

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДОВ

Д.С. Конюхов

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, АО «Мосинжпроект», Москва, Россия,
e-mail: gidrotehnik@inbox.ru

Аннотация: Рассмотрена проблема формирования строительной технологии для освоения подземного пространства городов на примере Москвы. Показана актуальность разработки методологической базы выбора и обоснования организационно-управленческого аппарата применительно к механизму формирования и реализации соответствующей стратегии. Исследуется совокупность структурных элементов и инструментария указанной системы применительно к стратегии освоения подземного пространства в целом и отдельных его составляющих как природно-технической геосистемы. Охарактеризованы принципы научно-методического обеспечения строительных подземных технологий. Даны классификации и группировки влияющих факторов и параметров, а также комплексов технических мероприятий. Охарактеризованы классы прогрессивных технологий подземного строительства. Отмечается первостепенное значение учета риска при освоении подземного пространства городов. Подчеркивается необходимость выявления допустимого уровня геотехнического риска, который не приведет к проявлению негативных последствий применения подземных строительных технологий, и одновременно необходима разработка номенклатуры мероприятий по снижению его уровня и др. В целом необходимы корректировка, трансформация и развитие системы комплексного планирования стратегии реализации технологий городского подземного строительства с учетом плотности городской застройки, геотехнического мониторинга и инновационных технических решений по управлению геотехническим риском в рамках системы обеспечения управления в сфере подземного градостроительства, что позволяет в конечном счете количественно оценить обратную реакцию существующей застройки на параметры технологии подземных работ, повысить конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность реализуемых проектов с учетом соблюдения интересов всех сторон.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, интерактивное управление, методология, городская застройка, подземные сооружения, строительные геотехнологии, геотехнический риск, стратегическое планирование.

Для цитирования: Конюхов Д. С. Система комплексного планирования стратегии реализации технологий освоения подземного пространства городов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – №2. – С. 167–178. DOI:10.25018/0236_1493_2023_2_0_167.

A system of integrated planning for the implementation strategy of urban underground space development technologies

D.S. Konyukhov

National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
JSC «Mosinzhproekt», Moscow, Russia, e-mail: gidrotehnik@inbox.ru

Abstract: The article considers the problem of forming the construction technology for developing the underground space of cities by the example of Moscow. The article shows the urgency of developing the methodological basis for choosing and substantiating the organizational and managerial apparatus as applied to the mechanism of forming and implementing the corresponding strategy. The set of structural elements and tools of the mentioned system as applied to the strategy of underground space development as a whole and its separate components as a natural-technical geosystem have been analysed. Principles of scientific and methodical provision of underground building technologies are described. Classification and grouping of influencing factors and parameters, and also complexes of technical measures, have been given. Classes of progressive technologies of underground building have been described. The paramount importance of risk accounting at development of urban underground space is noted. The necessity of detection of tolerable level of geotechnical risk which will not result in negative consequences of application of underground building technologies is emphasized, and simultaneously it is necessary to work out the nomenclature of actions for its decrease. On the whole, it is necessary to adjust, transform and develop the system of complex strategy planning of urban underground building technologies taking into account the density of urban building, geotechnical monitoring and innovative technical solutions of geotechnical risk management within the system of management support in the underground town-planning sphere allowing in the end to quantify the existing building back reaction to the parameters of underground building technology, to increase competitiveness of underground construction.

Key words: geotechnical monitoring, interactive management, methodology, urban development, underground structures. construction geotechnologies, geotechnical risk, strategic planning.

For citation: Konyukhov D. S. A system of integrated planning for the implementation strategy of urban underground space development technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(2):167-178. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_2_0_167.

Введение

Анализ опыта и особенностей методологии создания системы комплексного планирования стратегии реализации технологий городского подземного строительства свидетельствует, что строительные технологии как элемент научно-технической стратегии освоения подземного пространства должны реализовываться исходя из сложившейся методологии и методического обеспечения в области управления строительной деятельностью [1 – 3]. Ретроспективный анализ реализации стратегий технологий подземного строительства в г. Москве и Московской области в широком диапазоне геотехнических условий показывает, что неудовлетворительная эффективность их

составляющих обусловлена в первую очередь неудовлетворительным функционированием системы управления реализацией соответствующей стратегии. В преобладающем большинстве исследований, посвященных стратегиям реализации технологий подземного строительства, напрямую указывается на повышенную актуальность и назревшую необходимость разработки методологической базы выбора и обоснования организационно-управленческого аппарата механизма реализации указанной стратегии.

Стратегическая цель и план ее реализации

Целью стратегического планирования в описанных условиях в первую очередь

является формирование системного подхода, концепции, научно-методических и системотехнических принципов недопущения негативного технологического влияния строительных геотехнологий на существующие здания и сооружения и обеспечение приоритета безопасности строительства над всеми другими факторами.

Для этого планируется обоснование критериальных параметров ранжирования, внедрения в структуру организационно-управленческого аппарата методов математического моделирования и расчетно-эмпирического метода прогнозирования технологических деформаций при открытом способе работ.

Идентификация организационно-управленческого механизма реализации прикладной стратегии представляется как комплексная и системная совокупность структурных элементов и инструментов теоретического и практического плана применительно к процессу управления выбором и обоснованием наиболее эффективных и экономичных технологий подземного строительства в условиях плотной городской застройки. Наиболее рациональной в этом случае является матричная структура механизма управления [4], в основе которой лежат совокупность элементов управления и соответствующие им инструменты. Тем самым появляются возможности для объективного выделения и идентификации структурных элементов, вносящих прямой вклад в результативность и в максимальной степени влияющих на применение отдельных управляющих инструментов, что определяет их объектами оценки [5] и создания мотивационных организационно-управленческих компонент.

В этом случае закладываются предпосылки для совершенствования механизма управления реализацией стратегии строительных подземных технологий

как матричной системы и позиционирования отдельных ее составляющих.

В области методического обеспечения управления строительной деятельностью необходимо отметить разработку и создание новых моделей [6–8] и механизмов управления, методик формирования стратегии реализации строительных технологий, выявления новых возможностей и скрытых резервов их совершенствования.

Необходимо подчеркнуть, что стратегия освоения подземного пространства в целом и отдельных его составляющих должна базироваться на научно обоснованном планировании развития технологий подземного городского строительства на ближайшую, среднесрочную и отдаленную перспективы, основанном на процедурах принятия технических и технологических решений. К числу таких организационно-управленческих решений можно отнести:

- процесс выделения первоочередной номенклатуры приоритетных объектов подземного строительства;
- выбор пространственного расположения и временного тренда строительства с установлением очередности реализации проектов, способов подготовки вмещающего массива и выбора технологии строительства.

Комплексное освоение подземного пространства крупного города [9–11] представляет собой формирование системы элементов, функционирующих в течение всего жизненного цикла сооружения. В ходе проектирования и строительства необходимо учитывать множество факторов, и прежде всего – влияние комплексного освоения подземного пространства на геоэкологическую картину мегаполиса.

Возникающие при этом изменения условно разделены на три группы в зависимости от типа геологической среды и от типа подземных сооружений:

- влияющие на само подземное сооружение;
- влияющие на другие подземные сооружения, находящиеся вблизи рассматриваемого;
- влияющие на наземные сооружения, расположенные в зоне влияния подземного сооружения.

Минимизация деформаций городской застройки [12, 13] в зоне влияния подземных сооружений достигается за счет осуществления мер защиты, которые условно можно разделить на три группы:

- прямые, направленные на усиление конструктивных элементов (оснований, фундаментов и строительных конструкций). Тем не менее надо принимать во внимание, что технологические нагрузки на окружающую застройку в процессе осуществления таких мер провоцирует развитие деформационных процессов на земной поверхности и в конструкциях зданий [10];
- компенсирующие, примером которых могут служить геотехнические экраны, компенсационное нагнетание и пр.

Осложняющими факторами здесь являются неравномерность осадок и деформаций, расположенных на поверхности зданий и сооружений [14] по синусоидному типу, перераспределение напряжений в грунтовом массиве и в конструкциях самих зданий, что в конечном итоге влечет разрыв структурных связей между конструктивными элементами здания, смещение опор балок и плит перекрытий и пр.;

- технологические, основанные на минимизации негативного влияния на природно-техническую геосистему за счет грамотного подбора способа осуществления «нулевого цикла».

Наличие разнообразных технологий подземного строительства предопределяет и активизирует их развитие с учетом системотехники на базе эффективного проектирования и функционирования с прослеживанием пространственных и временных связей.

Уже упомянутые исследования и экспериментальные разработки в аспекте применения системотехнического под-



Научно-методическое обеспечение комплексного планирования стратегий реализации строительных подземных технологий

Scientific and methodological support for integrated planning of implementation strategies for building underground technologies

хода позволяют выделить обобщенные и дополнительные принципы, которые включают в основу научно-методического обеспечения комплексного планирования выбора стратегий реализации подземных строительных технологий (см. рисунок).

Таким образом, возможно выделение инвариантов процессов управления стратегией реализации технологий городского подземного строительства с учетом воздействия природно-техногенной среды и связанных с этим геотехнических рисков, на которые и следует ориентироваться при создании системы комплексного планирования, что требует привлечения методологических основ системотехнического подхода.

С позиций такого подхода модель проблемной ситуации и целеполагания может иметь вид:

$$[U, Z, H, G, Y, \Psi, W, K, P], \quad (1)$$

где U — множество альтернативных вариантов применения строительных технологий; Z — множество сопутствующих процессу строительства неуправляемых и управляемых промежуточных факторов; G — множество альтернативных вариантов исходов целеполагания; Y — конечный результативный вариант; H — модельное представление операции управления; W — количественное выражение эффективности операции управления; Ψ, K — операнды системы управления; P — обозначение системы модельных предпочтений.

В систему стратегического управления реализацией строительных технологий в подземном строительстве в обязательном порядке должен входить анализ внутренней и внешней сред реализации проектных решений, существующих и доступных технологий производства подземных строительных работ, обоснования и внедрения оптимальных и рациональных технологий строитель-

ства в сферу инженерной и организационно-управленческой инфраструктур с последующей оценкой, с анализом и контролем уровня их результативности, с выработкой корректирующих стратегических целеполаганий, что в свою очередь, требует обобщения и систематизации контролируемых параметров качества проведения подземных работ [15, 16] с учетом и оценкой организационно-технологической и организационно-экономической надежности и устойчивости производственных процессов.

Для формирования комплекса мероприятий по интерактивному управлению технологиями подземного строительства в условиях плотной городской застройки в рамках системы планирования стратегии их реализации введены три класса прогрессивных технологий.

С применением экспертного метода оценки выполнено ранжирование современных способов горно-строительных работ и предложена их классификация. По результатам ранжирования к технологиям I класса (строительство сооружений пониженного или нормального уровня ответственности ведется на свободных от застройки территориях и не оказывает воздействие на геоэкологическую среду) отнесены два способа производства работ; ко II классу (строительство сооружений нормального уровня ответственности ведется таким образом, чтобы в первую очередь обеспечивалась безопасность наземных зданий и сооружений, либо экономические показатели, при этом вопросы экологической безопасности отходят на второй план) относят девять способов производства работ; к III классу (строительство сооружений нормального и повышенного уровня ответственности, включая особо опасные, технически сложные и уникальные объекты в зоне исторической застройки) отнесены 11 способов производства горно-строительных работ (таблица).

Классы прогрессивных технологий подземного строительства
Classes of progressive underground construction technologies

| I класс | |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Погружение металлических свай и шпунта копром |
| 2 | «Стена в грунте» из свай по разрядно-импульсной технологии (РИТ) |
| II класс | |
| 1 | Погружение металлических свай и шпунта вдавливанием |
| 2 | «Стена в грунте» |
| 2.1 | траншейная, изготавливаемая грейфером |
| 2.2 | из jet-свай |
| 2.3. | из jet-свай с химическими добавками |
| 2.3 | буромесительным методом |
| 3 | Крепление ограждающей конструкции котлована постоянными грунтовыми анкерами |
| 4 | Новоавстрийский тоннельный метод |
| 5 | Тоннелепроходческий механизированный комплекс (ТПМК) с активным пригрузом забоя |
| 5.1 | аэрационным |
| 5.2 | комбинированным |
| III класс | |
| 1 | Погружение металлических свай и шпунта высокочастотным вибропогружателем |
| 2 | «Стена в грунте» |
| 2.1 | траншейная, изготавливаемая фрезерным оборудованием |
| 2.2 | сборно-монолитная с листовой арматурой |
| 2.3 | сборно-монолитная с предварительным напряжением |
| 2.4 | с тонкой противофильтрационной завесой, изготавливаемой по технологии jet-grouting |
| 3 | Сборные распорные элементы ограждения котлована многократного применения |
| 4 | Полузакрытый способ строительства |
| 4.1 | Сверху-вниз |
| 4.2 | Вверх-вниз |
| 4.3 | Снизу-вверх |
| 5 | ТПМК с активным пригрузом забоя |
| 5.1 | гидравлическим |
| 5.2 | грунтовым |

В целом основным недостатком существующей системы комплексного планирования стратегии реализации технологий городского подземного строительства является наличие большого числа аварийных ситуаций в строительстве (примерно половина от общего числа

аварий), причем первостепенной причиной выступает нарушение технологии и регламентов ведения работ. В связи с этим основная задача управления качеством строительства — обеспечение его безопасности. Поэтому при оценке качества строительных работ в системе

комплексного планирования стратегии реализации технологий подземного городского строительства должны применяться показатели, позволяющие оценить снижение надежности и долговечности сооружений относительно проектных значений. В качестве основного критерия, позволяющего объективно и надежно количественно охарактеризовать и оценить степень безопасности существующей застройки как обратную реакцию на технологические параметры ведения подземных работ [17, 18], следует использовать ее деформации на базе геотехнического мониторинга.

Применение любых технологий подземного строительства в условиях плотной городской застройки приводит к возникновению технологических деформаций существующих зданий, которые можно представить как матричную функцию, зависящую от трех групп факторов:

$$S_{adt}(X_j) = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_j) \rightarrow \begin{cases} a_1 \dots a_j \\ b_1 \dots b_j \\ c_1 \dots c_j \end{cases} \cdot (2)$$

$$\rho_{adt}(X_j) = F(S_{adt}(X_j)), \quad (3)$$

$$i_{adt}(X_j) = F(S_{adt}(X_j)), \quad (4)$$

где S_{adt} , ρ_{adt} , i_{adt} — технологические осадка, кривизна подошвы фундаментов и крен соответственно; при этом уместны следующие группировки:

А. Внешние факторы:

F_1 — горно-геологические условия;

F_2^1 — гидрогеологические условия;

F_3 — среднее давление под подошвой фундамента существующего здания;

В. Проектные факторы:

F_4 — расстояние от места производства работ до фундамента здания по нормали в горизонтальной плоскости;

F_5 — расстояние от места производства работ до фундамента здания по глубине;

F_5 — конструктивные параметры водонепроницаемого сооружения, оказывающие влияние на технологию производства работ. Они являются функцией целого ряда параметров, определяемых:

- способом строительства;
- габаритными размерами возводимой конструкции и т.д.;

С. Технологические факторы. Каждый из этих факторов представляет собой отдельную группу параметров:

F_6 — характеристики и технологические особенности применяемого оборудования;

F_7 — технологические параметры производства работ;

F_8 — количественные параметры качества производства работ.

Одним из основных алгоритмических блоков системы комплексного планирования стратегии реализации подземных строительных технологий, связанных с дефиницией «подземный объект-сооружение — вмещающий массив-среда» является блок фиксации природных и техногенных воздействий подземных строительных технологий с учетом и отображением сложной структуры их опасных взаимовлияний. В связи с тем, что эти взаимовлияния и процессы имеют существенные отличия в рамках разных интервалов временных трендов строительства и функционирования подземных сооружений [19, 20], система оценки, анализа, прогнозирования вероятности возникновения аварий и аварийных ситуаций, направленная на минимизацию потерь и снижение вероятности их проявления, требует ввода в алгоритмический блок элементов динамического подхода и базового научно-методического обеспечения теории управления рисками [21]. Именно геотехнические риски определяют самые большие сложности в процессе принятия конечных проектных технологических решений, так как служат основой для формирования

уровня неопределенности. Исходя из этого, структура их управления должна предусматривать идентификацию всех факторов риска применения подземных строительных технологий с их последующей качественной интерпретацией и объективной и надежной количественной оценкой.

Заключение

В структуру системы управления также должны быть введены составляющие выявления допустимого уровня геотехнического риска, который не приведет к проявлению негативных последствий применения подземных строительных технологий, и одновременно необходима разработка номенклатуры мероприятий по снижению его уровня и др. Влияние проявлений и воздействий различных изменяющихся параметров внутренней и внешней среды функционирования учитывается при этом путем ввода временного фактора.

Таким образом, необходимы корректировка, трансформация и развитие системы комплексного планирования стратегии реализации технологий городского подземного строительства с учетом плотности городской застройки, геотехнического мониторинга и инновацион-

ных технических решений по управлению геотехническим риском в рамках системы обеспечения управления в сфере подземного градостроительства, что позволяет в конечном счете количественно оценить обратную реакцию существующей застройки на параметры технологии подземных работ, повысить конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность реализуемых проектов с учетом соблюдения интересов всех причастных сторон.

Управление безопасностью наземной застройки должно строиться на прогрессивных технологиях подземного строительства, базирующихся на интерактивном организационно-управленческом механизме контроля технологических параметров производства подземных работ и качества строительства с оперативной корректировкой параметров природно-технической геосистемы, и позволяющих минимизировать применение противоаварийных мер и усиления конструкций. Именно это составляет концептуальную основу создания системы комплексного планирования стратегии реализации технологий подземного городского строительства исходя из указанного фундаментального условия успешного ее осуществления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Потапова Е. В.* Типология сооружений метрополитена для задач классификации геотехнических рисков // Горные науки и технологии. — 2021. — № 6(1). — С. 52–60. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-52-60.
2. *Куликова Е. Ю., Конюхов Д. С.* Мониторинг риска аварий при освоении подземного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 1. — С. 97–103. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_97.
3. *Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V.* Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 962, no. 4, article 042020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042020.
4. *Куликова Е. Ю.* Методика интегральной оценки риска в шахтном и подземном строительстве // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 124–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133.
5. *Потапова Е. В.* Перспективы использования информационного ресурса Big Data в управлении геотехническими рисками при строительстве объектов метрополитена // Гор-

ный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 155—163. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-155-163.

6. *Jiangwei S. B., Xian Z. B., Yonghui C. B., Li C.* Numerical parametric study of countermeasures to alleviate basement excavation effects on an existing tunnel // *Tunneling and Underground Space Technology*. 2018, vol. 72, pp. 145—153. DOI: 10.1016/j.tust.2017.11.030.

7. *Xing-Tao L., Ren-Peng C., Huai-Na W., Hong-Zhan C.* Deformation behaviors of existing tunnels caused by shield tunneling undercrossing with oblique angle // *Tunneling and Underground Space Technology*. 2019, vol. 89, pp. 78—90. DOI: 10.1016/j.tust.2019.03.021.

8. *Runke H., Pengyuan Z., Zhanping S., Junbao W., Shihao L., Yuwei Z.* Study on the settlement of large-span metro station's baseplate caused by the tunnels newly built beneath it *Advances // Mechanical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 2, pp. 1—13. DOI: 10.1177/1687814018825161.

9. *Gong Zh., Li Y., Liu M., Tang C.* A case study for large excavation constructed by open cutting with under mining method in Xuzhou, China / *World Tunnel Congress, WTC2020 and 46th General Assembly Kuala Lumpur Convention Centre*. 2020, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 721—724.

10. *Cui J., Broere W., Lin D.* Underground space utilisation for urban renewal // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021, vol. 108, no. 3, article 103726. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103726.

11. *Guo D., Chen Y., Yang J., Heng Tan Y.* Planning and application of underground logistics systems in new cities and districts in China // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021, vol. 113, no. 3, article 103947. DOI: 10.1016/j.tust.2021.103947.

12. *Лебедев М. О.* Обоснование выбора метода расчета напряженно-деформированного состояния крепей и обделок транспортных тоннелей // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 1. — С. 47—60. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-47-60.

13. *Конюхов Д. С.* Анализ параметров механизированной проходки тоннелей для определения характеристик перебора грунта // *Горные науки и технологии*. — 2022. — № 7(1). — С. 49—56. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-49-56.

14. *Xing-Tao Lin, Ren-Peng Chen, Huai-Na Wu, Hong-Zhan Cheng* Deformation behaviors of existing tunnels caused by shield tunneling undercrossing with oblique angle // *Tunneling and Underground Space Technology*. 2019, vol. 89, pp. 78—90. DOI: 10.1016/j.tust.2019.03.021.

15. *Perminov N. A., Perminov A. N.* Geotechnical protection of engineering infrastructure objects in large cities under intense antropogenic impact and long term operation // *Procedia Engineering*. 2016, vol. 165, pp. 455—460. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.720.

16. *Shao F., Wang Y.* Intelligent overall planning model of underground space based on digital twin // *Computers & Electrical Engineering*. 2022, vol. 104, article 108393. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2022.108393.

17. *Potapova E. V.* Expert-statistical approach to the analysis of geotechnical risks in the construction of metro facilities // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 962, no. 4, article 042052. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042052.

18. *Mahdi S., Gastebled O., Khodr S.* Back analysis of ground settlements induced by TBM excavation for the north extension of Paris metro, line 12 / *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art*. London, Taylor & Francis Group, 2019, pp. 2606—2615.

19. *Лебедев М. О., Степуков Е. В., Ларионов Р. И.* Напряженно-деформированное состояние обделки траволаторного тоннеля метрополитена при строительстве и эксплуатации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2022. — № 6-2. — С. 98—114. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_98.

20. *Lebedev M. O.* Choosing a calculation method for stress-strain of supports and lining of transport tunnels / *16th World Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS 2018)*. Hong Kong, 2018, pp. 678—687.

21. Shutova M. N., Shagina A. I., Evtushenko S. I. Risk Management of construction of industrial buildings and structures / Building life-cycle management. Information Systems and Technologies. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_44. **MIAB**

REFERENCES

1. Potapova E. V. Typology of metro structures for the tasks of geotechnical risk classification. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021, no. 6(1), pp. 52–60. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-52-60.

2. Kulikova E. Yu., Konyukhov D. S. Accident risk monitoring in underground space development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 1, pp. 97–103. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_97.

3. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V. Risk control system for the construction of urban underground structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 962, no. 4, article 042020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042020.

4. Kulikova E. Yu. Methods of forming an integral risk assessment in mine and underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 124–133. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133.

5. Potapova E. V. Prospects for the big data information resource in geotechnical risks control during the metro facilities construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 155–163. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-155-163.

6. Jiangwei S. B., Xian Z. B., Yonghui C. B., Li C. Numerical parametric study of countermeasures to alleviate basement excavation effects on an existing tunnel. *Tunneling and Underground Space Technology*. 2018, vol. 72, pp. 145–153. DOI: 10.1016/j.tust.2017.11.030.

