

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМНЫМИ РИСКАМИ

Посвящается врачам-стоматологам **Марии Александровне Голодновой** и профессору **Тамаре Алексеевне Глыбиной**, проявившим бесконечную заботу о моём здоровье, что позволило завершить ряд исследований
профессор Павел Кохно

В реализацию проблемы формирования математических основ оптимального управления риском в экономической системе (ЭС), например, в том или ином государстве или регионе, который сопутствует процессу развития этой ЭС (и обусловлен им) положим концепцию безопасности, основанную на четырех главных принципах безопасности: природного, экономического, техногенного, военного характера [1].

Проблеме математического исследования динамики состояния ЭС в современной науке уделяется значительное внимание, а за последнее время достигнуты значительные успехи в этой области [2]. В математической постановке она сводится к исследованию системы дифференциальных уравнений с нелинейными обратными связями вида:

$$\frac{d}{dt} X_i = F_i(X_1, X_2, \dots, X_n; t), i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где X_i – фазовые переменные, определяющие состояние рассматриваемой ЭС в интересующий момент времени ее развития t .

В число таких фазовых переменных X_i должны быть включены такие характеристики ЭС, как численность населения и уровень его жизни (количество и качество жизненных благ, используемых для удовлетворения потребностей людей, ее экономические ресурсы (материальные, финансовые, трудовые и природные, вовлекаемые обществом в хозяйственный оборот), уровень загрязнения окружающей среды (различные виды рисков).

Система уравнений (1) позволяет в определенном смысле исчерпывающе описывать поведение рассматриваемой ЭС, если имеются методы установления конкретного вида правых частей этих уравнений, позволяющие адекватно действительности характеризовать взаимодействие фазовых переменных X_i . Укажем здесь, что одним из наиболее разработанных для этих целей методов является системно-динамический метод Форрестора.

В рамках предлагаемой концепции безопасности в качестве целевой функции (критерия-функционала) в проблеме оптимального управления с целью обеспечения безопасности населения выступает средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни (СОПЖ).

Согласно принятой концепции безопасности СОППЖ определяет количественно уровень безопасности населения в рассматриваемой ЭС в интересующий нас момент от уровня экономического развития страны, который, в первую очередь, определяется имеющимися в данной системе экономическими ресурсами (в дальнейшем будем их обозначать как $M(t)$), и от уровня присущих ЭС опасностей экономического, техногенного, экологического и военного происхождения, определяемого совокупностью различного вида рисков R_1, R_2, \dots, R_n .

Следовательно, целевая функция обеспечения безопасности населения страны (региона) в проблеме оптимального управления ЭС может быть представлена в виде:

$$T = T(R_1, R_2, \dots, R_n; M(t)) = T_{\max} - \Delta T(R_1, R_2, \dots, R_n; M(t)), \quad (2)$$

где $T_{\max} = \text{const}$ – видовая (биологическая) продолжительность жизни среднестатистического человека (обусловленная биологическими характеристиками организма, т.е. его надежностью, заданной при рождении);

T – сокращение его продолжительности жизни, обусловленное возможными неблагоприятными жизненными ситуациями в ЭС, т.е. рисками $R_i, i=1,2,3, \dots$.

Соответственно в математически формализованной постановке задача обеспечения безопасности населения в развивающейся ЭС сводится к задаче определения решений системы уравнений (1), т.е. траекторий развития ЭС, которые удовлетворяют условию оптимальности целевой функции (2), т.е. максимальной СОППЖ. Это условие оптимальности надо искать на путях оптимального распределения ограниченных ресурсов, направляемых на снижение существующих в ЭС опасностей. Другими словами, управляющими переменными (управлением) в этой целевой функции T выступают величины затрат M_i , на снижение соответствующих рисков R_i , (или доли $d_i = M_i/M$ от общих экономических ресурсов M ; $\sum d_i \leq 1$).

Кроме того, в самом общем случае в определение понятия «управление риском» следует включить еще один (помимо указанного) аспект управления: контроль за соблюдением нормативных требований, предъявляемых к тем или иным источникам опасности. Этот аспект требует самостоятельного исследования.

