

УДК 519.6:517.929-968:616-097,613.648

© К.Л. Атоев, П.С. Кнопов, В.А. Пепеляев

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ АДАПТАЦИИ К ГЛОБАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ

Разработаны математические модели устойчивого социального, экономического и экологического развития для определения сценариев эффективной адаптации к глобальным изменениям. Модели позволяют оценивать вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций различного происхождения, решать комплексные проблемы управления рисками в условиях повышенной неопределенности, вызванной глобальными изменениями, рассчитывать эффективность различных сценариев снижения уязвимости общества.

Ключевые слова: управление рисками, уязвимость общества, глобальные изменения, повышенная неопределённость, математическое моделирование.

Введение

Концепция устойчивого развития стала своеобразной доминантой, определяющей трансформацию общества в XXI веке. Ее основным требованием является создание условий для социального прогресса, направленного на обеспечение определенного качества жизни людей, с одновременным сохранением внешней среды, ресурсов и энергии благодаря внедрению современных технологий. Понимание того, что возрастающее социальное неравенство сокращает возможности для устойчивого развития, а большее равенство делает общество более сильным, позволило обосновать необходимость согласованных изменений в разных сферах функционирования общества (экономической, социальной, экологической). Растущее загрязнение окружающей среды, климатические изменения, усиливающаяся дифференциация населения по доходам и уровню гражданских свобод, превращают системы экологической и социальной защиты в необходимые компоненты, обеспечивающие адаптацию общества к глобальным изменениям [1].

Модернизация этих систем становится особенно актуальной для развивающихся стран, таких как Украина. Реформирование социальной сферы и внедрение ресурсосберегающих технологий могут стать мощной движущей силой, способной ускорить развитие этих стран, помочь им в преодолении отставания от мировых лидеров, которые уже использовали этот резерв для ускорения своего развития. Однако реформирование невозможно без создания соответствующих механизмов, которые должны его обеспечить. Важным элементом таких механизмов являются информационные системы, которые на базе математических моделей существенно увеличат эффективность реформирования, позволят своевременно решать задачи оптимизации природоохранных, экономических, финансовых и социальных решений,

помогут разработать научно обоснованные сценарии для уменьшения уязвимости общества, ускорения его экономического развития, улучшения инвестиционного климата и роста качества жизни населения. В данной статье намечены пути создания таких механизмов. Разработаны и исследованы математические модели управления рисками в условиях повышенной неопределенности, вызванной глобальными изменениями.

1. Основные причины кризиса современных систем управления

Авария на японской АЭС «Фукусима» вновь сфокусировала внимание на кризисе современных систем управления. Этот кризис проявляется в уменьшении горизонта прогнозирования и невозможности предсказания возникновения маловероятных событий, таких как авария на Чернобыльской АЭС, цунами «Катрина», авария на нефтедобывающей платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе в 2010 году, мировой финансовый кризис, геополитическая дестабилизация в некоторых мусульманских странах в 2012 году.

Частота возникновения чрезвычайных событий, а также масштабы убытков от них значительно превосходят те значения, которые дает прогноз, осуществляющийся с помощью традиционных методов анализа риска. Снижение эффективности систем прогнозирования и управления рисками обусловлено, прежде всего, глобальными изменениями, которые вызывают общую неустойчивость современного мира. Одиночный, случайный характер турбо-событий уходит в прошлое, неоднородность и неравномерность стали повседневными атрибутами нашего глобального общества. Турбулентный характер жизни порождает новые риски. Это позволяет называть наше время – «временем бифуркаций», а современное общество – «обществом риска» [1].

