций объекта;
- многокритериальность задачи, а зачастую и нечеткое значение самих критериев целесообразности (экономичности, надежности, безопасности и др.);
- неполнота и недостоверность исходной информации;
- существенная роль людей, принимающих решения на всех этапах функционирования объекта.

Чтобы обеспечить безопасность по критериям приемлемых $[R(t)]$ надо внимательно следить за изменением системных свойств объектов безопасности.

Часто наиболее серьезные угрозы безопасности находятся на системном уровне. Разумеется, можно ценой больших затрат $Z(t)$ повысить надежность отдельных элементов, приборов, структур, однако часто это не снижает риски $R(t)$ и не повышает существенно безопасность объекта и комплекса в целом. Ответ на возникшую угрозу должен быть комплексным и системным.

Поскольку анализ рисков $R(t)$ связан либо с эффектами, возникающими в сложных системах, либо с ответом на них, который дает сложная многоэлементная система, естественно воспользоваться методами синергетики (теория совместного действия) или нелинейной динамики.

Как отмечалось ранее, системные свойства связаны с тем, что у сложной системы, у целого, могут появиться свойства, которыми не обладают части [7]. В нынешнем, быстро развивающемся мире создаются и уничтожаются сотни и тысячи новых причинно-следственных связей, а с ними появляются и новые риски $R(t)$. Длинная цепь таких связей может привести к тому, что объект начинает вести себя парадоксальным образом, не определяемым на основе анализа отдельных элементов. Для этого требуется междисциплинарный подход к оценкам рисков $R(t)$ и $[R(t)]$, разработка которого должна основываться на совместных, кооперативных усилиях специалистов в области управления, кибернетики, технологий и других научных дисциплин. Этот подход должен изучать возникновение новых свойств у сложной системы, состоящей из взаимодействующих элементов, которыми отдельные элементы не обладают.

Сложность системы требует на начальном этапе рассматривать ее на приближенных моделях, учитывающих несколько укрупненных подсистем и связи между ними. В этом случае техническую систему можно представить системой, состоящей из трех основных подсистем: внешняя среда, технический объект и человек. Представление системы, состоящей из подсистем, является важным методологическим аспектом решения задачи анализа взаимодействий между подсистемами, определяющих синергетические, кумулятивные эффекты аварий и техногенных катастроф. А в указанных подсистемах могут быть рассмотрены свои подсистемы со своими внутренними и внешними воздействиями, изменениями параметров и т.д.. На рис. 5 приведено схематически на плоскости POU взаимодействие подсистем четырех, их связанность (темные области). Светлые области, где риск определяется только самой подсистемой. Связанность подсистем может быть по значениям вероятностей P_i и ущербов U_i .

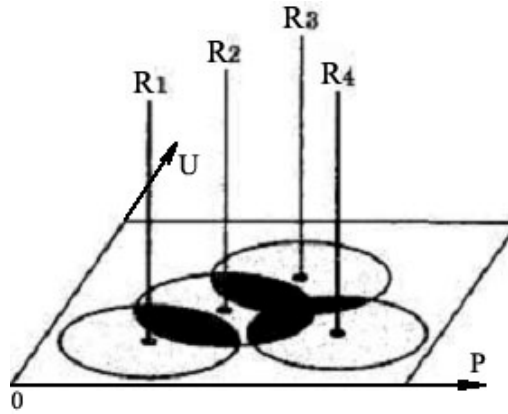


Рис. 5. Иллюстрация связанности рисков для подсистем

Оценка риска с учетом системных свойств может быть реализована с помощью матриц, т.е. риски представить в виде матричных выражений. При этом эти матрицы, как правило, не являются симметричными.

