

Системный анализ

Разработана информационная система для оценки комплексных рисков возникновения природно-техногенных и социально-экономических чрезвычайных ситуаций в системе жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), позволяющая: 1) эффективно управлять риском с целью оптимизации функционирования системы ЖКХ; 2) оценивать эффективность стратегий реформирования ЖКХ.

© К.Л. Атоев, В.А. Пепеляев, 2010

УДК КП 658.012.011.56

К.Л. АТОЕВ, В.А. ПЕПЕЛЯЕВ

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕФОРМ В СФЕРЕ
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО
ХОЗЯЙСТВА**

Введение. Повышенная техногенная уязвимость ЖКХ Украины, обусловленная критическим состоянием инфраструктуры, насыщенностью современного высокотехнологического общества потенциально опасными устройствами с высокой энергетической мощностью, резким удлинением причинно-следственных связей и усилением роли системных рисков, требует принятия неотложных мер по созданию эффективных информационных систем, позволяющих решать задачи мониторинга, прогноза и предупреждения кризисных явлений в системе ЖКХ [1]. Растущая взаимозависимость разных компонентов уязвимости ЖКХ в свою очередь требует разработки новых методов оценки риска и усовершенствования методов моделирования режимов функционирования сложных систем, с резкими внезапными изменениями, которые нарушают непрерывность и вызывают нестабильность, во много раз повышающие цену решений, принимаемых при управлении техногенной безопасностью [2]. Проблема устойчивого функционирования ЖКХ затрагивает целый комплекс техногенных, экологических, социальных и экономических факторов, поэтому ее решение требует интегрального подхода, который позволит определить траекторию развития ЖКХ в полях указанных факторов. В работе [2] был предложен метод оценки и управления интегральных рисков, в основе которого лежит использование теории катастроф.

Цель данной работы – адаптация этого метода для задач оценки природно-техногенных и социально-экономических рисков в системе ЖКХ. На основе разработанной информационной системы была проведена оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций в различных регионах Украины, проведено ранжирование регионов по уровню угроз.

Математическая модель оценки рисков в системе ЖКХ. Для исследования различных аспектов устойчивого развития сложных динамических систем используются различные индексы (экологических и техногенных угроз, устойчивого развития, человеческого развития, глобализации и др.), имеющие целью определить степень сбалансированности изменений в различных областях развития. Однако до сих пор не создана методика расчета, базирующаяся на оценках адаптивности систем к асимметричным угрозам, когда малые воздействия вызывают глобальные последствия.

Одним из подходов к решению данной проблемы может быть метод комплексной оценки риска, базирующийся на использовании теории гладких отображений [2]. Мерой риска выступает степень приближенности параметров системы к их бифуркационным значениям, достижение которых вызывает скачкообразное изменение траектории развития. Например, когда стационарное состояние, характеризующее норму, теряет устойчивость, система скачкообразно переходит в другое стационарное состояние (предкризисное или кризисное). Если в результате эффективного кризисного менеджмента удастся изменить значения параметров таким образом, что теряет устойчивость предкризисное состояние, то система возвращается к норме.

Главным преимуществом предложенного подхода является то, что он позволяет ввести понятие динамического риска как функции переменных, описывающих процесс, поскольку каждый из параметров системы может определяться на основе динамических величин.

Кроме того, приближение точки, характеризующей текущее состояние системы на фазовом портрете, к бифуркационным значениям параметров может служить индикатором для раннего распознавания рисков. Ценность этой возможности обусловлена существованием принципиальных временных ограничителей, снижающих скорость принятия решений и эффективность применяемых мер в условиях быстро меняющихся ситуаций, даже при идеально налаженной системе мониторинга. Каков бы ни был горизонт прогноза, только через значительный период времени (месяцы, а иногда и годы) становится ясно насколько оправданными были принятые решения, а за это время ситуация может либо стать полностью неуправляемой, либо могут произойти необратимые изменения, когда общество перейдет на иную траекторию своего развития. Использование теории оптимального управления позволяет находить такие воздействия на систему, которые минимизируют риск.

Современное общество в целом и отдельные его компоненты (система здравоохранения, жилищно-коммунальное хозяйство, система социальной защиты и др.) ведут себя как системы, находящиеся вдали от состояния глобального равновесия, сильно зависящие от начальных условий, в которой возможны хаотические режимы, когда малые воздействия на систему могут существенно изменять траектории ее развития, т. е. как диссипативная система.

