

**А.З. Варганов, А.А. Кобяков, И.В. Петров,
С.М. Романов, А.В. Федаш**

МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ЦЕЛЮ УЧЕТА ВОЗМОЖНЫХ РИСКОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ ОСВОЕНИЯ НЕДР ГРАДОПРОМЫШЛЕННЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Сформированы принципы методологии исследования горных массивов и проектирования подземных объектов в градопромышленных агломерациях, основанные на теории проектирования комплексного освоения недр, изложенной в трудах М.И. Агошкова, К.Н. Трубецкого, Н.В. Мельникова. Рассмотрены подходы к экономико-математическому моделированию проектных решений. Выявлены основные типы рисков и причин неустойчивости горных массивов при освоении недр мегаполисов. Рассмотрены методы оценки указанных типов рисков, которые базируются на теоретических основах теории вероятности и математической статистики, экспертного анализа. Выявлено, что перспективным направлением прогнозирования технологического риска является применение теории адаптации сложных технологических систем. Представлены выводы, что при проектировании, создании и эксплуатации геотехнологической системы, структурными элементами которой являются подземные сооружения на урбанизированных территориях, можно использовать и применить теорию и приложения нечетких множеств, так как они обеспечивают прогноз поведения элементов геотехнологической системы, как при стохастической, так и при лингвистической неопределенности.

Ключевые слова: градопромышленные агломерации, горный массив, нечеткие множества, оценка рисков, проектирование подземных сооружений, теория адаптации, теория проектирования комплексного освоения недр, экономико-математическое моделирование, экспертный анализ.

Применительно к методологии исследования горных массивов и проектирования подземных объектов в градопромышленных агломерациях это понятие можно сформулировать как систему апробированных принципов и методов многостадийного поэтапного исследования, проектирования и оценки эффективности строительства и эксплуатации подземных сооружений на всей стадии их жизненного цикла [12].

Научные результаты исследований и рекомендации по совершенствованию

методологии проектирования подземных сооружений включены в нормативные документы, нормы технологического проектирования и широко используются проектными организациями. Исследование недр с целью создания подземных объектов на урбанизированной территории должно базироваться на теории проектирования комплексного освоения недр, изложенной в трудах М.И. Агошкова, К.Н. Трубецкого, Н.В. Мельникова [17, 18]. Она состоит в решении проблемы обеспечения потребности

общества в необходимых георесурсах, в том числе пространственных, сохранения и увеличения природного богатства и экологического потенциала недр.

В настоящее время основу методологии проектирования освоения подземного пространства мегаполисов и принятия решений составляют линейные и нелинейные дискретные экономико-математические модели, которые реализуются с помощью одного или нескольких методов, например, комплексной оптимизации, имитационного моделирования, прогнозирования, теории и приложений нечетких множеств, когнитивных и динамических алгоритмов, анализа и параметрического синтеза стохастических систем, гибридного метода моделирования общего экономического равновесия с использованием агент-ориентированных моделей, энтропийного анализа сложных систем, структурного системного анализа IDEFO и др. [1, 5, 11].

В практике проектирования подземных объектов в городской среде оптимальность принимаемых решений является экономической категорией и используется для оценки эффективности инвестиционной деятельности. В настоящее время применяются детерминированные, стохастические и комбинированные методы и алгоритмы оптимизации параметров сложных систем [8].

Детерминированные методы оптимизации базируются на использовании основного критерия оптимальности, как общего измерителя степени достижения цели инвестора. Выделяются следующие формы основного критерия оптимальности: удельные приведенные затраты; прибыль; интегральный динамический показатель эффективности; чистый дисконтированный доход (NPV); чистая приведенная стоимость; индекс рентабельности инвестиций, который рассчитывается как

отношение чистой текущей стоимости денежного притока к чистой текущей стоимости оттока (включая первоначальные инвестиции); индекс доходности дисконтированных инвестиций; внутренняя норма доходности; срок окупаемости инвестиций с учетом дисконтирования; максимальный денежный отток с учетом дисконтирования и др. [9, 15].

На практике применяют варианты алгоритма оптимизации без использования и с использованием концепции дисконтирования.

Структура алгоритма расчета NPV может отличаться в зависимости от специфических условий проектируемого объекта, места его расположения в горном массиве и на урбанизированной территории, степени воздействия на наземные объекты и направлений использования. Характерным признаком детерминированной оптимизации является относительное постоянство исходных данных, условий строительства и эксплуатации проектируемого объекта во всех расчетных вариантах.

