ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(5):84-94
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 624.1 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_84

ИНТЕРАКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОХОДКИ ДВУХПУТНОГО ПЕРЕГОННОГО ТОННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

Д.С. Конюхов

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

Аннотация: Обеспечение сохранности наземной городской застройки при строительстве объектов метрополитена является важной задачей, требующей разработки целого комплекса мероприятий. Особенное внимание необходимо уделять участкам пересечений с особо опасными, технически сложными и уникальными зданиями и сооружениями, памятниками истории, культуры и архитектуры, а также при строительстве на особо охраняемых территориях. Рассмотрен комплекс мероприятий по научно-техническому сопровождению и интерактивному управлению параметрами проходки двухпутного перегонного тоннеля на примере подземных сооружений станции «Печатники» Большой кольцевой линии Московского метрополитена. При этом интерактивное управление подразумевает: верификацию результатов численного моделирования, фиксацию параметров проходки (давление пригруза, объем разработанного грунта, давление нагнетания и объем тампонажного раствора), организацию автоматизированного мониторинга, геодезические наблюдения за деформациями дневной поверхности, георадиолокационое обследование грунтового массива с целью выявления протечек, измерения по технологии радиоволновой геоинтроскопии межскважинного пространства (РВГИ) в зоне пересечения действующих и строящихся тоннельных сооружений, анализ результатов мониторингов и интерактивный контроль параметров проходки. На основании анализа результатов проведенных исследований показано, что для повышения качества геотехнических расчетов необходимо проведение полномасштабных научно-исследовательских работ по изучению зависимости коэффициента технологического перебора от конструктивных особенностей ТПМК и инженерно-геологических условий проходки.

Ключевые слова: освоение подземного пространства, научно-техническое сопровождение строительства, интерактивное управление, мониторинг, технологические деформации, высокие технологии.

Для цитирования: *Конюхов Д. С.* Интерактивное управление технологическими параметрами проходки двухпутного перегонного тоннеля метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5. – С. 84–94. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_84.

Interactive control of process variables in double-track tunnel driving between subway stations

D.S. Konyukhov

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

© Д.С. Конюхов. 2022.

Abstract: Preservation of the surface urban development during subway construction is a critical task requiring elaboration of a sound action plan. A special attention should be paid to intersections under critical, highly technical and unique buildings and structures on ground surface, monuments of history, culture and architecture, as well as under areas under special protection. The article reviews an action plan on scientific and technical supervision and interactive control over the process variables in double-track tunnel driving between two stations in terms of the Pechatniki Station of Moscow Metro's Big Circle Line. The interactive control assumes: verification of the numerical modeling results, recording of the process variables during tunnel driving (set-on weight pressure, excavated rock mass volume, grouting volume and injection pressure), automated monitoring, geodetic surveying of ground surface deformation, GPR survey of soil in order to reveal leaks, radio wave geointroscopy (RWGI) of interwell space in the zone of intersection between the operating and abuilding tunnels, analysis of monitoring data and interactive control over tunnel driving parameters. The analysis of the research findings shows that geoengineering design quality improvement requires implementing the full-scale research into the dependence of the excess excavation ratio on the design features of a tunnel boring machine and on the geotechnical conditions of tunneling.

Key words: underground space development, scientific and technical supervision of construction, interactive control, monitoring, process-induced deformation, high technologies.

For citation: Konyukhov D. S. Interactive control of process variables in double-track tunnel driving between subway stations. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5):84-94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_84.

Введение

В процессе строительства тоннелей метрополитена важнейшую роль приобретает изыскание способа управления параметрами проходки. Это управление должно сочетать численное моделирование и реальные наблюдения, получаемые с помощью геодезического и георадиолокационого обследования породного массива, радиоволновой геоинтроскопии межскважинного пространства (РВГИ) в зоне пересечения действующих и строящихся тоннельных сооружений [1–3] и т.п. При этом определяющими параметрами, на которые распространяется управляющее воздействие, являются давление пригруза, объем разработанного грунта, давление нагнетания и объем тампонажного раствора. Такое интерактивное управление позволит обеспечить безопасность строительства и сохранить наземную застройку.

В данной работе в качестве объекта интерактивного управления выбраны двухпутные тоннели Большой кольцевой линии (БКЛ) Московского метрополитена под комплексом подземных сооружений в технической зоне станции «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии.

