

БЕЗОПАСНОСТЬ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ РАБОТ

Д.С. Конюхов

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

Аннотация: Крупномасштабные подземные работы, проводимые в Москве высокими темпами и в сложных условиях плотной городской застройки, в том числе представляющей историческую ценность, ставят перед проектировщиками и строителями сложные и многообразные задачи обеспечения безопасности существующих зданий и сооружений. К настоящему времени выявлены основные действующие параметры и получены оценки их влияния на безопасность существующей застройки. В их число входят предельно допустимые деформации — максимальная осадка и относительная разность осадок, а также целый ряд ненормируемых или регламентируемых не строительными нормативами. Результаты анализа свидетельствуют, что прямая количественная взаимосвязь отслеживаемых и измеряемых параметров с конструктивной безопасностью зданий и сооружений отсутствует. Этому препятствуют завышенные требования норм к предельным деформациям оснований существующих зданий и сооружений при строительстве подземных сооружений закрытым способом; некорректный подход к оценке «критичности» деформаций оснований фундаментов для безопасности здания; унификация подхода к деформациям оснований и фундаментов зданий в зоне влияния подземного строительства открытым и закрытым способами. Исследования показали, что обеспечение безопасности строительства подземных сооружений при закрытом способе работ в условиях городской застройки требует несколько иного подхода по сравнению с СП 21.13330 и СП 22.13330 для подрабатываемых территорий и для открытых котлованов. Необходимо контролировать технологические воздействия горно-строительных работ на окружающую среду и на сложившуюся застройку; надлежит руководствоваться не абсолютной величиной осадки, а относительной разностью осадок и кривизной подошвы фундаментов, что хотя и усложняет измерения, корректнее отражает реакцию конструктивной схемы здания на его деформации в связи с проведением горно-строительных работ, а также применять современные методы расчета коэффициента технологического перебора грунта при проходке.

Ключевые слова: закрытый способ работ, крен, кривизна подошвы фундамента, мульда оседания, осадки зданий, открытый способ работ, относительная разность осадок, подземные работы, существующая застройка, тоннель.

Для цитирования: Конюхов Д. С. Безопасность существующей застройки при производстве подземных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 8. – С. 158–167. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_158.

Safety of existing buildings during underground mining

D.S. Konyukhov

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

Abstract: Large-scale and high-rate underground mining in process in the territory of Moscow, in the complex conditions of compact urban development of high historical value face designers and builders with difficult and diverse challenges connected with safety of the existing buildings and structures. The main effective parameters and their influence on the existing building safety are revealed by now. Here belong maximum allowable deformations in the form of maximum subsidence and relative subsidence difference, as well as some characteristics which are nonstandardized, or are governed not by construction standards. The analysis shows no direct quantitative connection between the monitored/measured parameters and structural safety of buildings. Such connection is prevented by: overstated limiting deformation standards for foundations of ground surface buildings and structures during underground construction; incorrect approach to estimating critical deformations of foundations of buildings; standardized approach to deformation of foundations in the influence zone of underground construction with and without pit excavation. The research shows that safety of underground construction in the conditions of urban development requires another approach than the Construction Code SP 21.13330 and SP 22.13330 propose for undermined areas and open pits. It is required: to control the impact exerted by underground tunneling and construction on the environment and existing buildings; to be ruled not by the absolute subsidence value but by the relative subsidence difference and by the foundation foot curvature, which, though complicates measurement, better images the response of building structure to deformation induced by underground construction; to use the modern methods of the soil overcutting coefficient in tunneling.

Key words: underground construction, foundation foot curvature, subsidence trough, building subsidence, pit excavation method, relative subsidence difference, underground operations, existing buildings, tunnel.

For citation: Konyukhov D. S. Safety of existing buildings during underground mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(8):158-167. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_8_0_158.

Введение

Беспрецедентные по масштабам и темпам подземные работы в Москве, связанные с проходкой транспортных тоннелей в условиях плотной городской застройки, ставят перед исполнителями (проектировщиками, строителями и т.д.) большие и трудные задачи обеспечения безопасности существующих зданий и других объектов городской инфраструктуры. Этой проблеме посвящены исследования отечественных и зарубежных ученых. Рассматривались ситуации, связанные со щитовой проходкой на небольшой глубине [1, 2], при устройстве заглубленных сооружений [3–5], в том числе в местах существующей исторической застройки [6], которых в Москве

немало, и др. Проводимые исследования касаются как теоретических аспектов [7, 8], так и практического разрешения возникающих ситуаций [9–12]. Изучались различные грунтовые условия [12]. Внимание уделялось факторам и параметрам, влияющим на технологические решения и на безопасность существующей застройки [13]. В рамках рассматриваемой проблемы исследовались вопросы выбора методов расчета [14] и проектирования [15].