Основываясь на положениях, выдвинутых в [2], будем считать, что рассматриваемая система удовлетворяет основным свойствам потенциальных систем, описывается некоторой потенциальной функцией $U(X)$ переменной X , характеризующей уязвимость системы, которая обладает непрерывностью и наличием локальных экстремумов, в которых производные по времени переменной X обращаются в ноль.

Управление системой состоит в определении таких воздействий, которые переводят систему из заданной точки на поверхности U в желаемую точку, например в стационарное состояние с низким уровнем уязвимости.

Для учета техногенных, экологических, социальных и экономических факторов поведение системы будем рассматривать в пространстве четырех параметров управления, каждый из которых является функцией переменных, определяющих поведение системы.

Таким образом, потенциальная функция U будет описываться полиномом шестой степени относительно переменной X , характеризующей уровень уязвимости. В этом случае имеем

$$-\partial U(X, A)/\partial X = X^5 + A_1 X^3 + A_2 X^2 + A_3 X + A_4, \quad (1)$$

где A – пространство управления. A_i ($i = 1, 4$) – параметры управления, характеризующие различные стороны изучаемой системы. Согласно представлениям, развитым в [3], параметры управления различаются следующим образом. Параметр A_4 , так называемый фактор асимметрии, характеризует внешнее воздействие на систему (враждебность внешней среды); A_3 – параметр бифуркации, величина которого характеризует способности системы по нейтрализации внешних угроз; A_2 – параметр, характеризующий состояние внутренней структуры системы, независимо от внешних воздействий на систему; A_1 – параметр, отвечающий за управление взаимодействием сил, противостоящих внешним и внутренним угрозам.

Каждый из указанных параметров является обобщенным, т. е. для его расчета необходимы данные о широком спектре динамических переменных, описывающих изучаемую систему. Параметры являются индикаторами, соответствующего вида угроз (природных, социальных, техногенных, экономических). Их значения рассчитываются с помощью методики, предложенной в [4].

Применяя данный подход для анализа комплексных рисков природно-техногенных и социально-экономических угроз в области жилищно-коммунального хозяйства, будем исходить из следующих соображений.

1. Состояние жилищно-коммунального комплекса определяется как внешними, так и внутренними факторами. В качестве первых выступают факторы внешней среды – стихийные бедствия, политические и социальные катаклизмы, т.е. все экзогенные факторы, воздействующие на структуру ЖКХ извне. В соответствии с вышеупомянутыми представлениями [2], эти факторы характеризуются параметром A_4 , отражающим уровень экологических угроз. В качестве вторых выступают факторы, характеризующие состояние внутренней структуры ЖКХ – амортизационная изношенность водопроводных и канализационных систем, тепловых сетей и котелен, жилищного фонда, надежность очистительных сооружений. Эти факторы характеризуются параметром A_2 , отражающим уровень техногенных угроз.

2. Способности системы ЖКХ противостоять действию внешних факторов, характеризуются параметром A_3 , отражающим качество работы различных служб ЖКХ, их техническую оснащенность, профессионализм, эффективность работ по предотвращению аварий в системе ЖКХ и ликвидации их последствий. Достойный уровень оплаты труда, социальные гарантии служащим отрасли, налаженная система обучения и переподготовки кадров, эффективный контроль психофизиологического состояния лиц, принимающих решения по управлению сложными системами жизнеобеспечения населенных пунктов. Все эти факторы, относящиеся к социальной сфере, определяют динамику изменения параметра A_3 , которым будем характеризовать уровень социальных угроз.

3. Качество управления системой ЖКХ в целом зависит в первую очередь от факторов экономической политики, обеспечивающих, с одной стороны, материальные возможности для своевременного переоснащения технического парка средств, используемых в современной системе ЖКХ, своевременного ремонта и замены водопроводных, канализационных и тепловых сетей, ремонта жилищного фонда, внедрения энергосберегающих технологий. С другой стороны – стимулирующих эффективное использование средств, снижение уровня коррупции в отрасли, проведение эффективной инновационной политики, модернизацию ЖКХ на основе передовых современных технологий. Эффективность управления определяется успехом в противостоянии внешним и внутренним угрозам, т. е., как отмечалось выше – уровнем параметра A_1 .