Строительство станции «Печатники» БКЛ и двухпутного перегонного тоннеля от станции «Печатники» до станции «Нагатинский затон» ведется в сложных инженерно-геологических условиях. Кроме действующих сооружений метрополитена в зону влияния строительства попадает коллектор р. Нищенки, проходящий под существующей станцией (рис. 1).

Материалы и методы

Станция «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии и пристанционные

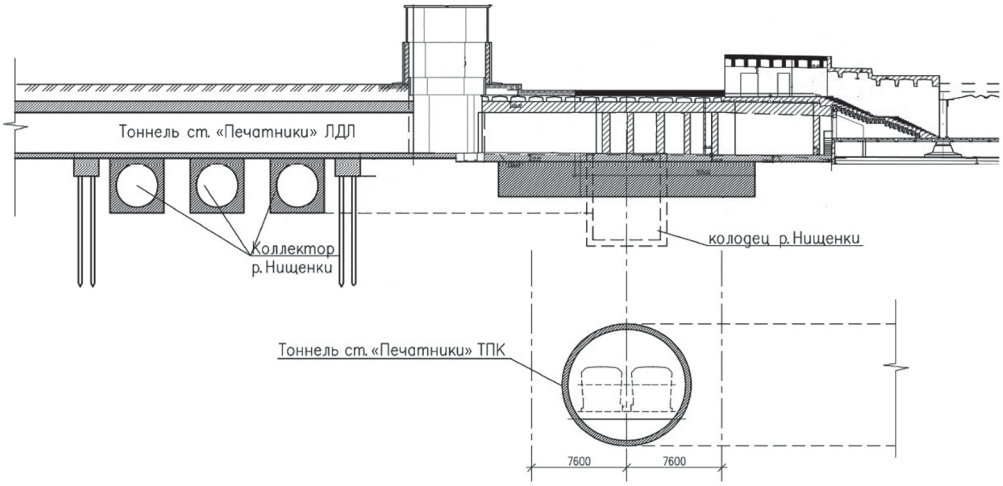

Рис. 1. Взаимное расположение существующей застройки и объектов строительства
Fig. 1. Positional relationship of the existing site development and abuilding objects

сооружения построены в 1995 г. открытым способом из монолитного железобетона и сборных железобетонных конструкций. Станционные и тоннельные конструкции обвалованы слоем грунта толщиной 1,5 м.

Ширина станции 18 м. Несущие конструкции путевых стен изготовлены из сборных панелей. Покрытие — сборные железобетонные плиты, опирающиеся на стеновые панели и сборные железобетонные ригели. Два ряда колонн изготовлены из сборного железобетона сечением 0,5×0,5 м и облицованы мрамором. Лотковая плита имеет толщину 300 мм и выполнена из сборного и монолитного железобетона.

При обследовании тоннеля были выявлены участки, на которых в процессе эксплуатации происходила просадка пути. Путь выравнивался с помощью фанерных карточек толщиной от 15 до 31 мм.

По результатам проведенного обследования было установлено, что действующая станция «Печатники» находится в работоспособном техническом состоянии.

Вмещающий грунтовый массив представлен преимущественно слежавшимися суглинисто-песчаными отложениями разной степени водонасыщенности четвертичного и дочетвертичного периодов с включением техногенного мусора.

Гидрогеологические условия территории характеризуются наличием надморенного и надъюрского водоносных комплексов, а также юрского и подольско-мячковского водоносных горизонтов.

Под станцией проходит коллектор р. Нищенки, состоящий из трех сборных железобетонных труб диаметром 3,5 мм и 6 камер (см. рис. 1). Фундаментами камер являются монолитные железобетонные плиты толщиной 380 мм, глубина заложения от поверхности земли 7,0 м. Фундаменты под трубами коллектора — сборные железобетонные блоки с глубиной заложения 6,5–10,5 м от поверхности.