Вопросы обеспечения безопасности существующей застройки отражены и регламентированы в целом ряде нормативных документов, таких как:

СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений». Актуализированная



Рис. 1. Контролируемые параметры для оценки влияния геотехнических работ на безопасность существующих зданий и сооружений

Fig. 1. Test parameters in assessment of impact exerted by underground operations on safety of existing buildings and structures

редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями № 1, 2, 3, 4)»;

СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с Изменениями № 1, 2, 3);

СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-8;

СП 120.13330.2012 Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 (с Изменениями № 1-4);

СП 248.1325800.2016 Сооружения подземные. Правила проектирования;

СП 361.1325800.2017 Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов.

Тем не менее, проблема влияния подземных строительных работ на безопасность существующих зданий и сооружений, подземных коммуникаций, окружающей геоэкологической среды, а также на сооружаемый объект и на его качество не может быть признана решенной в силу многообразных факторов и параметров, предопределяющих безопасность ситуации в отношении со-

оружаемых и окружающих объектов в целом. По крайней мере, не решена задача минимизации такого влияния на сложившуюся городскую застройку, в том числе с применением прогрессивных технологий подземного строительства и контроля их соответствующих параметров.

Методы

Проводимые исследования и проработки [11, 13, 16], а также нормативные источники позволили выделить систему параметров, позволяющих оценивать влияние подземных работ на существующую застройку (рис. 1), отслеживая указанные параметры в отношении их влияния на конструкции близлежащих зданий.

С этой целью на основании СП 22.13330 проводят геотехнический мониторинг, который предусматривает интерактивные наблюдения за поведением конструкций подземного объекта, вмещающего его породного массива, оснований, фундаментов и конструкций сооружений окружающей застройки и позволяет количественно оценить обратную реакцию сформировавшейся техногенной среды (в данном случае — застройки) на параметры подземных работ, как это показано на рис. 2.

Материалы, оборудование, приборы

Основными количественными параметрами, обуславливающими степень безопасности воздействия строительства на существующую застройку, выступают предельно допустимые деформации — максимальная осадка и относительная разность осадок.

Однако, кроме этого, допускается измерение параметров (напряжения в конструкциях и в грунтовом массиве, кинематические параметры колебаний, виброперемещения, виброскорости и



Рис. 2. Взаимосвязь основных параметров строительства и реакций окружающих зданий и сооружений

Fig. 2. Correlation of basic construction parameters and responses of existing buildings and structures

виброускорения) либо ненормируемых, либо регламентируемых не строительными нормативами — санитарными нормами.

Результаты

Анализ показывает, что прямая количественная взаимосвязь отслеживаемых и измеряемых параметров с конструктивной безопасностью зданий и сооружений отсутствует. Это же усугубляется подменой понятий «геотехнический» и «геодезический» мониторинг: весь комплекс мероприятий по геотехническому мониторингу заменяют единственно геодезическими измерениями осадок. Это объясняется следующими причинами.

1. Завышенные требования норм к предельным деформациям оснований существующих зданий и сооружений при строительстве подземных сооружений закрытым способом

Максимальные предельно допустимые осадки основания здания, находя-

щегося в зоне влияния строительства, по СП 22.13330 не должны быть более 50 мм. Фактически, с учетом типа здания и его технического состояния они редко превышают 20–30 мм. И несмотря на это проектировщики, стремясь нацелить все технические решения на удержание прогнозируемых осадок не более предельных величин, изменяют технологию работ, предусматривают более мощные ограждающие конструкции котлованов, усиление зданий или компенсационные мероприятия и т.п.