Возвращаясь к рассмотрению процесса управления риском в ЭС, необходимо указать, что его нельзя свести только к оптимизации одного критерия-функционала – максимизации СОППЖ. Внутренняя природа сложных экономических систем такова, что они могут допускать несколько «альтернативных» траекторий развития ЭС, обеспечивающих максимальность СОППЖ. Дело заключается в том, что при оптимизации только по одному критерию остается неопределенным и не учитывается при оптимизации с помощью целевой функции (2) целый ряд характеристик ЭС, являющихся ее «жизненными индикаторами». В рассматриваемой ситуации в числе таких неучтенных «жизненных индикаторов» оказываются такие характеристики, как показатели состояния окружающей природной среды.

«Альтернативные» траектории, удовлетворяющие условию оптимальности СОППЖ, как раз и могут отличаться друг от друга различным набором «жизненных индикаторов», характеризующих качество окружающей среды. При этом не исключается возможность, когда среди этих «альтернативных» траекторий, обеспечивающих на рассматриваемом промежутке времени безопасность человека (его максимально достижимую на данный момент СОППЖ), имеются и такие, в которых развитие ЭС столкнется с экологическим кризисом (состояние окружающей среды окажется близким или достигнет точки ее бифуркации).

Так как целью безопасности является обеспечение не только высокого уровня состояния здоровья населения, но и высокого качества окружающей среды, то такие траектории развития ЭС должны быть исключены. Представляется важным отметить, что в научных исследованиях в настоящее время идет устойчивый процесс канонизации аксиоматических утверждений этой концепции [3].

В общем случае управление риском в ЭС представляет собой сложную проблему управления большим числом рисков, характеризующих присущие данной ЭС многочисленные опасности. С целью извлечения из исследований этой проблемы критериев управления риском в ЭС, пригодных для практического использования, требуется ввести в эту проблему упрощающие ее предположения, не противоречащие при этом, конечно, действительности. С этой целью предлагается подразделить многочисленные опасности в ЭС на две совокупности опасностей таким образом, чтобы каждую из этих совокупностей можно было бы рассматривать как единое целое и характеризовать каждую из них присущим этой совокупности риском. В этом случае сложная проблема управления многими рисками сводится к более простой задаче управления двумя рисками.

В рамках такого подхода предлагается проблему управления риском не рассматривать в рамках задачи о внедрении в ее экономику альтернативной технологии (нового или усовершенствованного традиционного типа, принятие мер безопасности организационного или административного характера и др.). Проблема управления риском в ЭС сводится к задаче «взаимодействия» рисков двух подсистем, в одну из которых включены все виды опасности, присущие ЭС до внедрения альтернативной технологии, а в другую – опасности, присущие внедряемой технологии.

При этом предполагается, что выполняется следующее условие: при взаимодействии этих подсистем каждую из них можно рассматривать как относительно устойчивое единое целое за счет преобладания внутренних связей между составляющими каждой подсистемы над их внешними связями. В этом случае проблема управления риском в ЭС сводится к задаче управления следующими двумя рисками:

1) общим (совокупным) риском для здоровья среднестатистического человека в рассматриваемой ЭС (обозначим его как $R_{эс}$), присущим данной системе до внедрения в ее экономику альтернативной технологии;

2) риском для среднестатистического человека и окружающей его среды (природной и экономической) от этой альтернативной технологии (обозначим его как R_T).

При этом $R_{эс}(M - M_T)$ и $R_T(M_T)$, $M = M_0 + \Delta M$, где M_0 – экономические ресурсы СЭС до внедрения в ее экономику технологии; ΔM – прирост этих ресурсов в результате внедрения рассматриваемой технологии.

Доказательством справедливости введения показателей окружающей человека среды такого «макропоказателя», как ее общий риск $R_{эс}$ для жизни среднестатистического человека, является тот очевидный факт, что живущему в этой окружающей среде человеку присуща определенная продолжительность жизни – СОППЖ. Ее длительность определяется общим (совокупным) средним риском этой среды $R_{эс}$, данные о котором автоматически следуют из данных о СОППЖ.

По состоянию на 1 января 2013 года переписи населения раунда 2010 года проведены в 197 странах мира; переписано 6171,6 миллиона человек, или 89% мирового населения. И на основе этой переписи получены статистические данные по СОППЖ для некоторых стран и рассчитан совокупный риск $R_{эс}$ в этих странах, ведущий к преждевременной смерти, т.е. к сокращению видовой продолжительности жизни T_{max} на величину $T(R_{эс})$, в предположении, что $T_{max} = 95$ лет (таблица 1) [4].