Стохастические методы оптимизации, сохраняя основные положения детерминированных методов, учитывают надежность исходных данных о состоянии горного массива, изменения в течение жизненного цикла подземного объекта технологических и социальных параметров, рыночных процессов, формируемых в городской среде, а также специфических горных рисков. Согласно результатам научных исследований, ГОСТ Р 51901-2002, а также анализа причин неустойчивости горных массивов при освоении недр городов, выделены следующие основные типы рисков:

- риск принятия проектных решений с использованием ограниченной или усредненной геологической информации [20];
- риск возникновения технологической или экологической аварии [16];

- технический риск при использовании технических устройств, не адаптированных к конкретным условиям подземного объекта;

- территориальный риск, связанный с плотностью и ценностью застройки, условиями среды обитания населения [13, 14];

- сезонный риск, связанный с климатическими условиями расположения мегаполисов;

- риск увеличения срока строительства или не завершения ввода объекта в эксплуатацию;

- эксплуатационный риск (подземный объект будет эксплуатироваться с показателями хуже проектных) [10];

- ценовой риск (текущие издержки и налоги не покрываются доходами от использования подземного объекта).

Методы оценки указанных типов рисков базируются на теоретических основах теории вероятности и математической статистики. С учетом стандартного отклонения исходных параметров модели проводятся оптимизационные расчеты и определяются пределы изменения основного критерия оптимальности [2].

Величина прогнозируемого риска сравнивается с допустимым (приемлемым) риском. Следует отметить, что надежной методологии оптимизации параметров проектируемого подземного сооружения с учетом рисков в настоящее время пока не разработано. При оптимизации вариантов проектов возможные сценарии сочетаний изменения входных параметров модели принимаются экспертно и не всегда подтверждаются на практике [21]. При анализе влияния качественных входных параметров на проектные решения варианты проекта принимаются экспертно или интуитивно, так как будущая ситуация не всегда прогнозируемая. Одной из причин экономического риска является технологический риск, связанный с функционировани-

ем сложной геотехнологической системы [3, 4].

Перспективным направлением прогнозирования технологического риска является применение теории адаптации сложных технологических систем. В горной науке эти теории не получили должного развития, так как заказчик проекта и проектная организация, менеджмент, решая множество текущих проблем на этапе проектирования, строительства и эксплуатации объекта не могут учесть варианты его функционирования при непрогнозируемом изменении рыночной среды и недостаточной информированности о состоянии горного массива. Реакция на изменения этой среды носит ситуационный характер и во многих случаях является запоздалой, что в конечном итоге приводит к дополнительным издержкам как экономического, так и социального характера [22].

Управление геотехнологической системой подземного объекта можно рассматривать как условно стохастическую систему высокоуровневого (Hi-tech) управления, так как геотехнологическая система обладает всеми характеристиками, свойственными системе (Hi-tech) управления, что подтверждается следующими признаками: работа в реальном времени, стохастичность воздействия и малая изученность отдельных элементов системы, ограниченность информации о горном массиве, влияние разнообразных видов смежных объектов, новое, в том числе не санкционированное подземное строительство или нарушение ранее созданных объектов [19].

При проектировании, создании и эксплуатации геотехнологической системы, структурными элементами которой являются подземные сооружения на урбанизированных территориях, можно использовать и применить теорию и приложения нечетких множеств, так как они обеспечивают прог-

ноз поведения элементов геотехнологической системы, как при стохастической, так и при лингвистической неопределенности [6, 7].

Применение теории и приложений нечетких множеств при разработке и оптимизации моделей сложных подземных объектов, располагаемых в городской среде, на основе мониторинга состояния горного массива осуществляется для следующих целей: обеспечение информацией лиц, принимающих решения; обоснование критериев для отсеивания нерациональных вариантов строительства и эксплуатации объектов; снижение уровня неопределенности в поведении сложной системы и ее элементов, разработка алгоритмов обработки неколичественной нечеткой информации.

Ситуации, характеризующиеся неопределенностью, можно анализировать с помощью нечетких когнитивных моделей, которые представляют со-

бой знаковый ориентированный граф. Каждой вершине графа соответствует фактор ситуации, а каждой дуге функциональная зависимость факторов между соседними узлами. Эта зависимость может быть алгебраической или иметь весовое значение. Нечеткие когнитивные модели можно применить для моделирования процессов геотехнологической системы, находящейся в трех режимах: нормальный, предаварийный или чрезвычайный. Эти подходы могут быть применены в качестве дополнения к методологии системного моделирования для конкретизации отдельных элементов этой методологии к процессу моделирования геотехнологической системы.

Основой информационного наполнения представленных методик являются данные исследований, мониторинга и контроля горного массива и подземных сооружений на различных этапах их жизненного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклашов И.В., Дудченко Т.О., Скворцов А.А. Моделирование и разработка инженерного метода расчета деформированного состояния грунтовых массивов при подработке городским подземным строительством // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 1. – 2012. – С. 105–111.