Ситуация усугубляется также и очень слабой сходимостью геотехнических расчетов с практикой строительства [13]. Учитывая, что область применения СП

22.13330 охватывает проектирование оснований строящихся и реконструируемых зданий и сооружений в котлованах, установленный в этом нормативном документе подход для строительства закрытым способом в горно-геологических условиях г. Москвы представляется не соответствующим реальности. Действительно, в г. Москве реальные осадки оснований зданий, расположенных в мульде деформаций при проходке тоннелей, в два-пять раз больше предельно допустимых по СП 22.13330, и это не только не вызывает катастрофических последствий, но даже не требует изменения категории технического состояния здания (рис. 3).

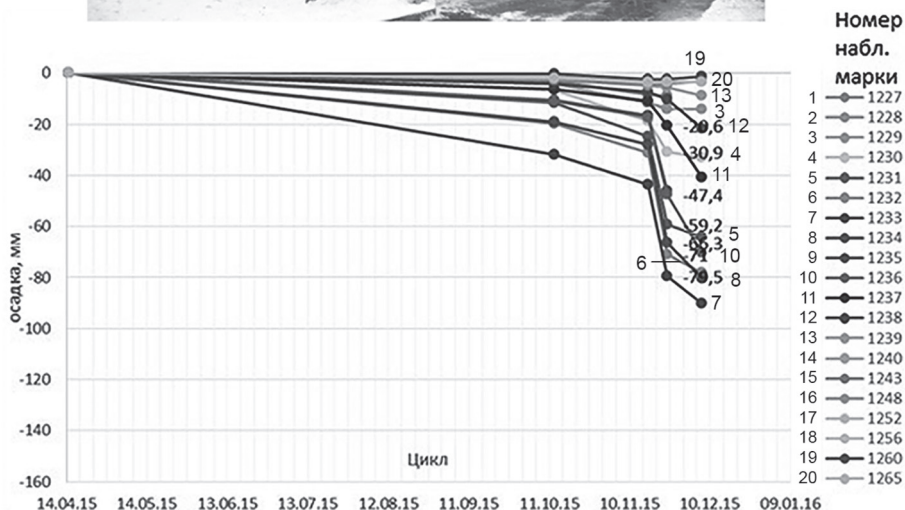


Рис. 3. Пример графика осадок трехэтажного здания при проходке тоннеля диаметром 6 м

Fig. 3. Graphical illustration of three-storey building subsidence during tunneling with diameter of 6 m

2. Некорректный подход к оценке «критичности» деформаций оснований фундаментов для безопасности здания

К параметрам оценки деформаций зданий относят осадку, относительную разность осадок, кривизну подошвы фундамента и крен, принимая в качестве основного при оценке «критичности» деформаций преимущественно величину осадки. Однако есть мнение [3, 6], что это должна быть разность углов наклона здания, характеризующая кривизну подошвы фундамента, как это предписано в московских территориальных нормах МГСН 2-07-97 «Основания, фундаменты и подземные сооружения»:

$$\rho(x) = \frac{S(x+2\Delta x) - 2S(x+\Delta x) + S(x)}{(\Delta x)^2} \quad (1)$$

где $S(x)$ — осадка здания в точке x , м; $S(x+\Delta x)$ — осадка здания в точке $(x+\Delta x)$, м; $S(x+2\Delta x)$ — осадка здания в точке $(x+2\Delta x)$, м; Δx — расстояние между точками наблюдений (обычно принимается $\Delta x = 5 \dots 10$ м).

Другой критерий — относительная разность осадок здания или его крен. Для уже упомянутого здания (см. рис. 3) после механизированной проходки тоннеля метрополитена диаметром 6 м осадки основания зафиксированы более 80 мм (при предельно допустимой величине 30 мм), а относительная разность осадок оснований фундаментов составила 0,0011 (несущественно превысив предельно допустимую величину 0,001). Описанный «феномен» обусловлен тем, что здание с габаритами в плане 50×89 м расположено непосредственно над строящимся с применением щита с активным пригрузом забоя тоннелем с глубиной заложения более 20 м, в плотных мелких и пылеватых песках, супесях и суглинках, перекрытых сверху мощным слоем моренных су-

глинков тугопластичной консистенции. Ширина мульды деформаций превысила 100 м.

3. Унификация подхода к деформациям оснований и фундаментов зданий в зоне влияния подземного строительства открытым и закрытым способами

Предельно допустимые деформации оснований зданий, расположенных в зоне влияния нового подземного строительства, регламентируются только в СП 22.13330, требования которого опираются на московские территориальные строительные нормы МГСН 2-07-01 «Основания, фундаменты и подземные сооружения», разрабатывавшиеся для зданий, расположенных в зоне влияния открытого способа строительства, и на теоретические исследования проф. Н.С. Никифоровой [17]. Для существующих зданий, расположенных на подрабатываемых территориях, в соответствующих СП 21.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями № 1, 2, 3, 4)», СП 22.13330.2016, СП 120.13330.2012 указанные деформации не нормируются.

