

10. Форд М. Роботы наступают: Развитие технологий и будущее без работы / Пер. с англ. С. Чернина. М.: Альпина нон-фикшн, 2016. 430 с.
11. Форман Дж. Много цифр: Анализ больших данных при помощи *Excel* / Пер. с англ. А. Соколовой. М.: Альпина Паблишер, 2016. 461 с.
12. Фрэнкс Б. Революция в аналитике: Как в эпоху *Big Data* улучшить ваш бизнес с помощью операционной аналитики / Пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2016. 316 с.
13. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2017. 208 с.
14. Шваб К., Дэвис Н. Технологии Четвертой промышленной революции / Пер. с англ. М.: Эксмо, 2019. 320 с.
15. Харари Ю.Н. *Homo Deus*. Краткая история будущего / Пер. с англ. А. Андреева. М.: Синдбад, 2018. 486 с.
16. Харари Ю.Н. *Lessons for the 21st Century* / Пер. с англ. Ю. Гольдберга. М.: Синдбад, 2019. 416 с.
17. Gorelova G.V., Pankratova N.D. Scientific Foresight and Cognitive Modeling of Socio-Economic Systems // Proc. of the 18 th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, TECIS-2018, IFAC Papers OnLine. ELSEVIER, 2018. 51–30. P. 145–149. DOI:10.1016/j.ifacol.2018.11.264.
18. Программа для когнитивного моделирования и анализа социально-экономических систем регионального уровня (Горелова Г.В., Калиниченко А.И., Кузьминов А.Н.). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018661506 от 07.09.2018.

УДК 338.266

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-191

Горелова Галина Викторовна,

д-р техн. наук, профессор, научный руководитель

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РИСКОВ В ПОДЗЕМНОМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Южный федеральный университет,
Институт управления в экономических, экологических
и социальных системах, Таганрог, Россия,
gorelova-37@mail.ru

Аннотация. Развитие мегаполисов приводит к сокращению количества неосвоенных городских территорий, к необходимости освоения подземного пространства. Подземная среда обитания должна быть комфортной и безопасной для человека, поэтому необходимо анализировать и прогнозировать всевозможные

риски, стремиться минимизировать приносимый ими ущерб. Предлагается использовать инструментарий когнитивного имитационного моделирования для изучения влияния рисков при подземном градостроительстве на этапе предпроектных исследований подземных участков. Разработанная модель системы в виде иерархической когнитивной карты обобщено представляет причинно-следственные отношения между объектами природно-технической геосистемы. Приводятся результаты анализа модели и процессов развития ситуаций на модели под влиянием различных рисков.

Ключевые слова: подземное градостроительство, когнитивное моделирование, имитация, риски, предвидение.

Galina V. Gorelova,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Supervisor

RISK INFLUENCE ANALYSIS IN UNDERGROUND URBAN PLANNING BASED ON COGNITIVE SIMULATION

South Federal University, Institute of Management in Economic,
Environmental and Social and Systems, Taganrog, Russia,
gorelova-37@mail.ru

Abstract. The development of megacities leads to a reduction in the number of undeveloped urban areas, to the need for the development of underground space. The underground habitat should be comfortable and safe for humans, so it is necessary to analyze and predict all kinds of risks, strive to minimize the damage they cause. It is proposed to use the tools of cognitive simulation to study the impact of risks in underground urban planning at the stage of pre-design studies of underground sections. The developed model of the system in the form of a hierarchical cognitive map summarizes the causal relationship between the objects of the natural-technical geosystem. The results of the analysis of the model and the processes of development of situations on the model under the influence of various risks are presented.

Keywords: underground urban planning, cognitive modeling, imitation, risks, foresight.

В настоящее время в мире наблюдается все возрастающий интерес к проблеме освоения подземного пространства, с чем связано и развитие горных наук, возникновение в них новых направлений и предметов исследования, например таких, как техногенно преобразуемые недра земли. Развивается наука «Строительная геотехнология», система знаний о способах и закономерностях управляемого техногенного преобразования недр. Среди исследований российских ученых следует отметить работы Б.А. Картозия [6, 7, 10], внесшего существенный вклад в развитие этой науки и провозгласившего [10, с. 15–16] «...принцип приоритетности уровня комфортности труда и отдыха человека при строительстве и эксплуатации подземных сооружений различного

назначения, гарантирующий улучшение экологических и социальных условий проживания в крупных городах и промышленных районах».