Возникновение сложной сети современного общества значительно усиливает поля техногенных, природных, экономических и социальных рисков. Это обусловлено такими особенностями информационного общества, как повышенная плотность связей между узлами сети, небывалое удлинение причинно-следственных связей, резкое увеличение скоростей, с которыми материальные ценности и информация циркулируют по звеньям сети. Узлы этой сети являются своеобразными акупунктурными точками уязвимости общества, в которых малые воздействия могут вызывать сильные расхождения траекторий развития системы, непредсказуемые по масштабам последствия, увеличение неопределенности будущего. Функционирование таких систем становится нестабильным и характеризуется сильной зависимостью от начальных условий и возможностью скачкообразных изменений. Поэтому современное общество может рассматриваться как система, находящаяся вблизи неустойчивого стационарного состояния в зоне бифуркации, когда увеличивается вероятность внезапных и непрогнозируемых событий. Очень малые флуктуации могут приводить к скачкообразным изменениям социально-экономических и природно-техногенных характеристик общества [2].

Возрастающая роль малых воздействий расширяет области действия традиционных рисков и порождает принципиально новые угрозы, связанные с событиями большой разрушительной силы. Эти события продолжительны по времени и разворачиваются в транснациональных масштабах, когда последствия природных и техногенных катаклизмов

сказываются в географических зонах, значительно удаленных от источника катастрофы. Исследование поведения подобных систем сталкивается с рядом принципиальных сложностей, которые значительно снижают эффективность прогнозирования.

Первая причина этих сложностей связана с большим количеством новых рисков. Чем выше степень новизны рисков, тем ниже качество принимаемых решений, поскольку уникальность явления означает отсутствие или неполноту статистических данных.

Вторая причина связана с системным характером рисков, обусловленным большим количеством связей между многочисленными элементами современной техносферы. Системные риски характеризуются принципом взаимозависимости, когда одни риски порождают другие, гораздо более разрушительные.

Третья причина связана со степенным распределением плотности вероятности ущерба от катастроф и количества жертв. В соответствии с нормальным (Гауссовым) распределением, большие отклонения настолько редки, что ими можно пренебречь. Однако многие катастрофы порождают статистику со степенным распределением (распределение с тяжелым хвостом), для которого этими отклонениями уже нельзя пренебрегать. Степенные распределения вероятностей обладают многими необычными свойствами. Для некоторых из них ущерб от одного, наиболее крупного события, сравним с суммарным ущербом от всех остальных событий в выборке.

Возникает задача разработки новых методов оценки рисков, адекватных их новым особенностям, которые вызваны глобальными изменениями. Эти методы должны дополнить традиционные подходы к оценке риска и лечь в основу новых информационных технологий для повышения эффективности принятия решений в сфере управления рисками, что позволит расширить горизонт прогнозирования в условиях неполноты данных и вероятности скачкообразных изменений поведения системы.

2. Математическая модель для оценки уязвимости общества

Эффективность моделирования во многом зависит от нахождения баланса между стремлением к детализации и необходимостью упрощения модели. Чем более детализированной становится модель, тем больше возрастает ее размерность, усложняются задачи идентификации ее параметров и сбора входных данных, растет ошибка вычислений и суживается горизонт прогнозирования. Кроме того, система не является простой суммой составляющих ее подсистем. В то же время без построения достаточно детализированных моделей, невозможно понять, как нарушения на одном уровне иерархии передаются на другие, как действие адаптационных процессов на уровне одной подсистемы влияют на деятельность механизмов самоорганизации и функционирования сложной социально-экономической системы в целом. Невозможным становится и разработка реальных сценариев развития, и оценка эффективности конкретных управленческих решений.

Задачи большой размерности обычно решают, используя тот факт, что существует временная иерархия, позволяющая разделить процессы, описываемые моделью, по их продолжительности. Основываясь на теореме Тихонова, разделяют быстрые и медленные процессы.

На малых промежутках времени существенны быстрые переменные, тогда как медленные не успевают существенно отклониться от начальных значений. На больших временах – все наоборот. Быстрые процессы успевают достичь своих стационарных значений, и поведение системы определяют только медленные переменные [3].

Кроме того, фазовое пространство динамических систем в большинстве случаев является неоднородным. Существуют области, в которых поведение системы зависит от ограниченного числа параметров порядка. Изменение других переменных в данной области не оказывает существенного влияния на поведение системы. Разным областям пространства могут соответствовать разные параметры порядка [3].