Обсуждение

Исследованиями [17] показано, что при открытом способе работ искривление земной поверхности существенно меньше, чем при закрытом: наблюдаемый радиус кривизны поверхности $R > > 20$ км, т.е. территория по СП 21.13330 не относится к подрабатываемым. В то же время согласно этому СП для подземных линейных сооружений расчет деформаций следует вести как для находящихся на подрабатываемых строящимся тоннелем территориях.

Исходя из [18], в СП 21.13330 форма мульды деформаций поверхности описывается кривой Гаусса:

$$S_M(x) = S_0 \exp(-x^2/a^2). \quad (2)$$

Расчет формы мульды и влияния на нее величины перебора грунта при проходке, сжатия сечения грунта в результате изменения напряженно-деформированного состояния массива при разработке грунта, изменения жесткости тоннельной крепи и др. исследуется во многих работах [1, 9–12, 14, 15, 20–22].

Для расчета по (2) необходимо определить максимальную осадку поверхности над выработкой S_0 . Можно воспользоваться выражением из [1], которое в условных обозначениях СП 21.13330 будет иметь вид

$$S_0 = \frac{D_0(F-P)}{2\mu\pi H} \left[1 + \frac{8\beta^2(1-\beta^2)}{3-4\beta^2} \right], \quad (3)$$

где μ – модуль сдвига грунта, Н/м²; F – нагрузка на единицу длины поверхности вдоль оси тоннеля, Н/м; P – вес удаленной породы, Н/м; $(F-P)$ – давление на грунт при проходке Н/м; β^2 – отношение квадратов скоростей распространения поперечных и продольных волн,

$$\beta^2 = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}, \quad (4)$$

ν – коэффициент Пуассона.

Выражение (3) не учитывает наличие технологического перебора V_L . Для это-

го в [11] предлагается алгоритм, учитывающий сложение пород в забое тоннеля и технологические параметры щита.

Заключение

Обеспечение безопасности строительства подземных сооружений при закрытом способе работ в условиях городской застройки требует несколько иного подхода по сравнению с СП 21.13330 и СП 22.13330 для подрабатываемых территорий и для территорий вокруг открытых котлованов. В частности, необходимо:

1. Контролировать технологические воздействия горно-строительных работ на окружающую среду и на сложившуюся застройку.

2. В процессе мониторинга зданий при строительстве тоннелей закрытым способом в условиях плотной городской застройки надлежит руководствоваться не абсолютной величиной осадки, а относительной разностью осадок и кривизной подошвы фундаментов, что хотя и сложнее для измерения, однако более корректно отражает реакцию конструктивной схемы здания на его деформации в процессе горно-строительных работ.

3. Необходимо использовать современные методы расчета коэффициента технологического перебора грунта при проходке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елгаев В. С. Оценка оценки возможных повреждений зданий в результате осадок поверхности грунта при проходке тоннелей неглубокого заложения щитовым способом // Инженерная геология. – 2012. – Т. 12. – № 6. – С. 56–67.

2. 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.

3. 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.

4. Мангушев Р. А., Сапин Д. А., Кириллов В. М. Влияние типа конечных элементов при численном моделировании ограждений котлованов на конечную осадку фундаментов со-

седних зданий / Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении. Материалы международной научно-технической конференции. — Новочеркасск, 2018. — С. 708 — 718.

5. *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 digital congress and exhibition (WTC) 2020 and the 46th general assembly 11 — 17 September 2020, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 721 — 724.

6. *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.

7. *Никифорова Н. С., Коннов А. В.* Прогноз деформаций оснований окружающей застройки с учетом защитных мероприятий // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2020. — № 6. — С. 7 — 12.

8. *Hewitt P., Suthagaran V.* Dealing with the challenges of ground response on deep urban excavations adjacent to underground transport infrastructure in Australia / World tunnel digital congress and exhibition (WTC) 2020 and the 46th general assembly, 11 — 17 September 2020, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 801 — 806.