Таблица 1

Средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни человека при рождении и соответствующий ей общий средний риск преждевременной смерти ($R_{эс}$) для различных стран

СОППЖ, годы	$R_{эс}$, вероятность преждевременной смерти индивидуума в год	Страны
79	$3,5 \times 10^{-3}$	Япония
78	$3,8 \times 10^{-3}$	Гонконг, Исландия, Нидерланды, Швеция, Швейцария
77	$4,0 \times 10^{-3}$	Австралия, Канада, Кипр, Франция, Греция, Норвегия, Испания
76	$4,2 \times 10^{-3}$	Барбадос, Бельгия, Куба, Дания, Доминиканская Республика, Финляндия, Израиль, Италия, Новая Зеландия, Англия, США
66	$6,4 \times 10^{-3}$	В среднем в мире, Алжир, Бразилия, Фиджи, Гондурас, Ирак, Никарагуа, Саудовская Аравия, Турция
67	$6,6 \times 10^{-3}$	Россия, Гватемала, Гайана, Перу, Филиппины, Сан-Томе и Принсипи
43	$1,2 \times 10^{-2}$	Афганистан, Сьерра-Леоне

Далее, в такую «двухрисковую» модель введем предположение о том, что эти два риска (R_T и $R_{эс}$) обладают свойствами аддитивности, которое является справедливым только при выполнении следующих двух условий:

- риски R_T и $R_{эс}$ характеризуют, с точки зрения теории вероятности, два независимых события;
- вероятность совмещения двух этих событий пренебрежимо мала, т.е. произведение соответствующих этим событиям рисков значительно меньше риска каждого из этих событий в отдельности.

Справедливость первого из этих условий зависит от справедливости представления об экономической системе как об относительно едином целом, которое с достаточно высокой степенью достоверности адекватно реальной действительности ЭС - потому и определяется как система. Управление сложной экономической системой (определенным образом упорядоченной совокупностью ее составляющих) осуществляется как относительно устойчивым единым целым за счет взаимодействия, распределения и перераспределения имеющихся, поступающих извне и проецируемых этой системой веществ, энергии, информации [5]. Такой процесс управления обеспечивается преобладанием внутренних связей (в том числе перемещений вещества, энергии, информации) между составляющими над их внешними связями.

Что же касается второго условия, требующегося для аддитивности рисков, то его справедливость очевидна. Так как вероятность реализации одного из двух рассматриваемых рисков значительно меньше единицы (таблица 1), то произведением этих вероятностей можно пренебречь. Условие аддитивности риска, присущего рассматриваемой экономической системе, и риска, обусловленного внедряемой альтернативной технологией, как показано в работе [6], позволяет утверждать (доказать теорему), что достижение максимального уровня безопасности населения (максимальности средней продолжительности предстоящей жизни в обществе) будет достигнуто при равенстве стоимости продления жизни от снижения рисков от этих двух групп источников опасности.

Применение этой теоремы к «двухрисковой» модели управления риском в экономической системе позволяет сделать следующий вывод: при внедрении альтернативной технологии в экономику ЭС максимально достижимый уровень безопасности населения экономической системы (соответствующий достигнутому в этой ЭС уровню экономического развития, характеризующему ее экономическими ресурсами M) будет обеспечен, если затраты M_T на снижение риска R_T (M_T) для населения от альтернативной технологии будут определяться из решения следующего уравнения:

$$S_{эс}(M - M_T) = S_T(M_T), M = \text{const}, \quad (3)$$

где затраты M_T на снижение техногенного риска R_t являются неизвестной переменной, а S_T и $S_{эс}$ – стоимости продления жизни вследствие инвестиции ресурсов M_T и $M - M_T$, соответственно, на снижение техногенного R_T и экономического $R_{эс}$ рисков.

Теорема равновесия в управлении риском позволяет разработать относительно простой для практического использования метод оптимизации предельных затрат (МОПЗ), которые должны инвестироваться на снижении различных видов рисков в экономические системы до такого уровня, который только достижим с учетом социальных и экономических факторов.

Реализация метода оптимизации предельных затрат (МОПЗ) в практической деятельности требует определения такого макроэкономического показателя экономической системы (ЭС), как стоимость продления жизни $S_{эс}$ в этой ЭС. С этой целью предлагается извлечь из практического опыта, накопленного в прошлом исторического развития интересующей нас экономической системы, статистические данные, определяющие зависимость средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОПЖ). Используя эти данные, можно рассчитать стоимость $S_{эс}$ продления жизни в данной экономической системе.