Вместе с тем, существуют области параметров, в которых не удается существенно уменьшить размерность модели, из-за чего поведение системы трудно прогнозировать. В этом случае одним из походов решения проблемы является использование вероятностных методов [4, 5]. В том случае, когда из-за уникальности явления статистические методы становятся не эффективными, поведение системы исследуется с помощью теории гладких отображений [6].

Исходя из вышесказанного, модель, используемая для оценки уязвимости общества, должна: 1) содержать минимально возможное число переменных, достаточное, тем не менее, для получения не только качественных, но и количественных результатов, позволяющих проводить оценку различных сценариев развития; 2) учитывать возможность возникновения в определенной области параметров скачкообразных режимов поведения системы, а также стохастических автоколебательных режимов (странные аттракторы); 3) описывать взаимосвязь экономических, экологических и социальных факторов и позволять рассчитывать вклад каждого из них в интегральную уязвимость.

При построении модели будем основываться на перечисленных требованиях, а также на методологии междисциплинарных исследований сложных систем, получившей название «системной динамики» [7]. В ряде работ она использовалась для изучения социального, экологического и экономического развития отдельных стран и регионов [8]. В качестве переменных модели использовались следующие показатели: численность населения – P ; основные фонды – V ; доля фондов в сельском хозяйстве – S , уровень загрязнения – Z ; энергетические, продовольственные и водные ресурсы – соответственно R_E , R_F , R_W ; качества продовольствия, жизни и управления – соответственно Q_f , Q_L , Q_C ; доли капитала, направляемого на восстановление энергетических, продовольственных и водных ресурсов, борьбу с загрязнением, обеспечение материального уровня жизни – соответственно U_{RE} , U_{RF} , U_{RW} , U_Z и U_L ; уровень дифференциации общих доходов населения – Y_{20} ; рождаемость – B ; смертность – D ; величина риска возникновения чрезвычайных ситуаций $RISK$, материальный уровень жизни – M . В модели также учитываются параметры, характеризующие степень уязвимости общества от увеличивающейся неопределенности, связанной с глобальными изменениями, миграции населения, межграничных потоков капитала, ресурсов и загрязнения. Блок-схема модели представлена на рис. 1.

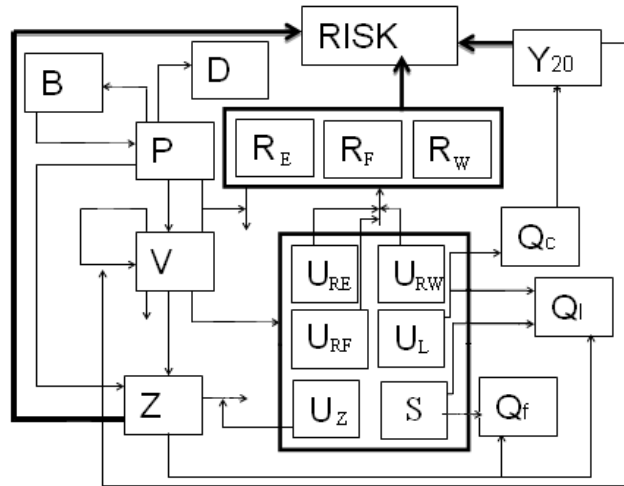


Рис. 1 – Блок-схема модели социально-экономического развития

Для учета влияния социальных факторов некоторые константы модели рассматриваются как функции социального риска, уровень которого определяется на основе метода оценки вероятности социогенных катастроф [6]. Расчет социального риска осуществляется с помощью данных, характеризующих: 1) соотношение между стоимостью рабочей силы и продуктивностью труда; 2) равномерность распределения государственных доходов между разными слоями населения; 3) эффективность государственного управления.

Математическая постановка задачи формулируется следующим образом: дана модель социально-экономического развития, требуется решить задачу Коши на временном интервале $[0, T]$ для заданного набора параметров модели. Модель использована для оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций в условиях глобальных изменений при разных сценариях экологического, экономического и социального развития, а также для определения динамики переменных и проведения имитационных экспериментов. Функция риска определялась с помощью метода оценки риска чрезвычайных состояний [6].