В настоящее время, как известно, структура этой науки представлена четырьмя основными разделами: подземная урбанистика, механика подземных сооружений, геоника и управление состоянием горных пород при строительстве. Развитие строительной геотехнологии связано с междисциплинарными исследованиями и в данной работе предлагается использовать междисциплинарное когнитивное имитационное моделирование сложных систем [1 – 5, 9, 11] для исследования проблем и задач подземного строительства. Основанием этому служит то, что когнитивное моделирование предназначено для изучения сложных систем, порождению новых знаний о них в условиях неполноты и разнородности информации, что характерно также для подземного строительства. Подходы к исследованиям и многие задачи исследований в четырех разделах строительной геотехнологии могут решаться методами когнитивного моделирования, особенно на этапе предпроектных исследований пригодности подземных участков для строительства. Это задачи разработки и обоснования стратегии и методов освоения подземного пространства (первый раздел – на этапе проектирования подземных сооружений необходимо рассмотреть и обосновать социально-экономическую целесообразность и техническую возможность строительства подземных сооружений в горно-геологических условиях и в условиях влияния технологии строительных работ, функционального назначения строительных объектов). Это задачи (второй раздел) оценки устойчивости горных выработок, исследования процессов взаимодействия инженерных конструкций с породными массивами и установления качественных и количественных характеристик их напряженно-деформированного состояния и др.; второй раздел может представить данные и получить новые знания о них после когнитивного моделирования при анализе свойств когнитивной модели. Содержание исследований третьего раздела, включающее исследования «взаимосвязей элементов технологии горно-строительных работ, установление качественных и количественных параметров, определяющих выбор способов, техники и технологии строительства, эффективных методов организации труда и управления работами по строительству...» оказывается необходимым при разработке когнитивной модели, установлении отношений между ее объектами (факторами, сущностями), являющимися также концептами (понятиями), связанными с подземным строительством.

Объектом исследования в представляемой работе являлось подземное строительство в мегаполисе.

В современном мире развитие мегаполисов приводит к сокращению количества неосвоенных городских территорий, к необходимости

планомерного и комплексного освоения подземного пространства, в котором целесообразно размещать сооружения различного назначения. Появление новой – подземной среды обитания, связано с возможностью возникновения различных рисков, как природных, геологических, так и связанных с человеческой деятельностью. Подземная среда обитания должна быть комфортной и безопасной для человека, поэтому необходимо анализировать и прогнозировать всевозможные риски, стремиться минимизировать приносимый ими ущерб. Геотехнические процессы, ошибки при проектировании, несовершенство существующих технологий, возникновение непредвиденных ситуаций, геологические и экологические процессы могут приводить к катастрофам. Это на первый план выдвигает необходимость решения социально-эколого-экономической проблемы – проблемы жизнестойкости и безопасности подземного объекта в экстремальных и чрезвычайных ситуациях. Фактор риска является неотъемлемым признаком освоения подземного пространства, поскольку подземное пространство характеризуется сочетанием множеством внешних и внутренних статических и динамических нагрузок, всевозможных техногенных воздействий внутри подземного сооружения, вредных природных проявлений со стороны массива горных пород и т. п. В настоящее время проведена классификация рисков, возникающих при подземном строительстве. Выделено 8 групп [10]: строительные, экологические, управленческие и исполнительские, коммерческие, экономические, контрактные, социальные и эксплуатационные. Локализация или предотвращение негативных последствий рисков, повышение жизнестойкости сооружений в экстремальных ситуациях, научное обоснование методов управления рисками является научной проблемой, решение которой имеет важное народно-хозяйственное значение.

В процессе когнитивного исследования проблем подземного градостроительства была разработана модель системы, названная «Подземное градостроительство», имеющая вид иерархической когнитивной карты, которая обобщенно представляет причинно-следственные отношения между объектами природно-технической геосистемы подземного градостроения. Эта модель была построена на основании теоретических знаний в области строительной геотехнологии, экспертных и статистических данных с помощью авторской программной системы CMLS [11]. Иерархическая когнитивная модель *IG* в данном случае является двухуровневой.