С этой целью были выполнены тщательные исследования характеристик целевой функции безопасности – СОПЖ, связанные с ее поведением в зависимости от экономического уровня развития общества. Важной особенностью в поведении СОПЖ является показатель эффективности той или иной ЭС, достигшей определенного уровня экономического развития (уровня ВВП на душу населения), относительного снижения присущего ей риска. В качестве показателя эффективности естественно принять следующее отношение:

$$S_i(M_i) = dM_{i+1}/dT_i = \Delta M_i / \Delta T_i, \quad (4)$$

где $\Delta M_i = M_{i+1} - M_i$, $\Delta T_i = T_{i+1} - T_i$, M_i – годовые материальные ресурсы среднестатистического человека в данном обществе (ВВП или доход на душу населения), T_i – СОПЖ в этом обществе.

Это отношение имеет снижение ежегодных затрат на каждого человека, необходимых в данном обществе, характеризующимся показателями T_i и M_i , на продление жизни среднестатистического человека в этом обществе на единицу времени (на один год).

Так как эти затраты ($\Delta M_i = M_{i+1} - M_i$) необходимы на весь период его от рождения, то полная стоимость продления жизни на один дополнительный год среднестатистического человека с учетом дисконтирования составит величину, равную:

$$S_i = \sum_{t_i=1}^{T_{np}} S_i \frac{M_i}{(1-r)^{t_i}} = S_i(M_i) \int_0^{T_{np}} e^{-rt} dt = S_i(M_i) \frac{1 - e^{-rT_{np}}}{r}, \quad (5)$$

где r – коэффициент дисконтирования, T_{np} – продленная СОПЖ.

Проведенный анализ статистических данных, связанный с изучением экономической эффективности затрат на повышение безопасности населения в рассматриваемой экономической системе в зависимости от уровня ее экономического развития (т.е. функциональной зависимости стоимости продления жизни S_i от уровня безопасности T_i), позволяет установить еще одну важную характерную особенность в поведении СОППЖ, следующую из «опыта». Она показывает, что СОППЖ подчиняется экономическому закону уменьшения отдачи.

По мере роста СОППЖ (повышение уровня безопасности T) вследствие роста экономического развития в экономической системе (т.е. возрастания экономических ресурсов ΔM_i) каждый дальнейший прирост СОППЖ на одну и ту же величину ΔT_i требует все большего прироста, используемых для этого экономических ресурсов (ΔM_i). Другими словами, по мере экономического развития того или иного общества уровень безопасности монотонно возрастает. Стоимость продления жизни (S_i) увеличивается: стремление к увеличению продолжительности жизни требует все больших и больших материальных ресурсов.

В работе [7] сделана оценка «стоимости продления жизни» для различных стран, отличающихся друг от друга уровнем экономического развития. Статистические данные по зависимости СОППЖ от уровня экономического развития того или иного государства позволяют с достаточно большой достоверностью определить стоимость спасения жизни $S_{эс}$ в этих государствах для объективной оценки эффективности инвестиций в социально-экономическую сферу деятельности с целью повышения безопасности населения.

Полученное таким образом значение для стоимости продления жизни (обозначим как $S_{эс}^H = S_{эс}$) предлагается использовать в качестве норматива для принятия решения о величине допустимых затрат на системы безопасности в различных технологиях, используемых или предлагаемых к использованию в рассматриваемой ЭС. Согласно (4) эти системы безопасности на той или иной технологии и имеют право на внедрение в практику, если стоимость продления жизни с их помощью $S_{Tне}$ превышает рассчитанного нормативного значения для данной ЭС, то есть $S_{эс}^H$.

МОПЗ, по нашему мнению, представляет способ достижения наивысшего возможного уровня безопасности населения в ЭС в зависимости от достигнутого в этой экономической системе уровня экономического развития, который может быть принят без конфликта с другими законными потребностями и обязанностями общества.

Вариантные исследования по практическому использованию МОПЗ показывают, что, несмотря на внутренне присущую ему неопределенность, а в некоторых случаях даже субъективность, он является приемлемым методом для принятия эффективных решений в области обеспечения безопасности.