С помощью модели рассмотрена задача управления перераспределением средств с целью минимизации уровня загрязнения окружающей среды, снижения уровня водных, энергетических и продовольственных ресурсов, риска возникновения кризисных явлений в экономике и максимизации уровня жизни населения и материального производства.

Задача управления формулируется следующим образом: дана математическая модель социально-экономического развития, дана система ограничений, которая определяет допустимый диапазон значений переменных модели и параметров управления. Требуется найти параметры управления, которые максимизируют уровень материального производства и качество жизни, с одной стороны, и минимизируют уровень загрязнения, риск возникновения чрезвычайных ситуаций и угрозу истощения водных, продовольственных и энергетических ресурсов, с другой стороны.

Для численного решения задачи идентификации параметров модели использовался модифицированный метод случайного поиска – метод статистического градиента. На рис. 2 приведены результаты решения задачи идентификации.

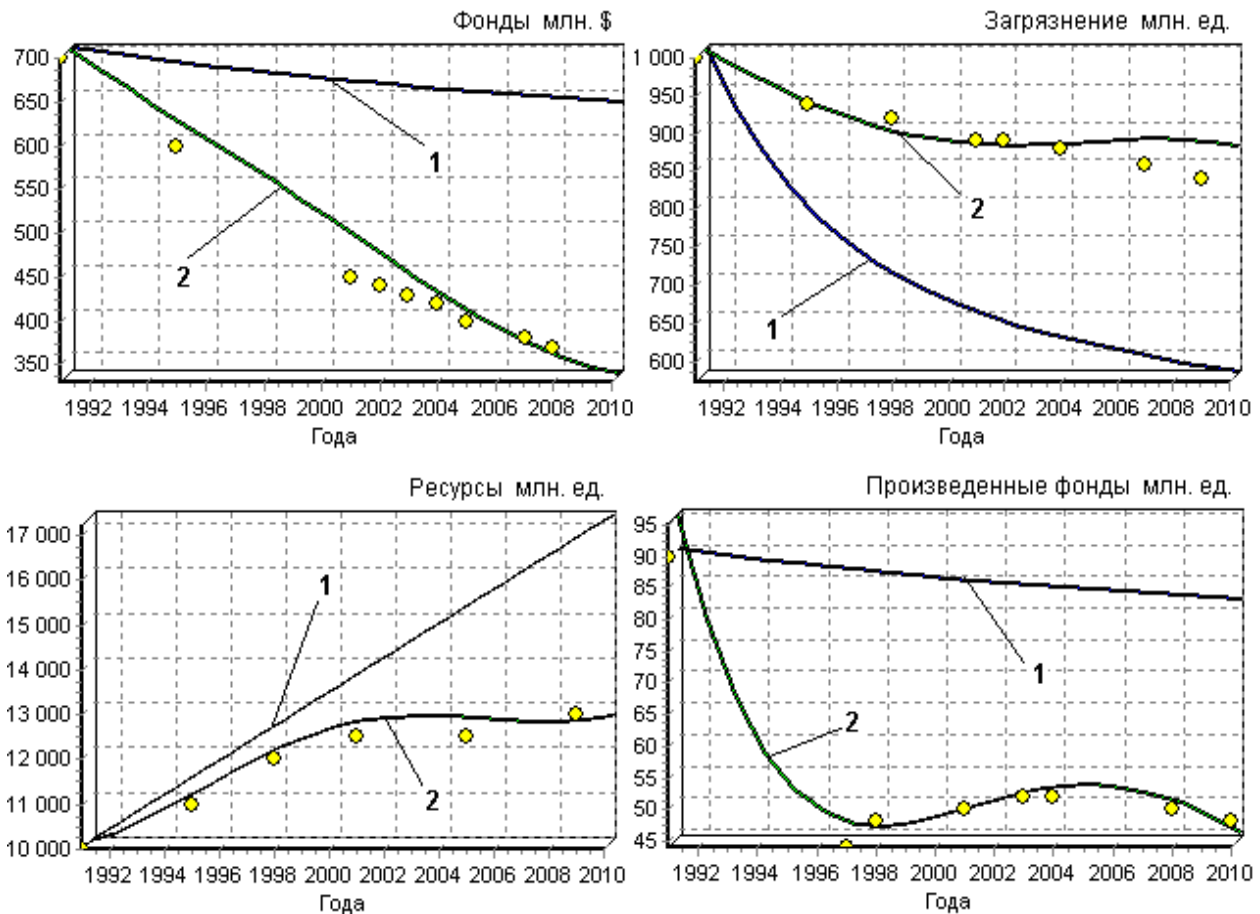


Рис. 2 – Результаты решения задачи идентификации

На рис. 3 приведены результаты решения задачи оптимального управления, целью которого была минимизация уровня и потока загрязнения и максимизация качества жизни. Параметры модели определялись на основе анализа реальных данных в результате решения идентификационных задач на интервале 1991–2010 гг. Кривая 1 соответствует динамической задаче, кривая 2 – задаче оптимального управления.

На основании результатов модельного исследования проведено ранжирование регионов Украины по уровням социально-экономических и природно-техногенных угроз. Полученные результаты показывают, что уровень природных угроз наибольший в Донецкой, Днепропетровской и Луганской областях. Наименьший – в Черновицкой, Львовской и Закарпатской. Уровень экономических угроз наибольший в Кировоградской, Закарпатской и Киевской областях. Наименьший уровень угроз в Черниговской, Волынской, Сумской, Ровненской и Винницкой. Уровень техногенных угроз наибольший в Одесской, Волынской, Донецкой, Запорожской и Львовской областях. Наименьший – в Ровненской, Житомирской, Хмельницкой, Сумской и Винницкой. Уровень социальных угроз наибольший в Луганской, Донецкой, Волынской и Кировоградской областях. Наименьший уровень угроз в Ивано-Франковской и Закарпатской областях, а также в Киеве.