Вершины верхнего уровня: Жизнестойкость объекта подземного градостроительства (*I-V11*), Катастрофы, экстремальные и чрезвычайные ситуации (*I-V13*), Экологические риски (*I-V15*), Экономические риски (*I-V16*), Генетический тип и литологический состав грунтов (*I-V5*).

Вершины нижнего уровня: Уровень динамической нагрузки ($V1$), Показатель статической нагрузки от поверхностной застройки ($V2$), Показатель статической нагрузки окружающей грунтового массива ($V3$), Существующие подземные объекты ($V4$), Расчетное сопротивление грунта ($V6$), Водоносные горизонты и верховодка ($V7$), Тип рельефа и морфометрия ($V8$), Инженерно-геологические процессы ($V9$), Геотехнологии строительства подземных сооружений ($V10$), Уровень комфортности труда и отдыха человека при строительстве и эксплуатации подземных сооружений ($V12$), Строительные, эксплуатационные риски ($V14$), Квалификация персонала ($V17$), Промышленная безопасность ($V18$), Качество и сроки строительства ($V19$), Управленческие риски ($V20$).

Когнитивная модель IG представлена на рисунке 1. На рисунке сплошными линиями изображены положительные связи между вершинами, когда усиление/ослабление сигнала в вершине V_i приводит к усилению/ослаблению сигнала в вершине V_j , пунктирными линиями изображены отрицательные связи, когда усиление/ослабление сигнала в вершине V_i приводит к ослаблению/усилению сигнала в вершине V_j .

Разработка когнитивной модели завершает первый этап когнитивного имитационного моделирования. На втором этапе проводится анализ свойств модели.

В процессе исследования были проанализированы структурные свойства модели и ее устойчивость (структурная и к возмущениям).

Для исследования структурной устойчивости было необходимо выделить и проанализировать все циклы положительной и отрицательной обратной связи в системе. На рисунке 2 изображен один из отрицательных циклов. Как показал анализ, в модели существует 946 циклов, среди которых наблюдается 161 цикл отрицательной обратной связи (нечетное число отрицательных дуг) и 785 циклов положительной обратной связи. Наличие нечетного числа циклов отрицательной обратной связи свидетельствует о структурной устойчивости системы [2, 3, 5]. Это свидетельствует о том, что небольшие изменения структуры модели не нарушат этого свойства. Огромное число возможных циклов, как в модели, так и в реальной системе существенно затрудняет задачу исследователя выделить, проверить и интерпретировать циклы без помощи специальных программных средств [11].

Анализ устойчивости модели к возмущениям по критерию $|M| < 1$, где M – максимальный по модулю корень характеристического уравнения матрицы отношений когнитивной карты [2, 5, 9], показал импульсную неустойчивость, поскольку $|M| = 1,88 > 1$. Это может быть вызвано тем, что отношения между всеми вершинами карты на этом этапе исследования приняты одинаковыми: +1 или -1. Введение весовых коэффициентов для структурно устойчивой системы может сделать модель устойчивой и к возмущениям.