Статистическая обработка полученных данных позволила Ю.М. Антонину сформулировать простое эмпирическое правило: «Стоимость продления средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни (СОППЖ) в экономической системе, выраженной в международных долларах (монетарных единицах, используемых ООН) за год дополнительной жизни, равна годовому валовому национальному продукту (ВНП) или годовому доходу на душу населения в данной ЭС, выраженному в тысячах международных долларов и возведенному в степень $N > 1$ » [7, С. 37].

Оценки конкретного численного значения для N , выполненные на основе обработки статистических данных по стоимости продления жизни в странах с различным уровнем экономического развития, позволяют предположить, что $N=2$.

Следовательно, развитие каждого государства помимо таких общепринятых макроэкономических показателей, как ВНП или национальный доход (НД), определяющих уровень экономического развития государства, уровень жизни населения, можно характеризовать еще одним макроэкономическим показателем – стоимостью продления СОППЖ, определяющей эффективность системы безопасности, существующей в этой ЭС. При этом по мере экономического развития того или иного общества уровень безопасности монотонно возрастает, но эффективность затрат на продление жизни снижается, т.е. «стоимость продления жизни» увеличивается: стремление к увеличению продолжительности жизни требует все больших материальных ресурсов [8].

Отметим, что в развитых странах необходимость использования величины «стоимости продления жизни» для объективной оценки эффективности инвестиций в экономическую сферу деятельности с целью повышения безопасности населения находит все более широкое применение не только в научных исследованиях, но и при принятии практических решений. Например, этот показатель используется в последнее время в бюджетных посланиях правительства США к конгрессу, в директивах, принимаемых в странах ЕЭС; он рекомендуется для практического использования различными международными организациями. Соответственно возрастает внимание и к разработке методов, повышающих точность количественной оценки этого показателя на основе повышения точности и совершенствования статистических данных об экономическом развитии той или иной страны.

Здесь необходимо отметить, что введенное понятие «стоимость продления жизни» следует отличать от понятия «стоимость человеческой жизни», которое обычно используется в традиционных методах управления риском.

«Стоимость продления жизни» – это экономическая категория, характеризующая не стоимость человеческой жизни, а предоставляющая возможность при принятии решения для обеспечения безопасности определить, какую сумму денег необходимо инвестировать в

экономическую систему, чтобы продлить жизнь среднестатистического человека («анонимного индивидуума»).

Статистические данные по зависимости СОППЖ от уровня экономического развития и полученные на их основе математические модели того или иного государства позволяют с достаточно большой достоверностью определить стоимость спасения жизни $S_{ЭС}$ в этих государствах для объективной оценки эффективности инвестиций в социально-экономическую сферу деятельности с целью повышения безопасности населения. И тем самым увеличить инновационные возможности экономики России в рамках авторской теории гармоничной экономики труда [9,10]. Именно труда, а не спекулятивного капитала.

Литература

1. Кохно П.А., Лаптев В.Н., Чеботарев С.С. Экономика управляемой гармонии. Книга 2. Экономика управляемых рисков / Отв. ред. д.э.н., проф. П.А. Кохно. – М.: Университет Российской академии образования, 2014. – 298 с.
2. Стасев В.В., Стасев А.В. Технико-экономическое моделирование эффективности проекта строительства // Вестник МАРТИТ, 2004, №12.
3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность трубопроводного транспорта / Под ред. И.И. Мазура. – М.: МГФ «Знание», 2002.
4. http://unstats.un.org/unsd/demographic/sources/census/2014_RHC/default.htm
5. Кохно П.А. Союзное государство. Книга 9. Военно-экономическая стратегия. Глава 1. Методологические основы исследования сложных экономических систем. – М.: Граница, 2008. – 568 с. С. 15-48.
6. Чернова Г.В. Практика управления рисками на уровне предприятия. – Спб.: Питер, 2000.
7. Антонин Ю.М. Терроризм. Криминологическое и уголовно-правовое исследование. - М.: Изд-во «Щит-М», 1998.
8. Кохно П.А., Чеботарев С.С. Управление социально устойчивой экономикой // Общество и экономика, 2014, №1. С. 51-70.
9. Кохно П.А. Производственные программы гармоничной экономики труда // Человек и труд, 2013, №3. С. 45-49.
10. Кохно П.А. Финансовые основы гармоничной экономики труда // Человек и труд, 2013, №10. С. 37-40.