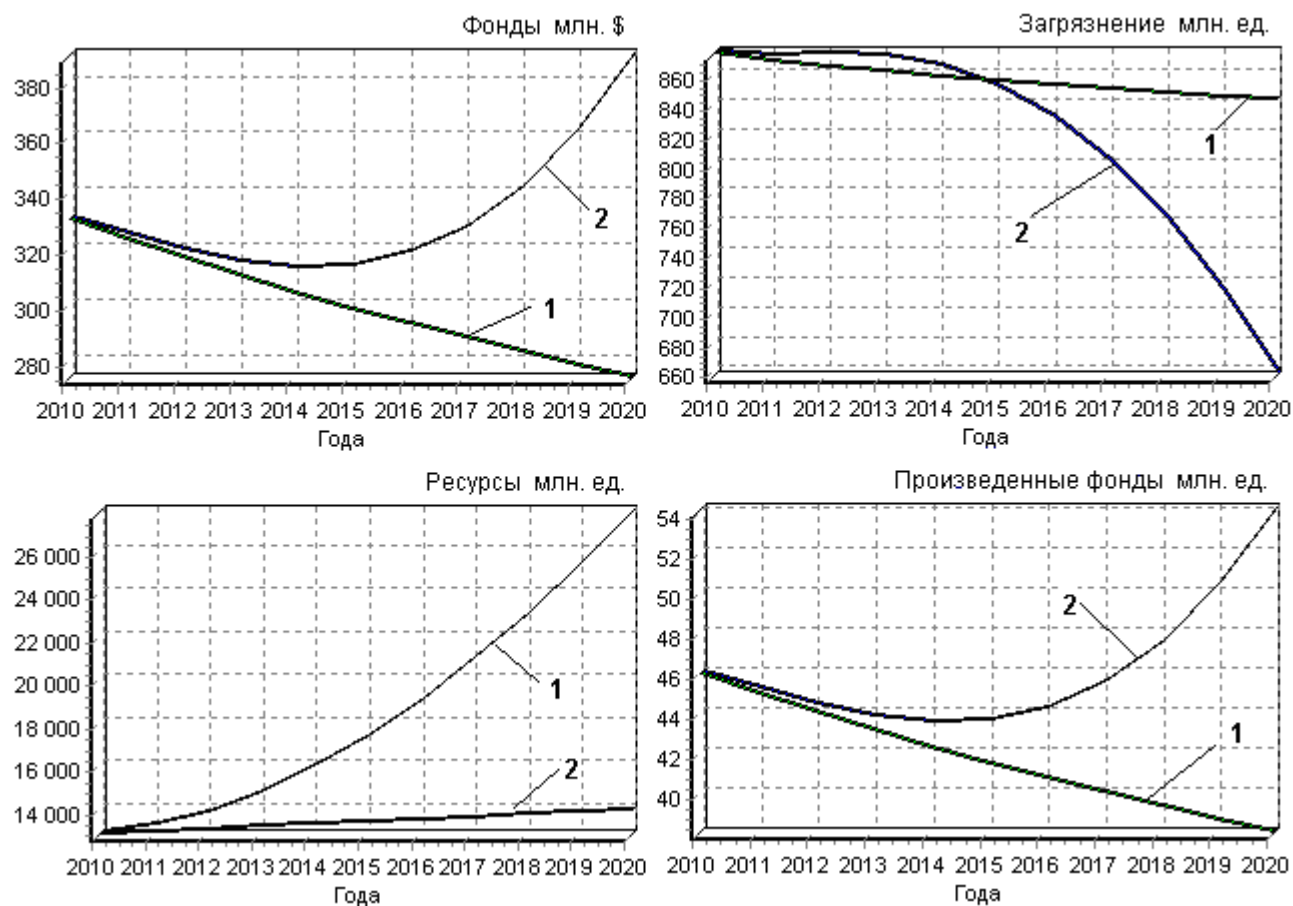


Рис. 3 – Результаты решения задачи оптимального управления

Разработана методология прогнозирования изменения уязвимости регионов, которая базируется на теории катастроф – математическом формализме для моделирования нелинейных систем, в поведении которых возможны внезапные скачкообразные изменения или фазовые переходы, являющиеся следствием малых непрерывных изменений в параметрах управления системы [9]. Методология позволяет рассчитывать бифуркационные значения параметров управления и оценивать риск возникновения кризисных явлений. Риск внезапного перехода системы из одного стационарного состояния в другое, оценивается по отклонению текущих параметров управления от их бифуркационных значений. Трансформация пространства безопасности определяется с помощью одной из универсальных деформаций теории катастроф.

Параметры управления определяются с помощью индексов природно-техногенных и социально-экономических угроз. Параметры управления являются неявными функциями времени. Их изменениям соответствуют определенные траектории на фазовой плоскости.

С помощью модели для каждого региона рассчитывается профиль угроз. На рис. 4 приведены результаты для Одесской области. Эта область относится к группе регионов повышенного уровня угроз. Индекс экономических угроз $A_1 = 0.59$ (13-е место). Индекс социальных угроз $A_2 = 0.60$ (13-е место). Индекс техногенных угроз $A_3 = 0.67$ (1-е место).

Розділ 2. Математичні та інформаційні моделі в економіці

Индекс природных угроз $A_4 = 0.21$ (7-е место). Интегральный показатель перевода региона в группу относительно малого уровня угроз – 0.115511 (8-е место среди 9 регионов группы повышенного уровня угроз).

Под интегральным риском перехода с низкого уровня уязвимости региона на высокий уровень будем понимать вероятность пересечения бифуркационной кривой (кривая катастроф) траекторией точки, координаты которой соответствуют текущим параметрам управления. Модель позволяет рассчитывать резервные возможности региона и граничные нагрузки для данного состояния социально-экономической и природно-техногенной сфер.