Наличие временной иерархии позволяет упростить модель. Природные и техногенные угрозы реализуются быстро, имеют большую разрушительную силу и связаны с непосредственной угрозой жизни, здоровью и благосостоянию населения. Социальные и экономические угрозы относятся к так называемым «скрытым» или «отложенным» угрозам, проявляющимся с большим запаздыванием, когда последствия могут быть отдалены большим интервалом времени от начала действия факторов, вызвавших увеличение угроз.

Учитывая, что природные, техногенные, социальные и экономические угрозы имеют разный временной масштаб своей реализации, будем связывать природные и техногенные компоненты с внешним влиянием на систему ЖКХ (фактором асимметрии). Социальные и экономические компоненты будем связывать со способностью системы нейтрализовать внешние угрозы (фактор бифуркации).

Этому случаю в формализме теории катастроф соответствует катастрофа типа «сборка». Поведение системы при этом рассматривается в пространстве двух параметров управления. Потенциальная функция U описывается полиномом четвертой степени относительно переменной X . Уравнение (1) трансформируется к следующему виду:

$$-\partial U(X, A)/\partial X = X^3 + aX + b, \quad (2)$$

где a и b – соответственно индикаторы социально-экономических и природно-техногенных угроз, которые рассчитываются следующим образом:

$$a = c_1A_1 + c_2A_2, \quad c_1 + c_2 = 1, \quad b = d_1A_3 + d_2A_4, \quad d_1 + d_2 = 1. \quad (3)$$

Система имеет три стационарных состояния, два из которых устойчивы и различаются разными уровнями уязвимости системы ЖКХ – высоким и низким. Использование метода теории катастроф позволяет определить бифуркационные значения параметров управления, по достижении которых система переходит из одного состояния в другое. Кривая бифуркационных значений описывается следующим выражением:

$$F(a,b) = 4a^3 + 27b^2 = 0. \quad (4)$$

Под интегральным риском R_I перехода выбранного региона из группы, характеризующейся низким уровнем уязвимости системы ЖКХ, в группу, характеризующуюся высоким уровнем уязвимости, будем понимать возможность пересечения бифуркационной кривой траекторией точки, координаты которой соответствуют текущим параметрам управления. R_{SE} и R_{PT} соответственно социально-экономические и природно-техногенные компоненты R_I .

Мерой риска такого перехода выберем величину, обратную расстоянию от текущей точки параметров управления до соответствующей бифуркационной кривой. Чем больше расстояние до бифуркационной кривой, тем меньше риск.

Для регионов с высоким уровнем уязвимости определяется интегральный индекс I , который характеризует способность региона понизить уязвимость системы ЖКХ. Мерой этого индекса является величина обратная расстоянию от текущей точки управления до нижней границы триггерной области. Его компоненты I_{ce} и I_{nti} соответственно характеризуют способности региона к снижению социально-экономической и природно-техногенной уязвимости. Чем меньше расстояние – тем больше значение индекса. Выбор стратегии нормализации ситуации связан с расчетом уровней, до которых при заданном количестве ресурсов следует уменьшить значения природно-техногенных и социально-экономических параметров управления, чтобы осуществился переход системы из группы высокого уровня уязвимости в группу с низким уровнем уязвимости.

Расчет интегральных индексов природных, техногенных, социальных и экономических угроз в системе ЖКХ. Поэтому индекс природных угроз системе ЖКГ для j -го региона (W_{nj}) будем рассчитывать на основе данных о количестве оползней (W_{onj}), подтоплений (W_{nodj}), пожаров и взрывов (W_{nej}), выбросах вредных веществ в атмосферу ($W_{ввej}$), а также качестве питьевой воды ($W_{водj}$):

$$W_{nj} = \beta_{n1j} W_{onj} + \beta_{n2j} W_{nodj} + \beta_{n3j} W_{nej} + \beta_{n4j} W_{ввej} + \beta_{n5j} W_{водj}.$$