При рассмотрении системы, составленной из подсистем, матрица рисков представляется состоящей из диагональных и внедиагональных блоков. Диагональные элементы матрицы рисков характеризуют возможные потери данной подсистемы при возникновении ЧС в ней. Внедиагональные элементы, характеризующие связанность подсистем по критерию риска (вероятности, ущерба), описывают синергетическое развитие ЧС и ее распространение по системе.

$$R=P \times U = \begin{vmatrix} P_{11}U_{11} & \dots & P_{1i}U_{1i} & \dots & P_{1i}U_{1i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1}U_{1i} & \dots & P_{ii}U_{ii} & \dots & P_{ii}U_{ii} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{li}U_{li} & \dots & P_{li}U_{li} & \dots & P_{nn}U_{nn} \end{vmatrix} \quad (10)$$

Где P , U – матрицы вероятности и ущерба. Умножение матриц поэлементное. В случае учета времени t выражение будет следующим

$$R(t)=P(t) \times U(t) = \begin{vmatrix} P_{11}(t)U_{11}(t) & \dots & P_{1i}(t)U_{1i}(t) & \dots & P_{1i}(t)U_{1i}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1}(t)U_{1i}(t) & \dots & P_{ii}(t)U_{ii}(t) & \dots & P_{ii}(t)U_{ii}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{li}(t)U_{li}(t) & \dots & P_{li}(t)U_{li}(t) & \dots & P_{nn}(t)U_{nn}(t) \end{vmatrix} \quad (11)$$

Данное представление позволяет проводить анализ структуры взаимодействий в системе при возникновении ЧС, которые могут быть представлены в виде функций зависящих от времени t . Матричная структура описания риска позволяет моделировать сценарии, при этом вводя и обратные связи (воздействия) между подсистемами.

Интегральный риск определяется следующим выражением

$$R=\sum_i \sum_j P_{ij}U_{ij}, \quad i=1, \dots, n; \quad j=1, \dots, n. \quad (12)$$

Диагональные элементы R_{ii} определяют риски отдельных подсистем, внедиагональные элементы R_{ij} и R_{ji} ($i \neq j$) связанность подсистем. Эти элементы характеризуют некоторым образом и возможные сценарии развития аварий с одной подсистемы с охватом и других подсистем. Условие $R_{ij}=R_{ji}=0$, ($i \neq j$) является условием

несвязанности подсистем по риску. Условие $R_{ij}=R_{ji}=0$, ($i \neq j$) для всех подсистем обозначает несвязанность и изолированность всех подсистем между собой.

При рассмотрении системы, составленной из подсистем, матрица ущербов представляется состоящей из диагональных и внедиагональных блоков. Диагональные элементы матрицы ущербов характеризуют возможные потери данного элемента системы при возникновении ЧС в данном элементе. Внедиагональные элементы, характеризующие связность элементов системы по критерию ущерба, описывают синергетическое развитие ЧС и ее распространение на систему. Данная матрица строится на основании оценки возможных максимальных ущербов элементов (подсистем) системы. При этом учитываются все виды ущербов. Вероятность возникновения ЧС при таком системном подходе характеризуется матрицей вероятности возникновения ЧС, содержащей вероятностные оценки воздействия ЧС на элементы системы в соответствии со сценарием развития ЧС. Зависимость риска от степени защищенности элементов системы, их пространственного распределения относительно зоны возникновения ЧС оценивается матрицей уязвимости системы от ЧС, содержащей характеристики уязвимости элементов системы.

При системном подходе можно разрабатывать критерии для классификации систем, учитывающие их системные особенности. Такое представление более удобное для принятия решений при управлении безопасностью систем по критерию риска, позволяющие принимать как решения локальные, так и системные решения.

Таким образом, для сложных систем, состоящих из множества подсистем n , снижение рисков требует выполнения требований по изоляции подсистем и снижению их риска. Для этого введем оценку связанности подсистем по риску

$$\alpha_{Rij} = (\sum_k \sum_l P^{kl}_{ij} U^{kl}_{ij} + \sum_k \sum_l P^{kl}_{ji} U^{kl}_{ji}) / (\sum_k \sum_k P^{kk}_{ii} U^{kk}_{ii} + \sum_l \sum_l P^{ll}_{jj} U^{ll}_{jj}), \quad (13)$$

$$i=1, \dots, n; j=1, \dots, n; k=1, \dots, m_i; l=1, \dots, m_j.$$

где n – число подсистем, m_i – размерность блока, описывающего риск i -ой подсистемы, m_j – размерность блока, описывающего риск j -ой подсистемы