2. Вартанов А.З., Рубан А.Д., Захаров В.Н., Ковпак И.В. Геоконтроль и геомеханическое обеспечение задач освоения подземного пространства города Москва. Сборник трудов Международной научно-практической конференции по вопросам освоения подземного пространства города Москвы. – М.: ЗАО «Мир», 2008. – С. 48–53.

3. Вартанов А.З., Ковпак И.В., Титов Н.Е. Геофизические исследования геометрических характеристик сооружений типа «стена в грунте» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 9. – С. 130–135.

4. Вартанов А.З., Ковпак И.В., Титов Н.Е. Геоконтроль при щитовой проходке коллекторов неглубокого заложения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 8. – С. 151–157.

5. Вартанов А.З., Рубан А.Д., Ковпак И.В. Методология формирования и при-

менения геолого-геофизических моделей в целях геоконтроля при освоении подземного пространства мегаполисов // Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 22–28.

6. Вартанов А.З. Геофизические изыскания в условиях мегаполиса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 8. – С. 174–180.

7. Вартанов А.З. Физико-технический контроль и мониторинг при освоении подземного пространства городов. – М.: Горная книга, 2013. – 548 с.

8. Вайно А.Э., Кобяков А.А. Оценка влияния факторов на эффективность типовых вариантов инновационного развития горнопромышленного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – Отдельные статьи (специальный выпуск). Эколого-экономические проблемы горного производства и развития топливно-энергетического комплекса России. – С. 14–19.

9. Гончаренко С.Н., Ле Б.З., Стоянова И.А., Петров И.В. Моделирование параметров инновационных водоохраных мероприятий на основе производственно-технологических показателей добычи угля на предприятиях Вьетнама // Горный журнал. – 2014. – № 9. – С. 143–146.

10. Демин А.М., Иофис М.А., Гришин А.В. К вопросу об освоении подземного пространства Москвы // Инженерные изыскания. – 2010. – № 6. – С. 18–20.

11. Захаров В.Н., Малинникова О.Н., Ковпак И.В., Филиппов Ю.А. Геопространственное моделирование взаимодействия высотных зданий и сооружений с массивом горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 6. – С. 187–192.

12. Захаров В.Н., Малинникова О.Н., Вартанов А.З., Федаш А.В., Петров И.В., Ахмедгареев Р.А. Исследования, мониторинг и контроль строения и свойств недр мегаполисов и зон градопромышленных агломераций. Часть I. Общие правила производства работ: Методические рекомендации. – М., 2015. – 88 с

13. Иофис М.А., Гришин А.В. Развитие методов оценки влияния горных работ на подрабатываемые здания и сооружения // Горный информационно-аналитический бюллетень ОВ 1. – 2012. – С. 90–96.

14. Иофис М.А. Проблемы комплексного освоения территорий и подземного пространства крупных городов и пути их решения // Маркшейдерский вестник. – 2006. – № 4. – С. 20.

15. Калинин А.Р. Эколого-экономическое стимулирование освоения подземного пространства мегаполисов // Горный журнал. – 2009. – № 2. – С. 24–27.

16. Рудяк М.С., Умнов В.А. Анализ особенностей городского подземного простран-

ства как вида ресурсов недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 2. – С. 5–6.

17. Трубешкой К.Н., Иофис М.А. Состояние и проблемы освоения подземного пространства города Москвы // Маркшейдерский вестник. – 2007. – № 4. – С. 27–30.

18. Трубешкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 116–124.

19. Федаш А.В. Алгоритм оценки качества проектов угледобывающих предприятий // Уголь. – 2012. – № 11 (1040). – С. 70–74.

20. Федаш А.В. Анализ состояния и направления совершенствования системы проектирования угледобывающих предприятий // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2011. – № 1. – С. 4–11.

21. Павлова Н.В., Романов С.М. Организация производственно-логистических систем угледобывающих компаний // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2011. – № 11. – С. 48–56.

22. Ревазов М.А., Галиев Ж.К., Романов С.М. Финансовое обеспечение потребности расширенного воспроизводства на угольных предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. № 12. – С. 312–317. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Вартанов Александр Зарайрович¹ – кандидат технических наук,

Кобяков Антон Анатольевич – доктор экономических наук, профессор, Академия горных наук,

Петров Иван Васильевич¹ – доктор экономических наук, профессор,

Романов Сергей Михайлович – доктор экономических наук, профессор, Министерство энергетики Российской Федерации,

Федаш Анатолий Владимирович¹ – доктор технических наук, профессор,

¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

UDC 624.1 (69.003.13)

METHODOLOGIES OF RESEARCH OF A MASSIF AT DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS FOR THE PURPOSE OF THE ACCOUNTING OF POSSIBLE RISKS AT AN ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF PROJECTS OF DEVELOPMENT OF A SUBSOIL THE GRADOPROMYSHLENNYKH OF AGGLOMERATIONS