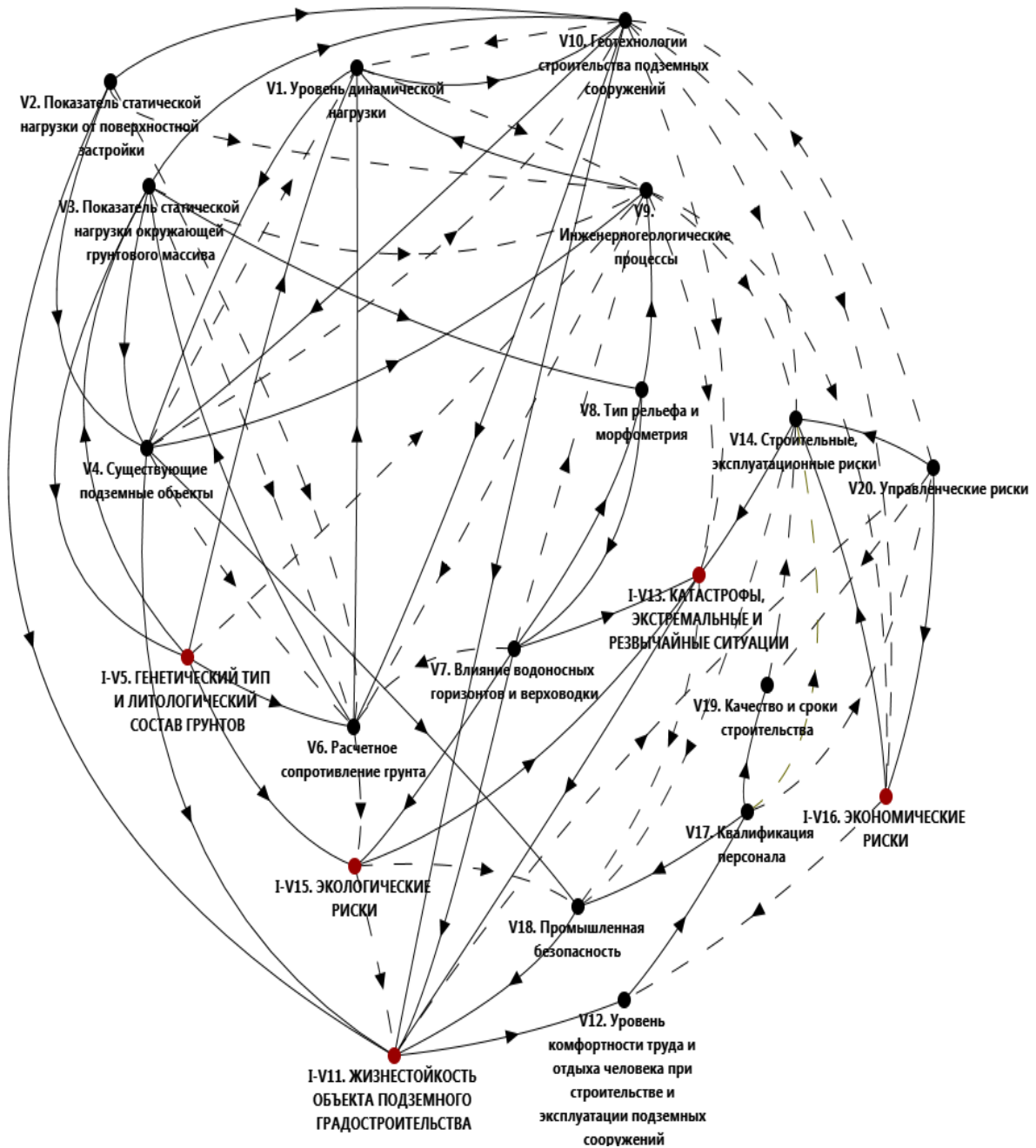


Рис. 1. Иерархическая когнитивная модель IG «Подземное градостроительство»

После анализа свойств модели был проведен третий этап когнитивного моделирования – этап сценарного моделирования. Сценарное моделирование осуществляется путем внесения импульсных воздействий в вершины когнитивной модели (в одну, две и более) [2, 5, 11].

Перед проведением сценарного моделирования был разработан план вычислительного эксперимента (план сценариев), задающий вершины, в которые должны быть внесены возмущения с целью выяснить, что может произойти в системе, если начнут изменяться ее параметры, изменяться внутренняя и внешняя среда системы.

Каждый сценарий – это предвидение возможного развития ситуаций в системе, если будут происходить предполагаемые события. Например, возникнет некоторая экстремальная ситуация из-за недостаточной квалификации персонала, обеспечивающего функционирование подземного объекта.

В таблице 1 и на рисунках 3 и 4 приведены результаты импульсного моделирования по двум сценариям.

Первый сценарий. Предположим, что на некотором участке подземного строительства могут возникнуть все обозначенные в модели риски – экономические, экологические, строительные, управленческие. Т. е. желательно проанализировать один из возможных худших сценариев.

Сценарий № 1. Пусть растут все риски в системе; возмущающие воздействия $q_{14} = +1$, $q_{15} = +1$, $q_{15} = +1$, $q_{20} = +1$ вносятся в вершины $V_{14}, V_{15}, V_{16}, V_{20}$.

Результаты вычислительного эксперимента приведены в таблице 1, по данным которой построена часть графиков импульсных процессов (рис. 3).

Как видно по результатам моделирования, данный сценарий показывает возможность крайне негативных тенденций развития ситуаций в системе. При начальном возникновении рисков они и в дальнейшем могут нарастать при увеличении шагов моделирования. Эта тенденция порождает связанные с ними тенденции снижения жизнестойкости объекта подземного градостроительства и рост катастроф, экстремальных и чрезвычайных ситуаций.