Также введем оценку связанности по вероятности

$$\alpha_{Pij} = (\sum_k \sum_l P^{kl}_{ij} + \sum_k \sum_l P^{kl}_{ji}) / (\sum_k \sum_k P^{kk}_{ii} + \sum_l \sum_l P^{ll}_{jj}), \quad (14)$$

$$i=1, \dots, n; j=1, \dots, n; k=1, \dots, m_i; l=1, \dots, m_j.$$

Введем оценку связанности по ущербу

$$\alpha_{Uij} = (\sum_k \sum_l U^{kl}_{ij} + \sum_k \sum_l U^{kl}_{ji}) / (\sum_k \sum_k U^{kk}_{ii} + \sum_l \sum_l U^{ll}_{jj}), \quad (15)$$

$$i=1, \dots, n; j=1, \dots, n; k=1, \dots, m_i; l=1, \dots, m_j.$$

При описании риска в динамике эти показатели будут переменными по времени. В данной формулировке риска удобно строить схематичные представления динамики возникновения и развития аварии. В этом случае матрица P играет роль иницирующей матрицы, по которой строится непрерывный или дискретный алгоритм имитационной модели.

С учетом функции риска в виде $R=f(X)$ полный дифференциал dR будет иметь вид

$$dR = \left(\frac{\partial R}{\partial X_1}\right)dX_1 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial X_{i1}}\right)dX_{i1} + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial X_n}\right)dX_n + \frac{\partial R}{\partial t} dt, \quad (16)$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

где X – параметры системы. Учет в выражении полного дифференциала члена $\frac{\partial R}{\partial t} dt$ диктуется

тем обстоятельством, что риск R зависит и от времени эксплуатации технического объекта. Как правило, со временем уровень риска в неуправляемой системе возрастает. Члены дифференциала $\frac{\partial R}{\partial X_i}$ определяют зависимость риска от изменений параметров системы (локальные и системные

параметры). Величины частных производных по параметрам системы X позволяют определить направление управляемого движения системы к минимальному риску. При учете финансовых

издержек Z_i в выражение (16) вводятся члены, определяющие их влияние на снижение риска. Тогда риск можно выразить следующей функцией

$$R(t) = f(X, X(Z), Z, t), \quad (17)$$

где X – параметры системы, определяющие уровень риска в системе и не требующие финансового и материального обеспечения, $X(Z)$ – параметры системы, определяющие уровень риска в системе и требующие финансовых и материальных затрат на снижение риска, Z – финансовые и материальные затраты на управление рисками. Тогда имеем следующее выражение для dR

$$dR = \sum_1^n \left(\frac{\partial R}{\partial X_i} \right) dX_i + \sum_1^m \left(\frac{\partial R}{\partial X_j} \frac{\partial X}{\partial Z_j} \right) dZ_j + \sum_1^l \left(\frac{\partial R}{\partial Z_k} \right) dZ_k + \frac{\partial R}{\partial t} dt, \quad (18)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, l,$$

Коэффициента $\frac{\partial R}{\partial Z_i}$ – определяет эффективность использования финансовых материальных средств. Эти затраты могут быть направлены на реализацию различных методов и механизмов управления рисками и на управление параметрами системы X_i влияющими на уровень риска в системе. Условием для снижения рисков является

$$\sum_1^n \left(\frac{\partial R}{\partial X_i} \right) dX_i + \sum_1^m \left(\frac{\partial R}{\partial X_j} \frac{\partial X}{\partial Z_j} \right) dZ_j + \sum_1^l \left(\frac{\partial R}{\partial Z_k} \right) dZ_k \gg \frac{\partial R}{\partial t} dt, \quad (19),$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, l$$

Исходя из общих представлений, управление рисками можно представить в графическом виде (см. рис. 6) – в виде функции общих затрат на управление рисками и компенсацию ущерба от аварий и катастроф. Оптимальное решение, как правило, достижимо при управлении рисками комплексно по вероятности P и ущербу U .