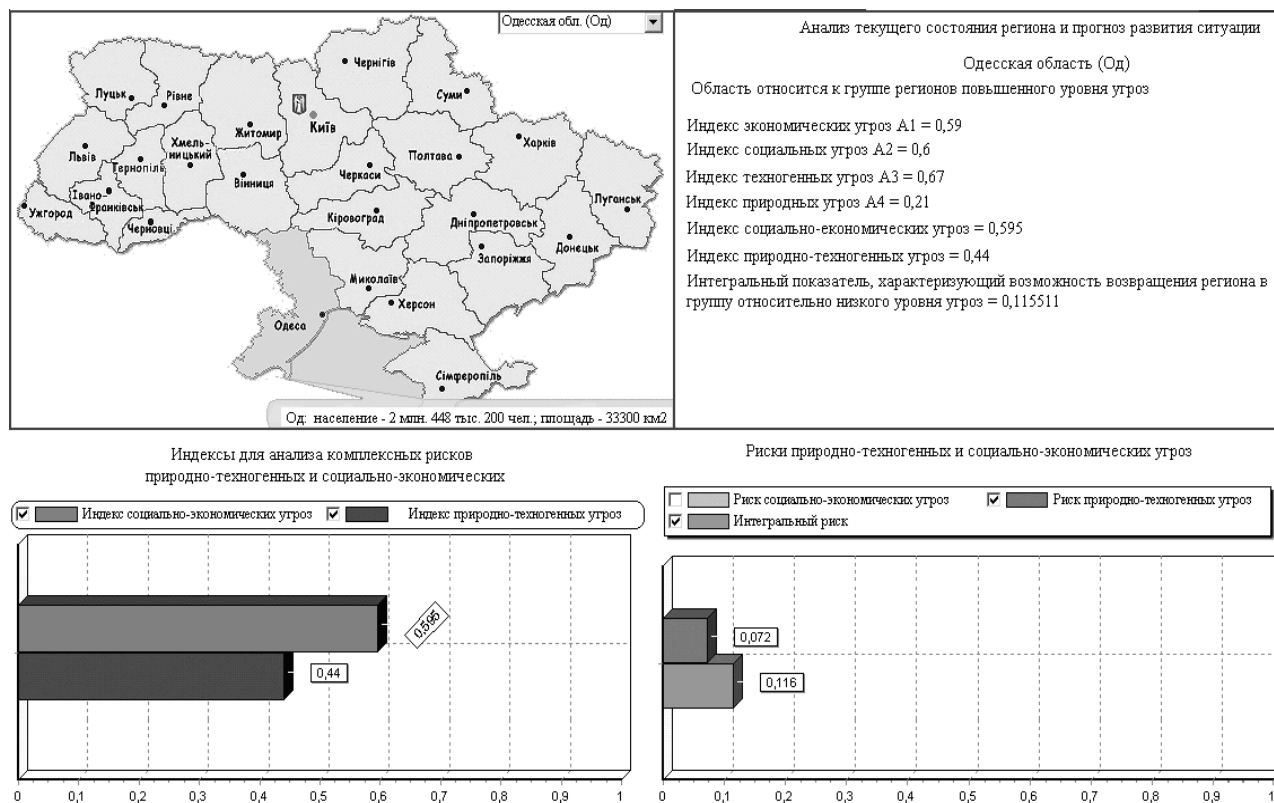


Рис. 4 – Профиль угроз для Одесской области

Для регионов с повышенным уровнем угроз с помощью модели определяются стратегии для нормализации уровня безопасности. Рассчитываются уровни, до которых необходимо уменьшить природно-техногенные и социально-экономические нагрузки для вывода региона из зоны повышенного риска кризисных явлений в зону относительно низкой уязвимости. Величина уменьшения уровня нагрузок до критических значений, которая соответствует такому переходу, определяется интегральным индексом, который определяет коридор возможностей исследуемого региона.

Заключение

Глобальные изменения значительно деформируют пространство безопасности, увеличивая уязвимость социально-экономических систем. Это обусловлено возрастающей

неопределенностью и нестабильностью функционирования значительно усложнившихся общественных систем, в поведении которых стали возможны резкие скачкообразные изменения. Слабые воздействия, при определенных условиях, становятся способными выводить системы на совершенно новые сценарии развития. Все это порождает принципиально новую ситуацию, которая значительно снижает эффективность существующих подходов к управлению процессами в экономике и суживает горизонт прогнозирования. Поэтому актуальной задачей становится поиск новых подходов к изучению современной экономики, основанных на использовании методов нелинейной динамики, позволяющих прогнозировать изменение уязвимости общества и эффективно управлять ею. В данной статье намечены пути создания таких подходов. Получены следующие результаты.