Индекс социальных угроз для j -го региона (W_{cj}) будем рассчитывать на основании данных о криминогенной ситуации в регионе (уровень зарегистрированных правонарушений $W_{крj}$), количестве суицидов ($W_{суцj}$), уровне смертности среди населения ($W_{смj}$), сумме задолженности по выплате заработной платы ($W_{зарj}$), уровне безработицы ($W_{безj}$), уровне дифференциации жизненного уровня населения – децильный коэффициент дифференциации общих доходов населения ($W_{децj}$):

$$W_{cj} = \beta_{c1j} W_{крj} + \beta_{c2j} W_{суцj} + \beta_{c3j} W_{смj} + \beta_{c4j} W_{зарj} + \beta_{c5j} W_{безj} + \beta_{c6j} W_{децj}.$$

Техногенные угрозы связаны, прежде всего, с аварийностью систем водоснабжения ($W_{mвсj}$), водоотведения ($W_{mвоj}$), теплоснабжения ($W_{mтпj}$) и жилого фонда ($W_{mжфj}$). Индекс техногенных угроз в ЖКХ для j -го региона

$$W_{mj} = \beta_{m1j} W_{mвсj} + \beta_{m2j} W_{mвоj} + \beta_{m3j} W_{mтпj} + \beta_{m4j} W_{mжфj}.$$

Индекс экономических угроз в ЖКХ для j -го региона ($W_{эj}$) будем рассчитывать на основании данных об уровне оплаты жилья и коммунальных услуг населению: уровне покрытия расходов полученными доходами (W_{npj}), себестоимости содержания 1 м² жилья, услуг водо- и теплоснабжения, соответственно ($W_{ссжj}$), ($W_{свжj}$), ($W_{свтj}$), состояния освоения средств государственного бюджета, направленных в ЖКХ ($W_{осбj}$):

$$W_{эj} = \beta_{э1j} W_{npj} + \beta_{э2j} W_{ссжj} + \beta_{э3j} W_{свжj} + \beta_{э4j} W_{свтj} + \beta_{э5j} W_{осбj}.$$

Сумма весовых коэффициентов β для каждого из индексов равна единице.

Ранжирование регионов Украины по уровням социально-экономических и природно-техногенных угроз системе ЖКХ. С помощью разработанного программного обеспечения на основании данных [5, 6], а также данных, предоставленных министерством ЖКХ, проведено ранжирование регионов Украины по уровням социально-экономических и природно-техногенных угроз системе ЖКХ. Согласно полученным результатам, представленным на рис. 1, по индексу природных угроз наиболее неблагоприятная ситуация в Донецкой, Днепропетровской, Луганской областях и в г. Севастополе. Наименее угрожающая ситуация в Черновицкой, Львовской, Закарпатской областях и АР Крым.



РИС. 1. Ранжирование регионов Украины по уровням природных (W_n), техногенных (W_m), социальных (W_c) и экономических (W_e) угроз в системе ЖКХ

По индексу техногенных угроз наиболее неблагоприятная ситуация в Одесской, Волынской, Донецкой и Черниговской областях. Наименее угрожающая ситуация в Ровенской, Житомирской, Хмельницкой, Сумской и Винницкой областях.

По индексу социальных угроз наиболее неблагоприятная ситуация в Луганской, Донецкой, Кировоградской областях и АР Крым. Наименее угрожающая ситуация в г. Киеве, Закарпатской и Ивано-Франковской областях.

По индексу экономических угроз наиболее неблагоприятная ситуация в Кировоградской, Закарпатской, Киевской областях и в г. Киеве. Наименее угрожающая ситуация в Черниговской, Волынской, Сумской, Ровенской и Николаевской областях.

Была проведена оценка риска возникновения природно-техногенных и социально-экономических ЧС в системе ЖКХ для анализа текущей ситуации в отрасли и принятия соответствующих управленческих решений. Полученные результаты показали, что регионы Украины делятся на две группы. В группу 1, составленную из регионов повышенного уровня угроз для системы ЖКХ, входят: Донецкая, Днепропетровская, Запорожская, Киевская, Луганская, Николаевская, Одесская, Черниговская области и г. Киев. В группу 2, составленную из регионов относительно низкого уровня угроз, входят остальные регионы.

Проекция поверхности состояния системы ЖКХ для регионов Украины на плоскость параметров управления a и b представлена рис. 2, а. Регионы группы 1 обозначены треугольником, регионы группы 2 – кружком. Бифуркационная кривая, задаваемая уравнением (4), показана жирным пунктиром. На рис. 2, б представлена поверхность состояний системы ЖКХ, определяемая уравнением (2).