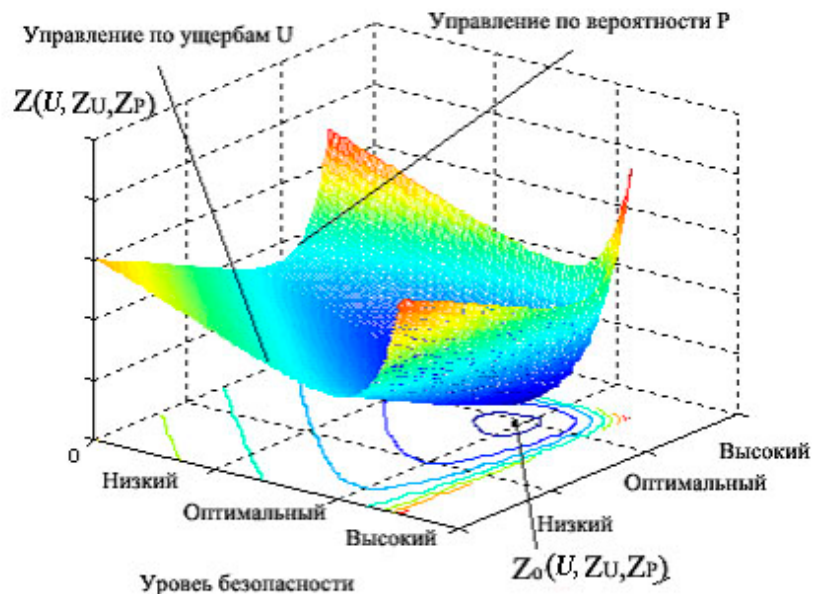
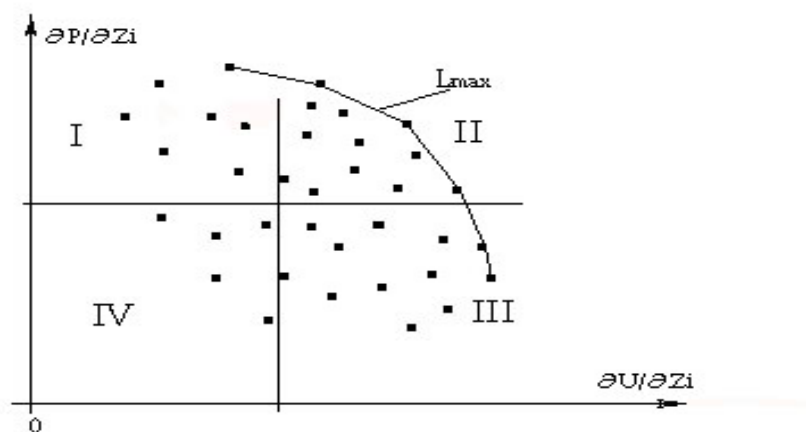


Рис.6. Управление рисками – определение минимальных суммарных затрат на управление рисками и компенсацию ущерба $Z(U, Z_P, Z_U)$

На рис. 7 представлено распределение коэффициентов эффективности использования финансовых средств на снижение рисков $\frac{\partial P}{\partial Z}$, $\frac{\partial U}{\partial Z}$. Наилучшими решениями при управлении рисками являются решения с максимальными значениями этих коэффициентов (: I, II, III – области эффективного использования финансовых средств), наиболее оптимальными решениями являются решения на линии L_{max} .



**Рис.7. Распределение коэффициентов эффективности использования финансовых средств на снижение рисков $\partial P/\partial Z_i, \partial U/\partial Z_i$:
 I, II, III – области эффективного использования финансовых средств, L_{max} - линия на которой лежат наиболее эффективные решения по вложению финансовых средств**

В области теории и практики управления рисками $R(t)$ в целом ряде случаев задача ставится как раздельная – по линии снижения вероятностей $P(t)$ возникновения различного уровня чрезвычайных (аварийных и катастрофических) ситуаций до приемлемых уровней $[P(t)]$. Эти уровни в высокорисковых комплексах, таких как ядерный, ракетно-космический, энергетический, нефтегазовый нормируются как требуемые (например, вероятность $[P(t)]$ тяжелой аварии с расплавлением активной зоны реактора на АЭС назначается на уровне $10^{-7} \dots 10^{-8}$ /год). Однако, реальные $P(t)$ и требуемые $[P(t)]$ вероятности оказываются существенно (более чем на порядок) отличающимися в опасную сторону - $P(t) > [P(t)]$. Это отличие возрастает по мере снижения $[P(t)]$ при переходе от штатных ситуаций к нештатным, проектным, запроектным и гипотетическим.