9. *Меркин В. Е., Хохлов И. Н., Зерцалов М. Г., Устинов Д. В., Казаченко С. А.* Исследование взаимного влияния пересекающихся тоннелей при различных способах их возведения // Транспортное строительство. — 2014. — № 12. — С. 12 — 17.

10. *Konukhov D. S., Polyankin A. G.* Ensuring the safety of the existing buildings during the construction of the underground in Moscow / Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art. London, Taylor & Francis Group, 2019, pp. 5756 — 5766.

11. *Konukhov D. S., Polyankin A. G.* Evaluation of parameters that define a quantity of excess excavation ratio in TBM tunnel excavation / 1th International Conference of Exploration and Utilization of Underground Space. Wuhan, 2019, p. 51.

12. *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.

13. *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.

14. *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.

15. *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.

16. *Куликова Е. Ю.* Методические основы повышения эколого-технологической надежности городских подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 176 — 185. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-176-185.

17. *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.

18. *Jiangwei Shi, Xian Zhang, Yonghui Chen, Li Chen* 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.

19. *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.

20. 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.

21. Runke Huo, Pengyuan Zhou, Zhanping Song, Junbao Wang, Shihao Li, Yuwei Zhang 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.

22. 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. **ПЛАБ**

REFERENCES

1. Elgaev V. S. Assessment of potential damage to buildings due to ground settlement in shallow shield tunnelling. *Inzhenernaya geologiya*. 2012, no. 6, pp. 56–67. [In Russ].

2. 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. [In Russ]. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.2.01.

3. 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.

4. Mangushev R. A., Sapin D. A., Kirillov V. M. Influence of finite element type in the numerical modelling of excavation enclosures on the finite settlement of foundations of neighbouring buildings. *Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Soil mechanics in geotechnics and foundation engineering. Materials of the International scientific and technical conference], Novocherkassk, 2018, pp. 708–718. [In Russ].

5. 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 digital congress and exhibition (WTC) 2020 and the 46th general assembly 11 – 17 September 2020*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 721–724.

6. 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.

7. Nikiforova N. S., Konnov A. V. Prediction of deformation of the foundations of the surrounding development taking into account protective measures. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2020, no. 6, pp. 7–12. [In Russ].

8. Hewitt P., Suthagaran V. Dealing with the challenges of ground response on deep urban excavations adjacent to underground transport infrastructure in Australia. *World tunnel digital congress and exhibition (WTC) 2020 and the 46th general assembly, 11 – 17 September 2020*, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 801–806.

9. Merkin V. E., Khokhlov I. N., Zertsalov M. G., Ustinov D. V., Kazachenko S. A. Investigation of the mutual influence of intersecting tunnels with different methods of construction. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2014, no. 12, pp. 12–17. [In Russ].

10. Konukhov D. S., Polyankin A. G. Ensuring the safety of the existing buildings during the construction of the underground in Moscow. *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art*. London, Taylor & Francis Group, 2019, pp. 5756–5766.

11. Konukhov D. S., Polyankin A. G. Evaluation of parameters that define a quantity of excess excavation ratio in TBM tunnel excavation. *1th International Conference of Exploration and Utilization of Underground Space*. Wuhan, 2019, p. 51.

12. 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, no. 2-1, pp. 113 – 123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

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

14. 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. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-47-60.

15. 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.

16. Kulikova E. Yu. Methodical principles for improving the ecological and technological reliability of urban underground structures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 176 – 185. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-176-185.

17. 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. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-1-49-56.

18. Jiangwei Shi, Xian Zhang, Yonghui Chen, Li Chen 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.

19. 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.

20. 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.

21. Runke Huo, Pengyuan Zhou, Zhanping Song, Junbao Wang, Shihao Li, Yuwei Zhang 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.

22. Potapova E. V. Methodology for assessing geotechnical risks for metro facilities using the big data resource. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 164 – 173. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-164-173.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Конюхов Дмитрий Сергеевич – канд. техн. наук,
доцент, e-mail: gidrotehnik@inbox.ru, НИТУ «МИСиС».

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

D.S. Konyukhov, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
National University of Science and Technology «MISIS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: gidrotehnik@inbox.ru.

Получена редакцией 16.05.2022; получена после рецензии 15.06.2022; принята к печати 10.07.2022.
Received by the editors 16.05.2022; received after the review 15.06.2022; accepted for printing 10.07.2022.