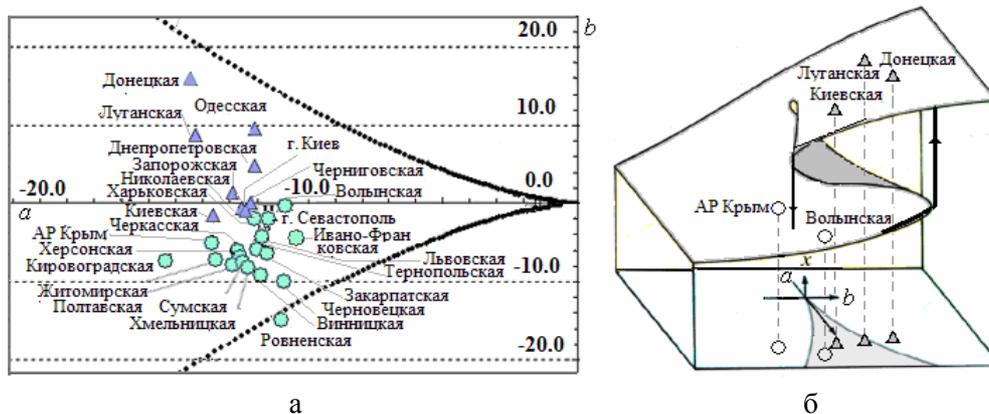


РИС. 2. Ранжирование регионов Украины по уровням рисков ЧС в ЖКХ

Результаты расчетов, представленные в таблице, показывают, что переход в группу 1 возможен только при изменении показателей, характеризующих природно-техногенные угрозы. Ухудшение социально экономических показателей, без изменения параметров, влияющих на природно-техногенные составляющие угроз, не приводят к переходу системы ЖКХ в зону повышенного риска, поскольку величина $R_{SE} = 0$ для всех регионов группы 2.

Переход из группы 1 в группу 2 (достижение бифуркационной кривой) для Запорожской, Киевской, Николаевской, Черниговской областей и г. Киева возможно за счет улучшения как социально-экономических, так и природно-техногенных показателей.

Для Донецкой, Днепропетровской, Запорожской, Луганской и Одесской областей переход в зону относительно низкого риска невозможен без улучшения показателей, влияющих на природно-техногенную составляющую угроз. Для этих областей вложение средств в улучшение социально-экономической составляющей системы ЖКХ не приведет к переводу системы в зону пониженного риска. Для решения этой задачи наименьшее количество затрат потребуется в г. Киеве. При этом средства можно вкладывать как в улучшение социально-экономической, так и природно-техногенной составляющих. Наибольших затрат требует Донецкая область.

ТАБЛИЦА

Группа 1							
Регионы	I_{SE}	I_{PT}	I_I	Регионы	I_{SE}	I_{PT}	I
Днепропетровская	0.0	0.06	0.10	Луганская	0.0	0.04	0.07
Донецкая	0.0	0.03	0.05	Николаевская	0.35	0.24	0.15
Запорожская	0.0	0.07	0.12	Одесская	0.0	0.07	0.07
Киевская	0.55	0.08	0.16	Черниговская	0.28	0.19	0.14
г. Киев	0.13	0.10	0.18				
Группа 2							
Регионы	R_{PT}	R_I	Регионы	R_{PT}	R_I		
АР Крым	0.05	0.09	Ровенская	0.04	0.06		
Винницкая	0.05	0.08	Сумская	0.05	0.08		
Волинская	0.09	0.16	Тернопольская	0.05	0.09		
Житомирская	0.04	0.08	Харьковская	0.07	0.12		
Закарпатская	0.06	0.09	Херсонская	0.05	0.08		
Ивано-Франковская	0.07	0.12	Хмельницкая	0.05	0.08		
Кировоградская	0.04	0.07	Черкасская	0.05	0.09		
Львовская	0.06	0.11	Черновицкая	0.05	0.08		
Полтавская	0.05	0.08	г. Севастополь	0.07	0.13		