Рассмотрим возможность противостоять этим негативным тенденциям.

Таблица 1

Результаты расчетов импульсных процессов, Сценарий №1

Код	Вершины	Шаги моделирования						
		1	2	3	4	5	6	7
V_1	Уровень динамической нагрузки	0	0	1	1	-2	6	13
V_2	Показатель статической нагрузки от поверхностной застройки	0	0	0	0	0	0	0
V_3	Показатель статической нагрузки окружающей грунтового массива	0	0	0	-1	0	2	-5
V_4	Существующие подземные объекты	0	0	-1	0	0	-6	-2
$I-V_5$	Генетический тип и литологический состав грунтов	0	0	0	0	-1	0	2
V_6	Расчетное сопротивление грунта	0	0	-1	0	3	-5	-7
V_7	Водоносные горизонты и верховодка	0	0	0	0	0	-1	0
V_8	Тип рельефа и морфометрия	0	0	0	0	-1	0	1
V_9	Инженерно-геологические процессы	0	0	0	-2	0	2	-13
V_{10}	Геотехнологии строительства подземных сооружений	0	-1	-1	0	-4	-10	0
$I-V_{11}$	Жизнестойкость объекта подземного градостроительства	0	-1	-2	-4	-8	-14	-28
V_{12}	Уровень комфортности труда и отдыха человека при строительстве и эксплуатации подземных сооружений	0	-1	-3	-5	-8	-15	-27
$I-V_{13}$	Катастрофы, экстремальные и чрезвычайные ситуации	0	2	5	8	13	22	36
V_{14}	Строительные, эксплуатационные риски	1	3	6	9	17	32	57
$I-V_{15}$	Экологические риски	1	1	1	2	1	-3	5
$I-V_{16}$	Экономические риски	1	2	3	4	7	13	23
V_{17}	Квалификация персонала	0	0	-1	-3	-5	-8	-15
V_{18}	Промышленная безопасность	0	-2	-6	-14	-22	-36	-65
V_{19}	Качество и сроки строительства	0	-1	-1	-3	-7	-13	-22
V_{20}	Управленческие риски	1	1	2	4	8	14	23

Второй сценарий. Пусть в предвидении возможности проявления всех видов рисков будут приняты упреждающие управляющие воздействия: повышена квалификация персонала, что может привести и к снижению управленческих рисков.

Сценарий № 2. В модель вносятся возмущающие воздействия $q_{14} = +1$, $q_{15} = +1$, $q_{16} = +1$, $q_{20} = -1$ и управляющее воздействие $q_{17} = +1$ в вершины V_{14} , V_{15} , V_{16} , V_{17} , V_{20} .

Результаты моделирования представлены на рисунке 4.