1. Разработан метод оценки рисков, вызванных глобальными изменениями, и связанной с ними деформации пространства безопасности. Он позволяет исследовать эффективность реформ в социально-экономической и природно-техногенной сферах.

2. Разработан новый подход к моделированию сложных систем, который позволяет расширить горизонт прогнозирования в условиях неполноты данных, за счет использования комбинации детерминированных и стохастических моделей. В тех случаях, когда из-за уникальности явления вероятностные методы становятся неэффективными, поведение системы исследуется с помощью теории гладких отображений.

3. Проведено ранжирование регионов Украины по уровням социально-экономических и природно-техногенных угроз. Намечены подходы для разработки стратегии снижения уязвимости региона в зависимости от существующего в нем профиля угроз.

Список использованной литературы

1. Бек У. Общество риска. На пути к другому модерну. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 384 с.
2. Атоев К.Л. Моделювання впливу системних ризиків на сталий розвиток суспільства в умовах світової фінансової кризи // Методи комплексної оцінки та прогнозування стану соціально-економічної сфери України / за ред. П.С. Кнопова, І.К. Цикунова – Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2009. – С. 5–26.
3. Зильпукаров М.Г., Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В. Применение метода русел и джокеров к исследованию системы Розенцвейга–Макартура. // МКО, 2006, т. 2, стр. 28–38.
4. Simulation and optimization methods in risk and reability theory/ edd. P.S.Knopov, P.M.Pardalos. – New York: Nova Sciencie Publishers Inc, 2009. – 285 p.
5. Ermoliev Y., von Vinterfeldt D. Systemic riskand security management // Managing Safety of Heterogeneous Systems, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.
6. Сергиенко И.В., Яненко В.М., Атоев К.Л. Общая концепция управления риском экологических, техногенных и социогенных катастроф // Кибернетика и системный анализ. – 1997. – № 2. – С. 65–86.

7. Cellier F.E. World3 in Modelica: Creating System Dynamics Models in the Modelica Framework // Proc. 6th International Modelica Conference, Bielefeld, Germany. – 2008. – Vol. 2, pp. 393–400.
8. Моделирование и прогнозирование глобальной, региональной и национальной динамики / отв. ред. А.А. Акаев, А.В. Коротаев, Г.Г. Малинецкий, С.Ю. Малков. – М.: ЛИБРОКОМ/URSS, 2012. – 486 с.
9. Атоев К.Л., Пепеляев В.А. Моделирование механизмов возникновения неустойчивости сложных систем // Теория оптимальных решений. – 2007. – № 6. – С. 51–58.

Стаття надійшла до редакції 09.01.13 російською мовою

© К.Л. Атоев, П.С. Кнопов, В.А. Пепеляев

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРИ АДАПТАЦІЇ ДО ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН

Розроблено математичні моделі сталого соціального, економічного і екологічного розвитку для визначення сценаріїв ефективної адаптації до глобальних змін. Моделі дозволяють оцінювати ймовірність виникнення надзвичайних станів різного тенеу, вирішувати комплексні проблеми управління ризиками в умовах підвищеної невизначеності, пов'язаної з глобальними змінами, розраховувати ефективність різних сценаріїв зниження вразливості суспільства.

© K.L. Atoyev, P.S. Knopov, V.A. Pepeljaev

THE RISKS MANAGEMENT UNDER ADAPTATION TO GLOBAL CHANGES

The mathematical models of sustainable social, economic and environmental development to determination of scenarios of effective adaptation to global changes are elaborated. Models allow estimation probability of various emergencies, solving integrated problems of risk management under increased uncertainty caused by global changes and computing efficiencies of different scenarios for reduction of social vulnerability.