В тех случаях, когда ущербы $U(t)$ тяжелых катастроф могут оказываться заведомо неприемлемым и трудно определяемым, управление риском сводится к предотвращению таких катастроф без прямого назначения $[P(t)]$. Это может относиться к взрывам стратегических ядерных боеприпасов с учетом всех возможных источников (технических, природных, несанкционированных, террористических).

Раздельная задача в управлении рисками $R(t)$ по линии анализа ущербов $U(t)$ обычно выдвигается тогда, когда тяжелые аварии и катастрофы приводят к значительным потерям человеческих жизней или к большим экологическим ущербам, связанным с долговременным воздействием на природную среду. Это заражение почв и акваторий химическими и радиационно-опасными веществами – разливы нефти из танкеров и трубопроводов, выбросы радиоактивных отходов, а также природные катастрофы (наводнения, оползни, землетрясения, сели).

Исходя из основных системных позиций, в качестве основных критериев эффективности управления безопасностью по критериям рисков и защитой в рассматриваемом случае целесообразно принять:

- вероятность повышения или сохранения качества жизни $P_V(t)$ на научно обоснованном и в социально-экономическом отношении, оправданном на данном этапе развития общества, уровне с учетом вероятности $P(t)$ возникновения опасных процессов и чрезвычайных ситуаций;
- относительное повышение качества жизни за счет мер и воздействий по снижению риска и управлению безопасностью.

Эти условия в общем виде можно записать в форме

$$P_V(t) \gg P(t); \quad dV_K(t)/dt \gg dR(t)/dt \quad (20)$$

Для оценки эффективности управления безопасностью и защитой могут также использоваться некоторые дополнительные частные критерии, отражающие отдельные наиболее важные стороны целевой функции безопасности.

К числу частных критериев следует отнести:

- относительное снижение уровня риска $dR(t)/dt < 0$ возникновения чрезмерных (опасных) воздействий техногенного, природного и экологического характера на население, природную среду и объекты за счет предпринимаемых мер и действий по обеспечению безопасности при росте затрат ($dZ(t)/dt > 0$);

- относительное уменьшение математического ожидания ущерба ($dR(t)/dt < 0$), наносимого населению, природной среде и объектам при воздействиях техногенного, природного, экологического, террористического и военного характера при росте душевого дохода ($dV_K(t)/dt > 0$);

- относительное увеличение средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни ($dT_g(t)/dt > 0$) за счет предпринимаемых мер и действий по обеспечению безопасности.

Перечисленные выше основные и дополнительные критерии отвечают требованиям, предъявляемым к оценке эффективности с точки зрения теории и практики исследования операций. Они являются представительными, правильно отражают существо и целевую функцию безопасности, могут быть оценены с помощью количественных показателей.

С другой стороны, проблемы и методы управления риском ЧС можно подразделить на нормативно-правовые, научно-технические, экономические и административные, которые безусловно тесно между собой взаимосвязаны.

При этом на заданном отрезке времени t невозможно провести четкую границу между данными методами и механизмами. Нормативно-правовые акты должны закладывать основу методов администрирования и действия экономических механизмов; а административное управление в свою очередь включает в себя и контроль за действием экономических рычагов. При этом экономические механизмы по своей сути должны определять оптимальную или, по крайней мере, эффективную структуру администрирования и ее нормативно-правовую базу, опирающиеся на научно-технические решения.

Методы и проблемы управления риском опасных процессов, явлений и объектов могут иметь глобальный, национальный, местный и объектовый уровень.

При обосновании и типов управления речь должна идти о широком обобщающем подходе, опирающемся на математику, на естественнонаучные дисциплины, на достижения гуманитарных наук. В самом деле, обратим внимание на типы управления (таблица). Нормативное управление требует создания методологии, правил и категорий риска, доведенных до общепринятых норм и правил по величинам $P(t)$, $U(t)$, $R(t)$ и $[R(t)]$.

Оперативное управление рисками состоит в соблюдении указанного выше нормативного подхода с учетом возникающих на заданном отрезке времени несущественных вариаций параметров риска $P(t)$, $U(t)$, $Z(t)$.

Таблица

Типы управления

Тип управления	Средства	Задачи	Цели	Идеалы
Оперативное	выбираются	даны	Даны	не формулируются
Тактическое	выбираются	выбираются	Даны	не формулируются
Стратегическое	выбираются	выбираются	выбираются	не формулируются
Нормативное	выбираются	выбираются	выбираются	выбираются

Тактическое управление рисками подразумевает рациональный выбор заданных уровней параметров $R(t)$, $P(t)$ и $U(t)$ и достижение требуемого в заданный момент времени t уровня приемлемого риска.

Теперь рассмотрим вопрос достижимости целевого уровня риска. На рис. 8 приведена поверхность риска $R(t,Z)$ в координатах «время t – затраты Z ». В данном качественном представлении считается, что риск в системе без управления растет. При определенных затратах Z риск $R(t)$ может быть снижен до определенного уровня, который зависит от эффективности управления - эффективности использования экономических средств. При решении задачи снижения риска до заданного приемлемого уровня $[R(t)]$ требуется учитывать рост риска со временем t , время достижения заданного уровня риска и необходимые для этого финансовые затраты Z . На рис. 8 приведены две точки с различным уровнем риска $R(t,Z)$, достижение которых требует определенных затрат Z_i и времени t_i . При этом затраты Z_i являются постоянными величинами.

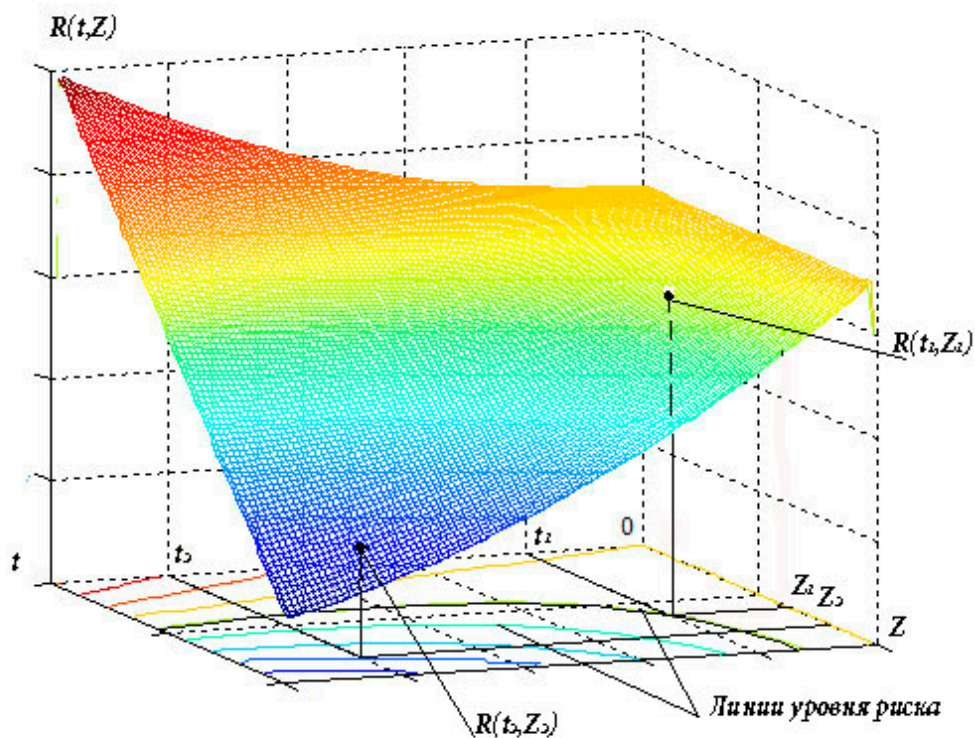


Рис.8. Управление рисками с учетом времени t и финансовых затрат Z

А эффективность использования средств и необходимое количество финансовых средств можно косвенно проиллюстрировать рис. 9, где приведены данные по экологичности экономик стран мира с различным уровнем дохода на душу населения (доля ВВП, $\$/(\text{чел.} \cdot \text{год})$)[8]. Чем развитее экономически государство, тем ниже экологический риск (ниже экологичность экономики) – наиболее развитые технологии и больше вкладывается средств. В рамках одинаковых значений дохода на душу населения экологический риск для высокоразвитых стран меняется незначительно, тогда как для стран с низким доходом разброс очень велик. Это зависит, как правило, от наличия в этих странах опасных и вредных в экологическом плане производств.

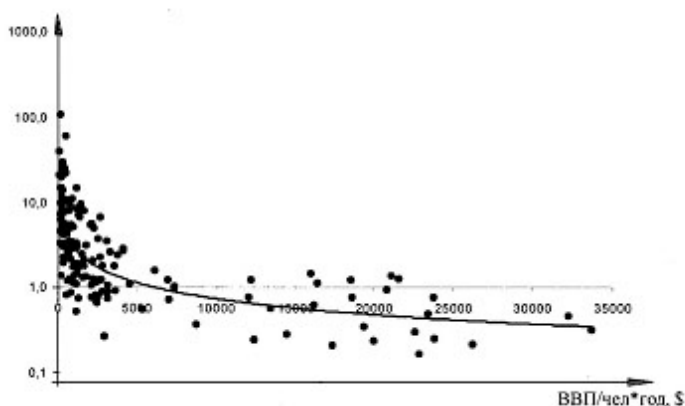


Рис. 9. Зависимость экологичности экономики от ВВП на человека в год (\$) по странам мира. Средняя экологичность по миру принята величиной 1,0[8]

Возможна ситуация, при которой не существует эффективных и приемлемых с экономической точки зрения мер для снижения вероятности аварии или катастрофы. В этом случае приходится поднимать планку приемлемого риска (вероятности P) и переносить центр тяжести на смягчение последствий и выработку планов восстановления после аварий, стихийных бедствий и иных происшествий.

Таким образом, управление безопасностью через снижение рисков $R(t)$ сводится к операциям:

- понижение класса аварий и катастроф в направлении $K1$;
- увеличение периода между авариями и катастрофами данного класса;
- снижение типа аварийных и катастрофических ситуаций в направлении;
- ограничение сочетаний групп поражающих факторов;
- совершенствование групп потенциально опасных объектов (ГО) или отказ от них при неприемлемых рисках, когда $R(t) \rightarrow R_c(t)$, и минимизация базовых параметров поражающих факторов.

Поэтому, в наиболее общем случае, методы управления риском R в соответствии с выражением (1) можно подразделить на методы, направленные на:

- снижение вероятности P (снижение риска);
- уменьшение ущерба U (смягчение последствий);
- повышение эффективности затрат по снижению рисков $R(t)$ до приемлемого уровня $[R(t)]$.

Деятельность по управлению рисками в сложных системах должна быть предварительно спланирована с учетом системных свойств и методов, механизмов управления рисками, а также определением необходимого уровня финансовых и материальных затрат.

Список литературы

1. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. Часть 1. Основы анализа и регулирования безопасности. – М.: МГФ «Знание», 2006, - 640 с.
2. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. Часть 2. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками. – М.: МГФ «Знание», 2006, - 752 с.

3. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. Часть 3. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов. – М.: МГФ «Знание», 2007, - 815 с.
4. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. Часть 4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности. – М.: МГФ «Знание», 2007, - 857с.2.
5. Безопасность России. Анализ рисков и управление безопасностью. Методические рекомендации. – М.:МГФ «Знание», 2008, - 528с.
6. Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Салов С.С., Фалеев М.И., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. Управление риском: риск, устойчивое развитие, синергетика.- М.: Наука, 2000. – 431 с.
7. Могилевский В.Д. Методология систем. – М.: Экономика, 1999. – 251 с.
8. Природопользование и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006, - 448 с.

Сведения об авторах

Махутов Николай Андреевич, д.т.н., член-корр. РАН, главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, тел. (499) 135 7771; e-mail: safety@imash.ru Адрес: 101990, г. Москва, ул. Бардина, д. 4.

Ахметханов Расим Султанович, д.т.н., заведующий лабораторией Института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, тел. (495) 623 5755; e-mail: mibsts@mail.ru Адрес: 101990, г. Москва, М.Харитоньевский пер., д. 4.