Управление реформированием ЖКХ. В общем виде эта задача сводится к следующему. Даны текущие значения параметров A_i , бифуркационные значения этих параметров A_i^* . Пусть C_i – коэффициент стоимости нормализации, соответствующий числу единиц выделяемых ресурсов, необходимых для изменения параметра A_i на единицу размерности, используемой для его вычисления. Введем управляющие воздействия u_i , характеризующие величину ресурсов, выделяемых на нормализацию ситуации в соответствующем компоненте системы ЖКХ. Тогда u_i / C_i – величина, на которую изменится значение A_i после

осуществления управления. Существуют следующие ограничения: 1) $\sum u_i = u_0$, где u_0 – ассигнования, выделяемые из бюджета для ЖКХ; 2) $F(A^*) = 0$, где A^* – пространство бифуркационных значений параметров A_i . В рамках введенных обозначений и существующих ограничений задача оптимального управления перераспределением средств, выделяемых на нормализацию работы системы ЖКХ, формулируется следующим образом. Требуется найти значения управлений u_i , минимизирующие расстояние между текущим положением системы и бифуркационной поверхностью. Для рассмотренного выше случая, когда бифуркационная кривая задается уравнением (4), требующий минимизации функционал имеет следующий вид: $F(u_1, u_2) = |4(a + u_1/C_1)^3 + 27(b + u_2/C_2)^2|$. Если в ходе решения оптимизационной задачи параметрам A_i не удастся достичь своих бифуркационных значений, возникает дополнительная задача нахождения минимального u_0 , при которых функционал после минимизации равен нулю. Задача управления с целью предотвращения перехода системы из зоны пониженного риска в зону повышенного, формулируется противоположным образом. Требуется найти управления u_i , максимизирующие расстояние между текущим положением системы и бифуркационной поверхностью. Для регионов группы 2 требуется увеличить расстояние между текущим положением системы и бифуркационной кривой.

Заключение. В результате проведенного модельного исследования предложена классификация регионов Украины по уровням природно-техногенных и социально-экономических угроз системе ЖКХ. Состояние ЖКХ оценивается с помощью индексов природных, техногенных, социальных и экономических угроз, интегральных рисков НС в системе ЖКХ и их компонентов, а также индексов, характеризующих возможности регионов по снижению уровня угроз, рассчитываемых с помощью созданной информационной системы.

К.Л. Атоев, В.А. Пепеляев

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ПІДРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РЕФОРМ У СФЕРІ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

Розроблено інформаційну систему для оцінки комплексних ризиків виникнення природно-техногенних та соціально-економічних надзвичайних ситуацій (НС) у системі житлово-комунального господарства, яка дозволяє: 1) досліджувати динаміку ризику НС як функцію екологічних, техногенних, соціальних та економічних змінних; 2) аналізувати поточну ситуацію для прийняття управлінських рішень щодо реформування ЖКГ.

K.L. Atoev, V.A. Pepelyaev

INFORMATION SYSTEM FOR DECISION MAKING IN THE FIELD OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES REFORMING

The information system for complex environmental-technogenic and social-economic risk assessment in the field of housing and communal services (HCS) is elaborated. It allows: 1) to investigate the dynamics of complex risks of disaster as the function of the environmental, technogenic, social and economic variables; 2) to analyse the current situation for decision making in the field of HCS.

1. Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. Управление риском и устойчивое развитие. Человеческое измерение // Изв. вузов (проблемы нелинейной динамики). – 2000. – 8, № 6. – С. 12–26.
2. Атоев К.Л., Пепеляев В.А. Моделирование механизмов возникновения нестабильности сложных систем // Теорія оптимальних рішень. – 2007. – № 6. – С. 51–58.
3. Guastello S.J. Catastrophe Modeling of the Accident Process: Organizational Subunit Size // Psychol. Bull. – 1988. – 103. – P. 246 – 255.
4. Качинський А. Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. – К.: ПНБ, 2004. – 472 с.
5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році / В.М. Шандра, Г.Г. Філіпчук, Б.Є. Патон та ін.– К: Чорнобиль Інтерінформ, 2008.– 229 с.
6. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2007 році». – К.: «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», 2008. – 567 с.

Получено 16.03.2010

Об авторах:

Атоев Константин Леонович,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины,

Пепеляев Владимир Анатольевич,

доктор физико-математических наук,
заведующий отделом Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины.