

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕБОРА ГРУНТА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЕЙ

Е. Ю. Куликова¹, Д. С. Конюхов¹, А. М. Потокина², Д. В. Устинов¹

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия, fragrante@mail.ru;

² ОАО «Мосинжпроект», Москва, Россия, ann.potokina@mail.ru

Аннотация: Для организации производства горнопроходческих работ характерно значительное расхождение расчетных и фактических осадок зданий и сооружений, особенно при щитовой проходке тоннелей метрополитенов. В статье приводятся причины такого несоответствия. Закрытый способ строительства отличается наибольшими осадками, при моделировании деформаций грунтового массива в случае разработки грунта закрытым способом. Важнейшим расчетным параметром является перебор грунта, его величина равна отношению площади удаляемого при проходке грунта, расположенного в пределах контура выработки, к площади поперечного сечения выработки. Перечислены причины перебора грунта в случае проходки тоннелей закрытым способом, приводящего к технологическим деформациям поверхности. Описаны проведенные в этой области исследования, принятые допущения и даны итоговые результаты анализа в виде зависимости коэффициента перебора грунта от диаметра щита для различных типов грунта. Все исследования выполнены на примере проходки конкретного строительного объекта – двухпутного перегонного тоннеля под станцией «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии московского метрополитена, проводившейся в сложных горно-геологических условиях под комплексом подземных сооружений. Отмечается соизмеримость полученных величин с результатами зарубежных исследований в этом направлении. Сделан вывод о том, что организация горнопроходческих работ с применением механизированной щитовой проходки должна основываться на результатах модельных исследований величины коэффициента технологического перебора грунта в зависимости от диаметра щита, типа грунта (глина, суглинок, супесь, песок) и учитывать данные геотехнического мониторинга на объектах метростроения. Только при таком подходе могут быть минимизированы осадки земной поверхности.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, глина, горнопроходческие работы, перебор грунта, песок, расчетные осадки, суглинок, супесь, тоннель метрополитена, фактические осадки, щитовой способ проходки.

Для цитирования: Куликова Е. Ю., Конюхов Д. С., Потокина А. М., Устинов Д. В. Аналитический метод расчета коэффициента технологического перебора грунта при организации производства горно-строительных работ с применением механизированной проходки тоннелей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6–2. – С. 305–315. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_305.

Analytical method for calculating the coefficient of technological soil sampling in the organization of mining and construction works with the use of mechanized tunneling

E.Yu. Kulikova¹, D. S. Konyukhov¹, A. M. Potokina², D. V. Ustinov¹

¹ National Research Technological University "MISIS", Moscow, Russia, gidrotehnik@inbox.ru;

² Mosinzhprouekt OJSC, Moscow, Russia, ann.potokina@mail.ru

Abstract: The organization of mining operations is characterized by a significant discrepancy between the calculated and actual precipitation of buildings and structures, especially during shield tunneling of subway tunnels. The article gives the reasons for this discrepancy. The underground construction method is characterized by the greatest precipitation, when modeling deformations of the soil massif in the case of soil development in a closed way. The most important design parameter is the search of the soil, its value is equal to the ratio of the area of the soil removed during sinking, located within the contour of the workings, to the area of its cross-section. The reasons for the search of soil in the case of tunneling in an underground way, leading to technological deformations of the surface, are listed. The research carried out in this area, the assumptions made are described and the final results of the analysis are given in the form of a dependence of the soil sampling coefficient on the shield diameter for various types of soil. All the studies were carried out on the example of the sinking of a specific construction object – a double-track distillation tunnel under the station “Pechatniki” of the Lublin-Dmitrov line of the Moscow metro, conducted in difficult mining and geological conditions under a complex of underground structures. The comparability of the obtained values with the results of foreign research in this direction is noted. It is concluded that the organization of mining operations with the use of mechanized shield sinking should be based on the results of model studies of the coefficient of technological soil sampling, depending on the diameter of the shield, the type of soil (clay, loam, sandy loam, sand) and take into account the data of geotechnical monitoring at metro facilities. Only with this approach can precipitation of the Earth's surface be minimized.

Key words: geotechnical monitoring, clay, mining operations, soil sampling, sand, calculated precipitation, loam, sandy loam, subway tunnel, actual precipitation, shield method of sinking.

For citation: Kulikova E. Yu., Konyukhov D. S., Potokina A. M., Ustinov D. V. Analytical method for calculating the coefficient of technological soil sampling in the organization of mining and construction works with the use of mechanized tunneling. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6–2):305–315. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_305.

Введение

Проведение проходческих работ на городских территориях сопровождается влиянием на здания и сооружения окружающей застройки. Сопоставление результатов геотехнического мониторинга и расчётов этого влияния [1] свидетельствует о том, что для объектов, возводимых открытым способом в котлованах глубиной до 9 – 12 м, сходимость результатов расчёта

с данными мониторинга составляет не более 60%, для объектов метрополитена, сооружаемых в котлованах глубиной до 35 м – около 32%, в случае проходки щитовым комплексом с условным диаметром 6 м – около 70%, при условном диаметре 10 м – несколько более 6,5%. Согласно ГОСТ Р ИСО 5725–1–2002 это не соответствует требованиям о 95% «удовлетворительной» сходимости.

Сравнение результатов численного моделирования в программном комплексе «Z_Soil» [2] методом конечных элементов в объемной постановке и данных мониторинга на конкретном объекте — при проходке двухпутного перегонного тоннеля под станцией «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии московского метрополитена в мае 2021 года [3], проводившейся в сложных горно-геологических условиях под комплексом подземных сооружений (станция метро и коллектор реки Нищенка — рис. 1) — показало расхождение от двухкратного для ст. «Печатники» (расчетные осадки 17 мм при фактических 7,4 мм) до девятикратного для коллектора р. Нищенка (39 и 4,2 мм соответственно).

1. Причины расхождения расчетных и натуральных данных

Основными причинами столь неудовлетворительной сходимости результатов геотехнических расчётов и натуральных данных могут быть [4, 5]:

- недостаточность материалов инженерно-геологических изысканий;

- неудачный выбор расчетной схемы и несоответствие расчетной модели поведению грунта под нагрузкой в реальных условиях;

- недостаточная квалификация исполнителей;

- неопределенность величины технологического перебора грунта.

Остановимся подробнее на последней из указанных причин.

При моделировании строительства закрытым способом важнейшим критерием является перебор грунта — расчетный параметр, задаваемый при моделировании деформаций грунтового массива в результате проходки закрытой выработки, равный отношению площади удаляемого при проходке грунта, расположенного в пределах контура выработки, к площади поперечного сечения выработки [6].

Зарубежными исследователями [7, 8] показано, что причинами перебора грунта при проходке тоннелей закрытым способом являются:

1. Несоответствие диаметра резания наружному диаметру обделки. При применении тоннелепроходче-

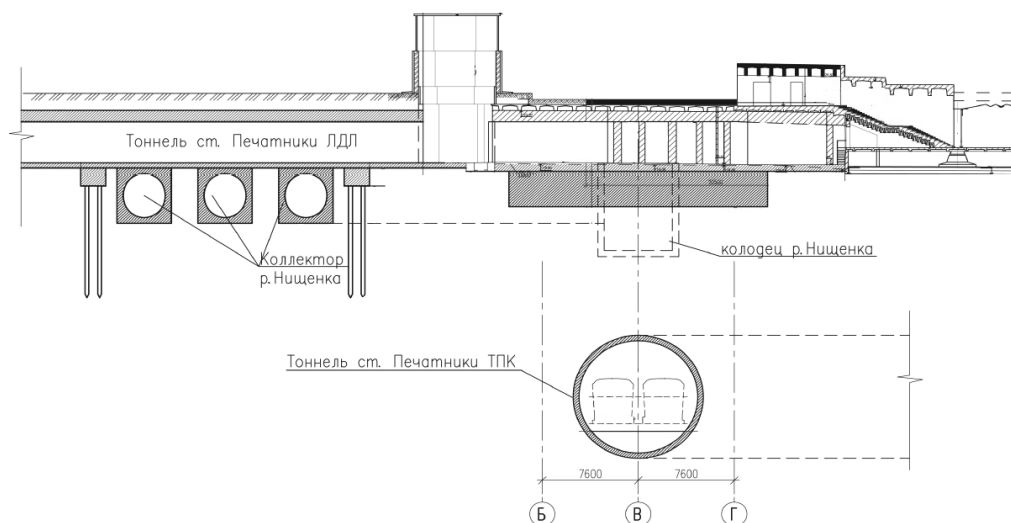


Рис. 1. Взаимное расположение существующей застройки и объектов строительства [3]
Fig. 1. Mutual arrangement of existing buildings and construction objects [3]

ского механизированного комплекса (ТПМК) с внешним расположением рабочего органа (это характерно для большинства современных ТПМК с активным пригрузом забоя) диаметр ротора для снижения трения оболочки щита о грунт выполняется большим, чем диаметр оболочки, а диаметр обделки, собираемой внутри оболочки щита, соответственно меньше последней. В итоге в среднем диаметр ротора на 3–5% больше диаметра обделки тоннеля.

2. Перемещения грунтового массива перед забоем. Эта причина в первую очередь характерна для щитов без активного пригруза забоя, а также при излишнем переборе грунта.

3. Человеческий фактор, т.е. недостаточная квалификация персонала, которая может привести к излишнему перебору грунта [9].

4. Неполное заполнение тампонажным раствором заобделочного пространства.

5. Отсутствие или недостаточное заполнение пространства за оболочкой щита глинистым либо медленно твердеющим тампонажным раствором [3].

Все перечисленные причины перебора грунта приводят к технологическим деформациям поверхности [10, 11].

Анализ отечественных и зарубежных литературных источников [12–15] показывает, что величина коэффициента перебора колеблется в зависимости от типа грунта, глубины заложения тоннеля и диаметра щита в пределах от 0,3... 0,5 до 2%.

Действующими в России нормами (СП 249.1325800.2016. Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способами) величины коэффициента перебора при строительстве тоннелей диаметром до 4 м нормируются в зависимости от типа грунта в забое в раз-

мере от 1,5 до 5,5%, что существенно превышает значения коэффициентов перебора, полученные зарубежными исследователями.

2. Факторы, влияющие на осадку зданий на поверхности

В связи с важностью и актуальностью влияния подземных работ на окружающую застройку выполнено исследование факторов, влияющих на величину осадок близлежащих зданий и сооружений [16–18]. Основные этапы исследования включали:

1. Изучение и анализ отечественных и зарубежных исследований, литературных, проектно-изыскательских и фактических материалов по щитовой проходке в различных горно-геологических и градостроительных условиях.

2. Проведение расчетно-теоретических исследований по определению параметров проходки, влияющих на деформации грунтового массива в различных типах горно-геологических и градостроительных условий.

3. Статистическая обработка результатов численного моделирования и выявление зависимостей коэффициента перебора грунта от параметров проходки щита при различных типах грунтов.

4. Разработка рекомендаций по определению величины перебора при проектировании тоннелей, устраиваемых методом механизированной щитовой проходки.

Выявлено, что в настоящее время при проходке тоннелей московского метрополитена механизированным способом в условиях плотной городской застройки:

1. Глубина заложения тоннеля обычно составляет не менее $0,5-1,0d$ (d — диаметр тоннеля) и не более $3d$ для щитов диаметром 10 м и $5d$ — диаметром 6 м. При этом тоннель пересекает песчаные или глинистые грунты.

2. Конструкции ТПМК с грунтовым пригрузом забоя, преимущественно используемые при проходке тоннелей метрополитена в нескольких грунтах (из всего парка ТПМК г. Москвы 24 имеют грунтовой пригруз забоя и один – бентонитовый) предполагают нагнетание тампонажного раствора через хвостовую часть оболочки одновременно с продвижением щита.

Модельные исследования проходки тоннелей щитами с активным пригрузом забоя диаметром 6 и 10 м в различных горно-геологических условиях в плоской и пространственной постановках охватили 312 численных экспериментов. При этом был принят диапазон изменения величины перебора от 0 до 1% с шагом 0,5% и от 1 до 5% с шагом 1%. В указанные диапазоны входят несоответствие диаметра резания наружному диаметру

обделки и регламентируемые (СП 249.1325800.2016) величины коэффициента технологического перебора грунта при строительстве тоннелей диаметром до 4 м (варьируются от 1,5 до 5). Необходимо отметить, что выбранный диапазон превышает определенные по опубликованным материалам величины перебора при механизированной проходке тоннелей метрополитена.

В первую очередь было проведено сопоставление результатов расчетов в плоской (2D) и пространственной (3D) постановках с использованием для моделирования обделки тоннеля различных типов элементов и с учетом технологической последовательности строительства. Анализ картины деформаций (рис. 2) демонстрирует вполне высокую сходимость результатов моделирования, в том числе в центральной части расчетной модели, сформирован-

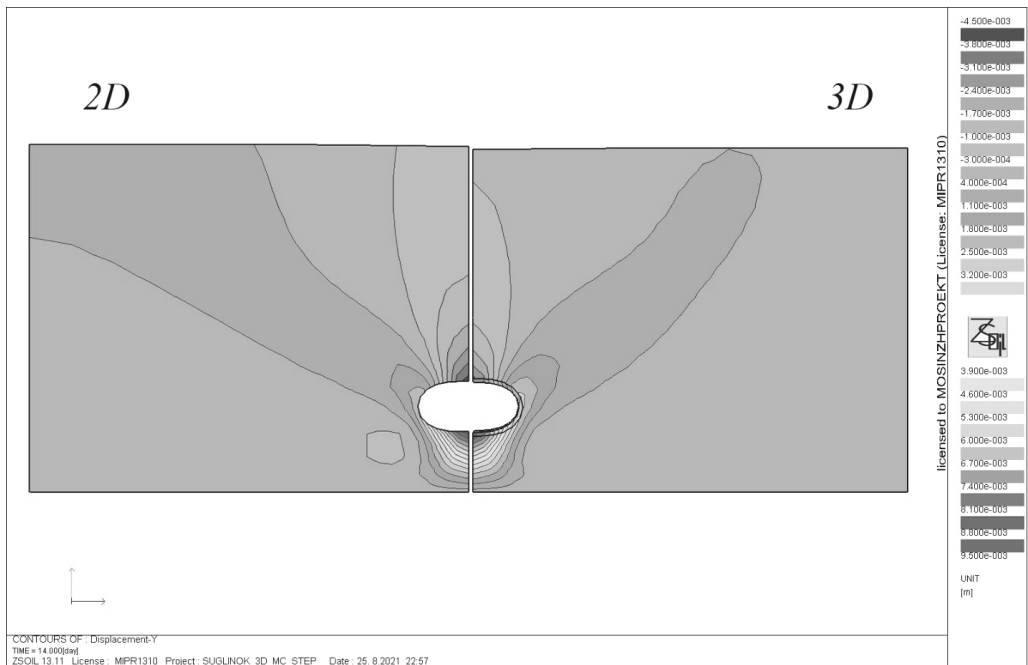
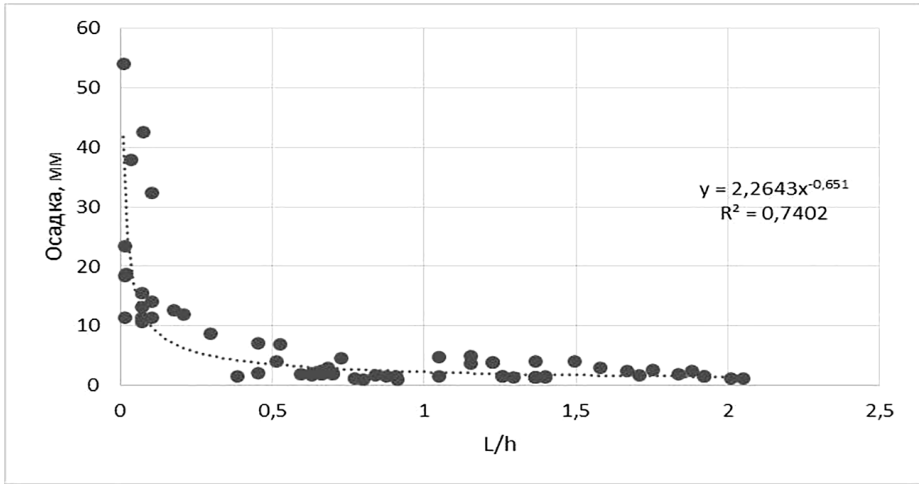


Рис. 2. Сопоставление результатов моделирования вертикальных перемещений в 2D и в 3D постановках с учетом технологической последовательности проходки
 Fig. 2. Comparison of the results of modeling vertical movements in 2D and 3D productions, taking into account the technological sequence of penetration

а



б

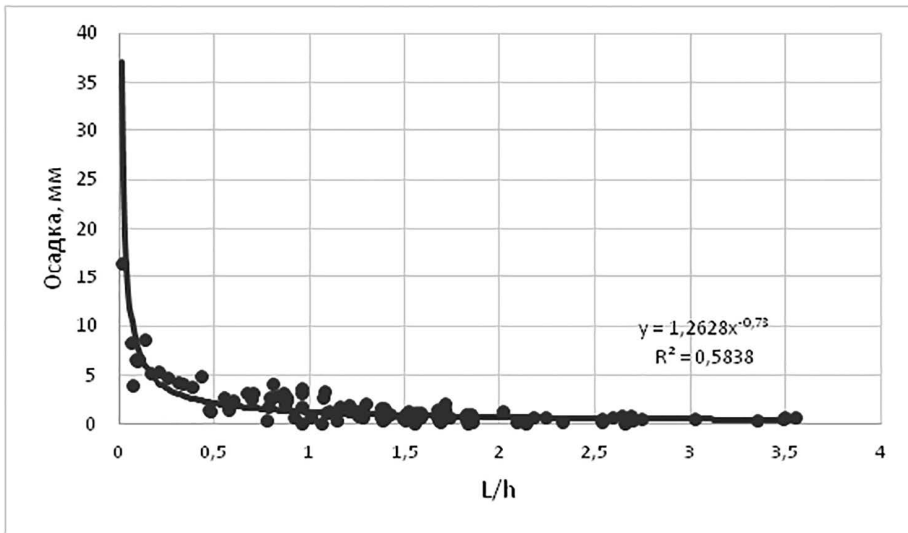


Рис. 3. Обобщённая степенная зависимость осадки от соотношения L/h при щитовой проходке: а – щиты диаметром 6 м; б – то же 10 м
Fig. 3. Generalized power-law dependence of precipitation on the L/h ratio during shield penetration: а – shields with a diameter of 6 m; б – the same 10 m

ной с учетом технологической последовательности возведения. Этим предопределилась допустимость проведения последующих численных исследований в 2D постановке.

Сопоставление результатов математического моделирования с натурными экспериментальными данными выполнено с учетом ряда допущений:

1. С целью уменьшения числа рассматриваемых параметров введена относительная глубина заложения тоннеля L/h (принято $L = 1$ м). Систематизированные результаты геотехнического мониторинга при проходке щитами 6 и 10 м показаны на рис. 3.

2. Сопоставление велось в отношении осадок дневной поверхности.

3. Исключены значения расчётных осадок, явно не соответствующих экспериментальным значениям, введением следующих допущений:

3.1. Исключены положительные значения осадок, соответствующих подъёму дневной поверхности, как противоречащих положениям профессионального стандарта (СТО НОСТРОЙ 2.27.19–2011. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими комплексами с использованием высокоточной обделки).

3.2. Как уже отмечалось, коэффициент перебора определяется как объективными, так и субъективными факторами [19]. Субъективные факторы, такие как, например, человеческий фактор, в недостаточной мере поддаются

прогнозированию и учёту методами математической статистики, поэтому был введён коэффициент запаса 1,5.

3.3. Исключены из рассмотрения все величины расчётных осадок [16], превышающих максимально зафиксированное экспериментальное значение с коэффициентом запаса 1,5. Это позволило исключить из дальнейшего рассмотрения результаты математического моделирования с коэффициентом перебора, превышающим 0,5 для тоннелей диаметром 10 м.

3.4. Величина коэффициента технологического перебора рассчитана с помощью методов математической статистики.

Итоговые результаты анализа в виде зависимости коэффициента

Таблица 1

Значения коэффициента технологического перебора грунта V_L для щитов диаметром 6 м

Values of the coefficient of technological soil sampling V_L for shields with a diameter of 6 m

Глубина шельги свода, м The depth of the arch, m	V_L , %	
	Песок, супесь Sand, sandy loam	Глина, суглинок Clay, loam
6	0,6	0,4
12	1,0	0,7
18	1,2	0,9
24	1,4	1,0
30	2,9	2,3

Таблица 2

Значения коэффициента технологического перебора грунта V_L для щитов диаметром 10 м

Values of the coefficient of technological soil sampling V_L for shields with a diameter of 10 m

Тип грунта Type of soil	V_L , %
Глина, суглинок	0,2
Песок, супесь	0,3

перебора грунта от диаметра щита при различных типах грунта приведены в табл. 1 и 2.

Заключение

На основании статистической обработки результатов модельных исследований с учётом данных геотехнического мониторинга на объектах метростроения Москвы впервые в РФ получены величины коэффициента технологического перебора грунта в зависимости от диаметра щита (6 и 10 м) от типа грунта (глина, сугли-

нок, супесь, песок). Полученные величины соизмеримы с данными зарубежных исследований.

Таким образом, для безопасной проходки тоннелей организация горнопроходческих работ при применении механизированной щитовой проходки должна основываться на результатах моделирования величины коэффициента технологического перебора грунта в зависимости от параметров оборудования и инженерно-геологических характеристик рассматриваемого участка трассы тоннеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Конюхов Д. С., Бородина Е. В.* Расчетно-эмпирический метод прогнозирования технологических деформаций при устройстве «стены в грунте» траншейного типа // Маркшейдерский вестник. — 2021. — № 5–6. — С. 19–26.
2. *Конюхов Д. С.* Анализ параметров механизированной проходки тоннелей для определения характеристик перебора грунта // Горные науки и технологии. — 2022. — № 7(1). — С. 49–56. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-1-49-56>.
3. *Конюхов Д. С., Казаченко С. А.* Основные факторы, влияющие на сходимость расчетных и фактических значений деформаций существующих зданий // Горная промышленность. — 2022. — № 2. — С. 103–111. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-103-111>.
4. *Тер-Мартirosян А. З., Кивлюк В. П., Исаев И. О., Шишкина В. В.* Определение фактического коэффициента перебора (участок «Косино» — «Юго-Восточная») // Construction and Geotechnics. — 2021. — № 2. — С. 5–14. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.2.01.
5. *Chung-Jung Lee, Bing-Ru Wu, and Shean-Yau Chiou.* Soil Movements Around a Tunnel in Soft Soils. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A), 23(2). — Repub. China, 1999, pp. 235–247.
6. *Bourget A. P. F., Chiriotti E., Patrinieri E.* Evolution of risk management during an underground project's life cycle. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art — Peila, Viggiani & Celestino (Eds). — London, Taylor & Francis Group. 2019, pp. 4375–4385.
7. *Мангушев Р. А., Никифорова Н. С.* Технологические осадки зданий и сооружений в зоне влияния подземного строительства / Под ред. Р. А. Мангушева. — М.: Изд-во АСВ, 2017. — 168 с.
8. *Тупиков М. М.* Особенности деформирования грунтового массива и сооружений при строительстве мелкозаглубленных коммуникационных тоннелей в городских условиях. Автореф. ... канд. техн. наук. — М.: МГУПС, 2011. — 24 с.
9. *Bakker K. J., Bezuijen A., Broere W., Kwast E. A.* Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Proceedings of the 5th International Symposium TC28. Amsterdam, the Netherlands, 2005.
10. *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 – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). – London, Taylor & Francis Group. 2019, pp. 2606–2615.

11. Mahdi S., Gastebled O., Ningre H., Senechal M. Grand Paris Express, Line 15 East – predictive damage analysis combining continuous settlement trough modelling, risk management, automated vulnerability checks and visualization in GIS. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). – London, Taylor & Francis Group. 2019, pp. 5855–5864.

12. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042020.

13. Потапова Е. В. Методика оценки геотехнических рисков для объектов метрополитена с использованием ресурса Big Data // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 164–173. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-164-173.

14. 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.

15. Зиновьева О. М., Кузнецов Д. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 113–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

16. 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, 962(4), 042052. DOI:10.1088/1757-899X/962/4/042052

17. 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.

18. 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.

19. Куликова А. А., Овчинникова Т. И. К вопросу снижения геоэкологических рисков на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 251–262. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Konyukhov D. S., Borodina E. V. A computational and empirical method for predicting technological deformations during trench-type “diaphragm wall” construction. *Markshejderskij vestnik*. 2021, no. 5–6, pp. 19–26 [In Russ].

2. Konyukhov D. S. Analysis of mechanized tunneling parameters to determine the overcutting characteristics. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(1):49–56. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-1-49-56>.

3. Konyukhov D. S., Kazachenko S. A. The main factors affecting the convergence of calculated and actual values of deformations of existing buildings. *Russian Mining Industry*. 2022;(2):103–111. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-103-111>. [In Russ].

4. Ter-Martirosyan A. Z., Kivlyuk V. P., Isaev I. O., Shishkina V. V. Determination of the actual excess excavation ratio (section “Kosino” – “Yugo-Vostochnaya”). *Construction and Geotechnics*. 2021, vol. 12, no. 2, pp. 5–14. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.2.01. [In Russ].

5. Chung-Jung Lee, Bing-Ru Wu, and Shean-Yau Chiou. Soil Movements Around a Tunnel in Soft Soils. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A), 23(2). – Repub. China, 1999, pp. 235–247.

6. Bourget A. P. F., Chiriotti E., Patrineri E. Evolution of risk management during an underground project's life cycle. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). – London, Taylor & Francis Group. 2019, pp. 4375–4385.

7. Mangushev R. A., Nikiforova N. S. Technological settlement of buildings and structures in the zone of influence of underground construction. Edited by R. A. Mangushev. Moscow, ASV Publ., 2017, 168 p. [In Russ].

8. Tupikov M. M. Peculiarities of the deformation of the ground massif and structures during the construction of shallow buried communication tunnels in urban conditions. Abstract of Ph. D. thesis, Moscow, MGUPS, 2011. 24 p. [In Russ].

9. Bakker K. J., Bezuijen A., Broere W., Kwast E. A. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Proceedings of the 5th International Symposium TC28. Amsterdam, the Netherlands, 2005.

10. 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 – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). London, Taylor & Francis Group. 2019, pp. 2606–2615.

11. Mahdi S., Gastebled O., Ningre H., Senechal M. Grand Paris Express, Line 15 East – predictive damage analysis combining continuous settlement trough modelling, risk management, automated vulnerability checks and visualization in GIS. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). – London, Taylor & Francis Group. 2019, pp. 5855–5864.

12. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. DOI: 10.1088/1757-899X/962/4/042020.

13. Potapova E. V. Methodology for assessing geotechnical risks for metro facilities using the big data resource. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):164–173. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-164-173.

14. Potapova E. V. Typology of metro structures for the tasks of geotechnical risk classification. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6:52–60. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-52-60.

15. Zinovieva O. M., Kuznetsov D. S., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Digitalization of industrial safety management systems in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):113–123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

16. 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, 962(4), 042052. DOI:10.1088/1757-899X/962/4/042052.

17. 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.

18. Lebedev M. O. Validation of choice of stress–strain analysis method for support and lining in traffic tunnels. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(1):47–60. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-47-60.

19. Kulikova A. A., Ovchinnikova T. I. On the issue of reducing geocological risks at mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):251–262. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликова Елена Юрьевна — докт. техн. наук, профессор,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия, fragrante@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9290-671X>;

Конюхов Дмитрий Сергеевич — канд. техн. наук, доцент,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия, gidrotehnik@inbox.ru,
ORCID ID 0000-0001-8635-232X;

Потокина Анна Михайловна — инженер,
ОАО «Мосинжпроект», Москва, Россия, ann.potokina@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4899-1638>;

Устинов Дмитрий Владимирович — старший преподаватель,
НИТУ «МИСиС», ustinov.d@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kulikova E. Yu., Dr. Sci. (Eng.), Professor,
National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russia,
fragrante@mail.ru;

Konyukhov D. S., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russia,
gidrotehnik@inbox.ru;

Potokina A. M., engineer,
Mosinzhproekt OJSC, Moscow, Russia,
ann.potokina@mail.ru;

Ustinov D. V., Senior lecturer,
National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russia,
ustinov.d@gmail.com.

Получена редакцией 14.01.2022; получена после рецензии 05.04.2022; принята к печати 10.05.2022.

Received by the editors 14.01.2022; received after the review 05.04.2022; accepted for printing 10.05.2022.