7. Xing-Tao L., Ren-Peng C., Huai-Na W., Hong-Zhan C. Deformation behaviors of existing tunnels caused by shield tunneling undercrossing with oblique angle. *Tunneling and Underground Space Technology*. 2019, vol. 89, pp. 78–90. DOI: 10.1016/j.tust.2019.03.021.

8. Runke H., Pengyuan Z., Zhanping S., Junbao W., Shihao L., Yuwei Z. Study on the settlement of large-span metro station's baseplate caused by the tunnels newly built beneath it. *Advances. Mechanical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 2, pp. 1–13. DOI: 10.1177/1687814018825161.

9. Gong Zh., Li Y., Liu M., Tang C. A case study for large excavation constructed by open cutting with under mining method in Xuzhou, China. *World Tunnel Congress, WTC2020 and 46th General Assembly Kuala Lumpur Convention Centre*. 2020, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 721–724.

10. Cui J., Broere W., Lin D. Underground space utilisation for urban renewal. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021, vol. 108, no. 3, article 103726. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103726.

11. Guo D., Chen Y., Yang J., Heng Tan Y. Planning and application of underground logistics systems in new cities and districts in China. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2021, vol. 113, no. 3, article 103947. DOI: 10.1016/j.tust.2021.103947.

12. Lebedev M. O. Validation of choice of stress–strain analysis method for support and lining in traffic tunnels. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 1, pp. 47–60. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-47-60.

13. Konyukhov D. S. Analysis of mechanized tunneling parameters to determine the overcutting characteristics. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022, no. 7(1), pp. 49–56. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-49-56.

14. Xing-Tao Lin, Ren-Peng Chen, Huai-Na Wu, Hong-Zhan Cheng Deformation behaviors of existing tunnels caused by shield tunneling undercrossing with oblique angle. *Tunneling and Underground Space Technology*. 2019, vol. 89, pp. 78–90. DOI: 10.1016/j.tust.2019.03.021.

15. Perminov N. A., Perminov A. N. Geotechnical protection of engineering infrastructure objects in large cities under intense antropogenic impact and long term operation. *Procedia Engineering*. 2016, vol. 165, pp. 455 – 460. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.720.

16. Shao F., Wang Y. Intelligent overall planning model of underground space based on digital twin. *Computers & Electrical Engineering*. 2022, vol. 104, article 108393. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2022.108393.

17. Potapova E. V. Expert-statistical approach to the analysis of geotechnical risks in the construction of metro facilities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 962, no. 4, article 042052. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042052.

18. Mahdi S., Gastebled O., Khodr S. Back analysis of ground settlements induced by TBM excavation for the north extension of Paris metro, line 12. *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art*. London, Taylor & Francis Group, 2019, pp. 2606 – 2615.

19. Lebedev M. O., Stepukov E. V., Larionov R. I. Stress-and-strain statement of the travolator metro tunnel lining in course of construction and operation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-2, pp. 98 – 114. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_98.

20. Lebedev M. O. Choosing a calculation method for stress-strain of supports and lining of transport tunnels. *16th World Conference of the Associated Research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS 2018)*. Hong Kong, 2018, pp. 678 – 687.

21. Shutova M. N., Shagina A. I., Evtushenko S. I. Risk Management of construction of industrial buildings and structures. *Building life-cycle management. Information Systems and Technologies. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_44.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Конюхов Дмитрий Сергеевич – канд. техн. наук,
доцент, НИТУ «МИСиС»;
руководитель Отдела сопровождения строительства,
АО «Мосинжпроект»,
e-mail: gidrotehnik@inbox.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0378-5558.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

D.S. Konyukhov, Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, National University
of Science and Technology «MISIS»,
119049, Moscow, Russia;
Head of the Department of Scientific Support
of Construction, JSC «Mosinzhproekt»,
Moscow, Russia, e-mail: gidrotehnik@inbox.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0378-5558.