Vartanov A.Z.¹, Candidate of Technical Sciences,

Kobyakov A.A., Doctor of Economical Sciences, Professor, Academy of Mining Sciences, 125009, Moscow, Russia,

Petrov I.V.¹, Doctor of Economical Sciences, Professor,

Romanov S.M., Doctor of Economical Sciences, Professor, 107996, Ministry of Energy of the Russian Federation, Moscow, Russia,

Fedash A.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

The principles of methodology of research of a massif and design of underground objects in the gradopromyshlennykh agglomerations based on the theory of design of complex development of a subsoil stated in M.I. Agoshkov, K.N. Trubetskoy, N.V. Melnikov's works are created. Approaches to economic-mathematical modeling of design decisions are considered. The main types of risks and the reasons of instability of a massif at development of a subsoil of megalopolises are revealed. Methods of an assessment of the specified types of risks which are based on theoretical fundamentals of probability theory and mathematical statistics, the expert analysis are considered. It is revealed that the perspective direction of forecasting of technological risk is application of the theory of adaptation of difficult technological systems. Conclusions are presented that at design, creation and operation of geotechnological system which structural elements are underground constructions in the urbanized territories, it is possible to use and apply the theory and appendices of indistinct sets as they provide the forecast of behavior of elements of geotechnological system, both at stochastic, and at linguistic uncertainty.

Key words: gradopromyshlenny agglomerations, massif, indistinct sets, assessment of risks, design of underground constructions, theory of adaptation, theory of design of complex development of a subsoil, economic-mathematical modeling, expert analysis.

REFERENCES

1. Baklashov I.V., Dudchenko T.O., Skvortsov A.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012. Special issue1, pp. 105–111.
2. Vartanov A.Z., Ruban A.D., Zakharov V.N., Kovpak I.V. *Geokontrol' i geomekhanicheskoe obespechenie zadach osvoeniya podzemnogo prostranstva goroda Moskva. Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po voprosam osvoeniya podzemnogo prostranstva goroda Moskvy* (Geocontrol and geomechanical maintenance tasks development of underground space Moscow. Proceedings of the International scientific and practical conference on the development of underground space in Moscow), Moscow, ZAO «Mir», 2008, pp. 48–53.
3. Vartanov A.Z., Kovpak I.V., Titov N.E. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 9, pp. 130–135.
4. Vartanov A.Z., Kovpak I.V., Titov N.E. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 8, pp. 151–157.
5. Vartanov A.Z., Ruban A.D., Kovpak I.V. *Gornyy zhurnal*. 2010, no 4, pp. 22–28.
6. Vartanov A.Z. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 8, pp. 174–180.
7. Vartanov A.Z. *Fiziko-tekhnicheskii kontrol' i monitoring pri osvoenii podzemnogo prostranstva gorodov* (Physical and technical control and monitoring during the development of underground space of cities), Moscow, Gornaya kniga, 2013, 548 p.
8. Vayno A.E., Kobayakov A.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012. Special edition, pp. 14–19.
9. Goncharenko S.N., Le B.Z., Stoyanova I.A., Petrov I.V. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 9, pp. 143–146.
10. Demin A.M., Iofis M.A., Grishin A.V. *Inzhenernye izyskaniya*. 2010, no 6, pp. 18–20.
11. Zakharov V.N., Malinnikova O.N., Kovpak I.V., Filippov Yu.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008, no 6, pp. 187–192.
12. Zakharov V.N., Malinnikova O.N., Vartanov A.Z., Fedash A.V., Petrov I.V., Akhmedgareev R.A. *Issledovaniya, monitoring i kontrol' stroeniya i svoystv nedr megapolisov i zon gradopromyshlennykh aglomeratsiy. Chast' I. Obshchie pravila proizvodstva rabot: Metodicheskie rekomendatsii* (Research, monitoring and control of the structure and properties of subsurface areas and megacities industrial agglomerations. Part I. General rules of works: Guidelines), Moscow, 2015, 88 p.
13. Iofis M.A., Grishin A.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, Special issue1, pp. 90–96.
14. Iofis M.A. *Marksheyderskiy vestnik*. 2006, no 4, pp. 20.
15. Kalinin A.R. *Gornyy zhurnal*. 2009, no 2, pp. 24–27.
16. Rudyak M.S., Umnov V.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2003, no 2, pp. 5–6.
17. Trubetskoy K.N., Iofis M.A. *Marksheyderskiy vestnik*. 2007, no 4, pp. 27–30.
18. Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2012, no 4, pp. 116–124.
19. Fedash A.V. *Ugol'*. 2012, no 11 (1040), pp. 70–74.
20. Fedash A.V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2011, no 1, pp. 4–11.
21. Pavlova N.V., Romanov S.M. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2011, no 11, pp. 48–56.
22. Revazov M.A., Galiev Zh.K., Romanov S.M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 12, pp. 312–317.