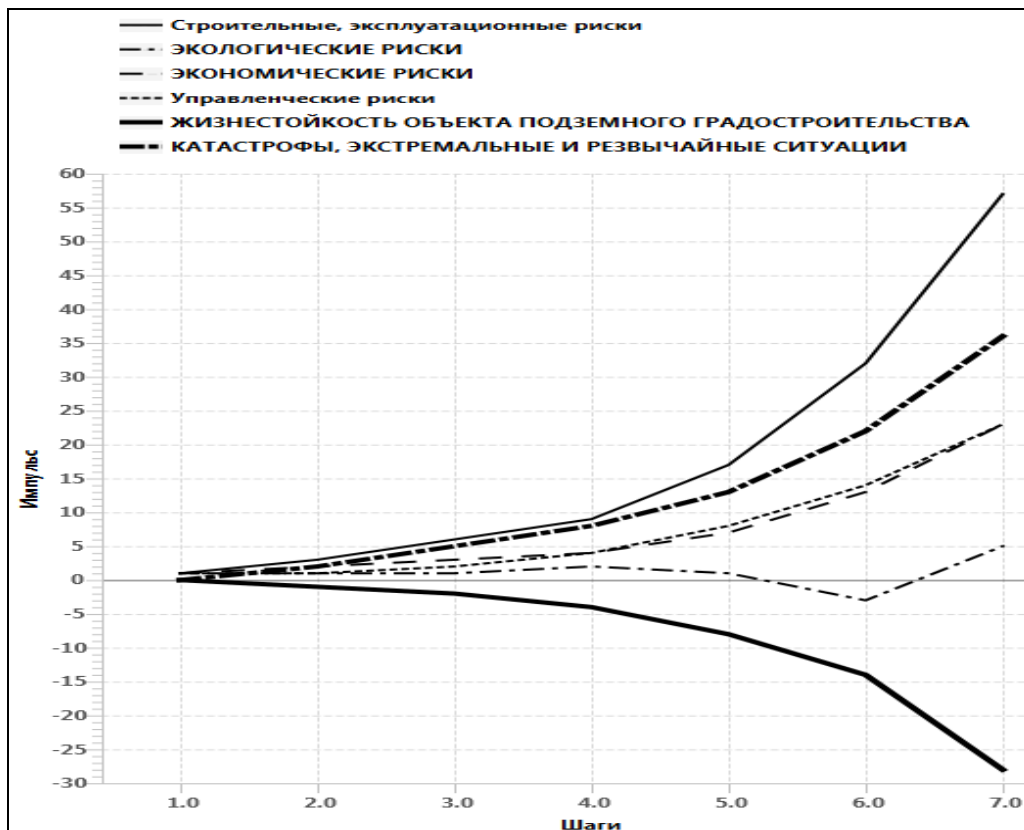


Рис. 3. Графики импульсных процессов, Сценарий №1

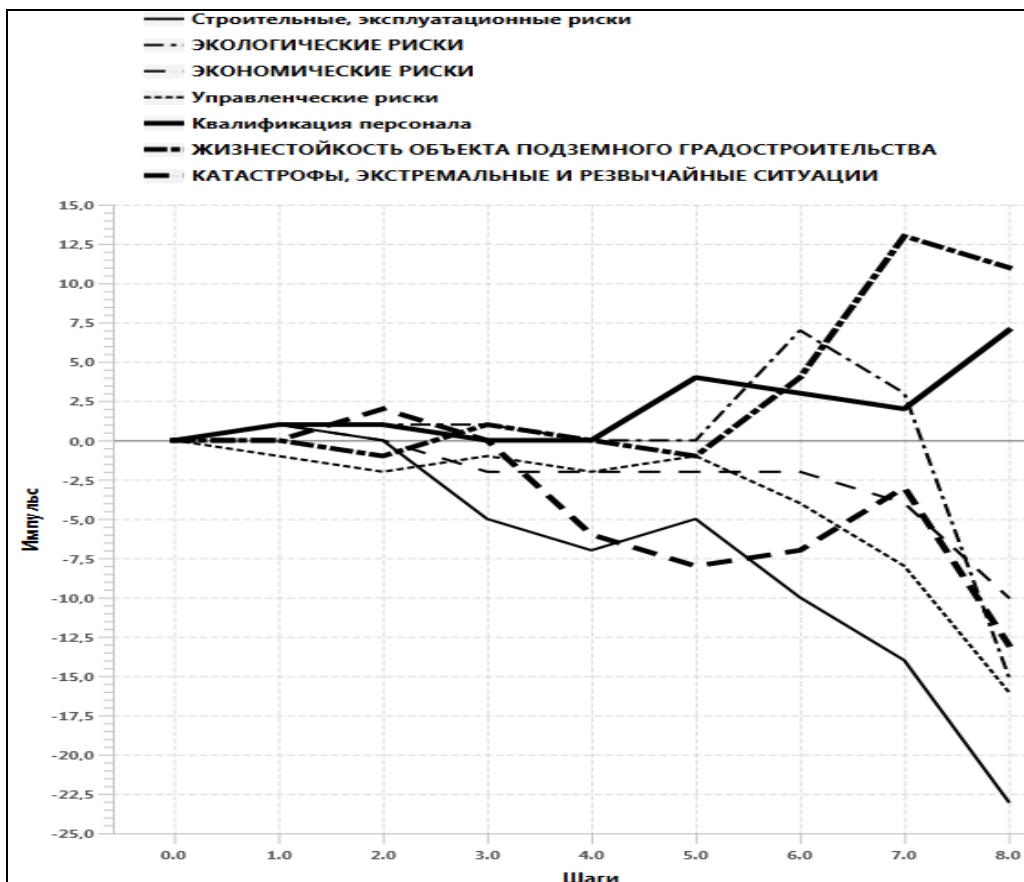


Рис. 4. Графики импульсных процессов, Сценарий №2

Как видно из рисунка 4, повышение квалификации персонала и снижение управленческих рисков позволяют изменить тенденцию возрастания строительных, эксплуатационных и экономических рисков на противоположную, эти риски падают. Но экологические риски могут иногда возрастать (5 и 6 шаги моделирования), этим можно объяснить и возможность нарастания катастроф и чрезвычайных ситуаций. Но в целом, жизнестойкость объекта подземного градостроительства в этом случае улучшается. Таким образом, сценарий развития ситуаций в условиях повышения квалификации персонала и снижения управленческих рисков можно считать одним из желательных.

Помимо этих двух сценариев в процессе исследования были разработаны и проанализированы еще 11 сценариев, в которых рассматривалось влияния изменений в вершинах когнитивной карты, характеризующих геологические свойства подземной территории.

Заключение

Когнитивное моделирование является удобным инструментом поддержки принятия решений в исследованиях сложных систем независимо от их природы, что было проиллюстрировано на примере когнитивного анализа системы подземного градостроительства. Результаты моделирования, имитирующего свойства и поведение сложной системы, позволяют выявить ее желательные и нежелательные особенности, разработать и обосновать стратегии управления системой в условиях большого количества ее объектов и взаимосвязей между ними, в условиях разного рода неопределенности и недостатка эмпирических данных.

Список литературы

1. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Управление большими системами: сборник трудов. 2006. № 16. С. 26–39.

2. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. 332 с.

3. Gorelova G.V., Pankratova N.D. Scientific Foresight and Cognitive Modeling of Socio-Economic Systems // Proc. of the 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability (TECIS-2018), IFAC Papers OnLine. ELSEVIER, 2018. 51–30. P. 145–149.

4. Горелова Г.В. Киберфизические системы и когнитивное моделирование сложных систем // В матер. XXVII Междунар. конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем», 18.12.2019 г., Москва. 2019. С. 299–304.

5. Инновационное развитие социо-экономических систем на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования. Коллективная монография / Под ред. Г.В. Гореловой, Н.Д. Панкратовой. Киев: Изд-во «Наукова Думка», 2015. 464 с.