Получена редакцией 16.12.2022; получена после рецензии 19.12.2022; принята к печати 10.01.2023.
Received by the editors 16.12.2022; received after the review 19.12.2022; accepted for printing 10.01.2023.



**К ВОПРОСУ ВЫБОРА МОДЕЛИ ЭКСКАВАТОРА
ДЛЯ УСЛОВИЙ РУДНЫХ КАРЬЕРОВ СЕВЕРА**

(2022, № 12, СВ 9, 20 с. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_9_3)

*Кузнецов Дмитрий Владимирович*¹ — канд. техн. наук, доцент, e-mail: KuznetsovDV@mail.ru,

*Косолапов Александр Иннокентьевич*¹ — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,

¹ Сибирский федеральный университет.

Приведены особенности открытой разработки рудных месторождений и основного выемочно-транспортного оборудования, применяемого в северных регионах России. Даны определения горно-транспортного и экскаваторно-автомобильного комплекса оборудования. Кратко представлены основные различия гидравлических и электрических экскаваторов и результаты исследований по оценке влияния их параметров при сочетании в комплексе с автосамосвалами на горные работы. Предложен подход для определения динамики производительности этого оборудования в зависимости от периода года и срока эксплуатации, прочностных характеристик пород, типоразмеров, количества ковшей, загружаемых экскаватором в автосамосвал, расстояния перевозок, организационных простоев во времени цикла работы в условиях сурового климата. Обоснованы экономические критерии для выбора оптимального варианта сочетания экскаватора и автосамосвала в комплексе. На примере некоторых моделей гидравлических и электрических экскаваторов выполнена их сравнительная оценка. При этом определены свои оптимальные области применения, ограниченные доходами от добычи и реализации полезного ископаемого и затратами. Оценено влияние различных факторов на величину удельных накопленных затрат, в связи с приобретением и эксплуатацией комплекса горнотранспортного оборудования, состоящего из одного экскаватора, необходимого количества автосамосвалов. Полученные результаты могут быть использованы для оценки технического совершенства машин, повышения эффективности ведения горных работ и расширения границ разработки месторождений.

Ключевые слова: комплексы карьерного оборудования, электрический экскаватор механическая лопата, гидравлический экскаватор, автосамосвал, производительность, срок эксплуатации, затраты, эффективность, оптимальный вариант.

**TO THE CHOICE OF EXCAVATOR MODEL F
OR ORE QUARRIES CONDITIONS IN THE NORTH**

*D. V. Kuznetsov*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: KuznetsovDV@mail.ru,

*A. I. Kosolapov*¹, Dr Sci (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: Kosolapov1953@mail.ru,

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

In the article features of ore deposits open-cast mining and of the basic excavation and transport equipment used in the northern regions of Russia are given. The definitions of mining and excavator-transport equipment are introduced. The main differences between hydraulic and electric excavators are briefly presented as well as the results of studies to assess the impact of their parameters when combined with dumper trucks on mining operations. An approach to this equipment productivity dynamics estimation is offered depending on a period of a year and a period of exploitation, rocks strength properties, dimension types, a number of buckets loaded by an excavator in a dump truck, a distance of transportation, organizational downtime of a work cycle under severe climatic conditions. Economical criteria for choosing the optimal combination of an excavator and a dump truck as a whole are justified. On the example of some hydraulic and electric excavators models their comparative estimation is fulfilled. At the same time optimum areas of their application are defined which are limited by profits from mineral resources extraction and realization and costs. Influence of different factors on amount of specific accumulated costs is estimated, in connection with purchase and operation of mining transportation equipment complex, consisting of one excavator and necessary quantity of dump trucks. The obtained results can be used for machines technical perfection estimation, increase of conducting mining works efficiency and extension of field development borders.

Key words: mining and transport equipment systems, electric excavator mechanical shovels, hydraulic excavator, dump truck, productivity, operational lifetime, costs, efficiency, optimum variant.