6. Картозия Б.А. Освоение подземного пространства – глобальная проблема науки, производства и высшего горного образования // Материалы конф. «Перспективы освоения подземного пространства», 2010. С. 12–26.

7. Картозия Б.А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), «Строительство и архитектура». 2015. С. 615–628

8. Куликова Е.Ю., Корчак А.В., Левченко А.Н. Стратегия управления рисками в городском подземном строительстве. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 207 с.

9. Кульба В.В., Кононов Д.А., Ковалевский С.С., Косяченко С.А., Нижегородцев Р.М., Чернов И.В. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем. М.: ИПУ РАН, 2002. 122 с.

10. Левченко А.Н. О новом направлении научных исследований в строительной геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. №2. С. 15–21.

11. Программа для когнитивного моделирования и анализа социально-экономических систем регионального уровня (Горелова Г.В., Калининченко А.И., Кузьминов А.Н.). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018661506 от 07.09.2018.

УДК 338.266; 332.05

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-192

*Горелова Галина Викторовна*¹,

д-р техн. наук, профессор, научный руководитель;

*Мельник Эдуард Всеволодович*²,

д-р техн. наук, заведующий лабораторией

КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК СЛОЖНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ

¹ Южный федеральный университет,
Институт управления в экономических, экологических и социальных
системах, Таганрог, Россия,
gorelova-37@mail.ru

² Южный научный центр РАН, Таганрог, Россия,
evm17@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы имитационного моделирования структуры и поведения водной экологической системы Понто-Каспийского региона и проведено когнитивное имитационное моделирование этой сложной системы. Когнитивное моделирование заключалось в разработке иерархической когнитивной карты, представляющей структуру этой экосистемы, исследовании свойств этой модели и проведения сценарного моделирования на ней. Исследования проводились на основании теоретических, статистических и экспертных данных об этой сложной системе. Приведены примеры когнитивной карты, исследования ее структурной устойчивости и одного из возможных сценариев развития ситуаций в системе.

Ключевые слова: сложные системы, водные экосистемы, анализ, имитация, когнитивное моделирование, сценарии развития.