Строительство перегонного тоннеля от станции «Печатники» до станции «Нагатинский затон» ведется тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК) с активным грунтопригрузом забоя Herrenknecht TBM EPB 10690 с диаметром резанья 10,69 м. Перегонные тоннели БКЛ под станцией «Печат-

Таблица 1

Результаты расчета методом математического моделирования
Mathematical modeling results

№	Объект	Максимальные перемещения конструкций станции, мм		
		вертикальные	вдоль станции	поперек станции
Расчетные перемещения от проходки перегонного тоннеля				
1	Станция «Печатники» ЛДЛ	17	0	0
58, 59, 60	Коллекторы р. Нищенки *d* = 3500 ж.б.	39,0	–	–

ники» проходятся на глубине 13,6 м в следующих инженерно-геологических условиях:

- сводовая часть — в юрских глинах твердой, прослоями полутвердой консистенции,
- средняя и нижняя части — в измайловских известняках средней прочности, с прослоями мергеля и глины, трещиноватых, прослоями разрушенных до щебня и муки, водоносных.

Гидрогеологические условия территории характеризуются наличием грунтовых вод надъюрского и измайловского водоносных горизонтов.

Оценка влияния строительства двухпутного перегонного тоннеля на сооружения станции «Печатники» ЛДЛ и коллектор р. Нищенки выполнялась специализированной организацией с учетом технического состояния станции, ее конструктивных особенностей и деформаций, полученных как в процессе эксплуатации, так и в результате водопонижения при сооружении котлована станции «Печатники» БКЛ.

Расчет проводился в программном комплексе «Z_Soil» методом конечных элементов, в объемной постановке (рис. 2). Результаты расчета приведены в табл. 1.

Минимальный расчетный коэффициент запаса прочности в конструкциях станции «Печатники» после проходки

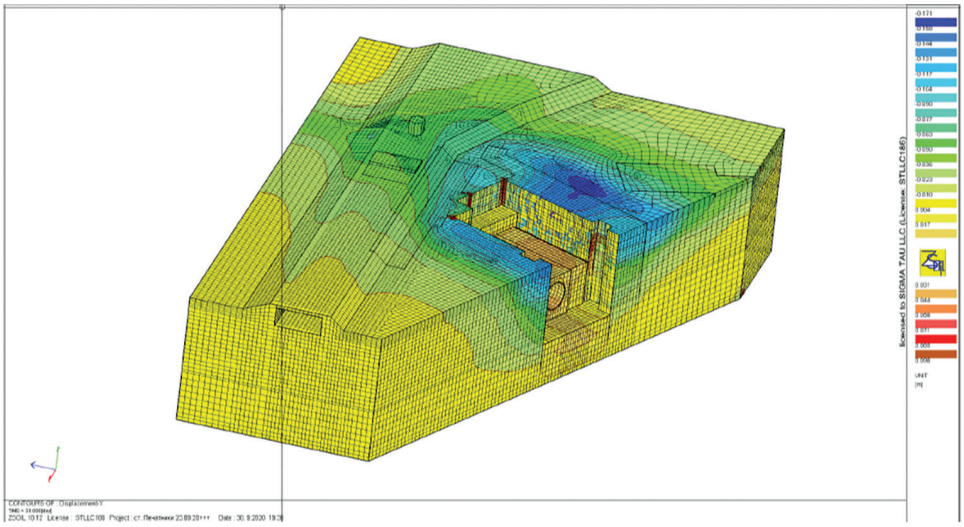

Рис. 2. Изополя вертикальных перемещений при проходке двухпутного перегонного тоннеля
Fig. 2. Isofields of vertical displacements in double-track tunnel driving between subway stations

двухпутного перегонного тоннеля составляет 1,15.

На основании анализа имеющихся материалов были предложены следующие мероприятия по интерактивному управлению параметрами проходки:

- Верификация результатов численного моделирования.
- Фиксация параметров проходки (давление пригруза, объем разработанного грунта, давление нагнетания и объем тампонажного раствора).
- Организация автоматизированного мониторинга планово-высотного положения конструкций станции «Печатники» с периодичностью 1 раз в 3 ч.
- Геодезические наблюдения за деформациями дневной поверхности.
- Георадиолокационое обследование грунтового массива с целью выявления протечек из коллектора р. Нищенки.
- Измерения по технологии радиоволновой геоинтроскопии межскважинного пространства (РВГИ) в зоне пересечения действующих и строящихся тоннельных сооружений.
- Анализ результатов мониторингов и интерактивный контроль параметров проходки.

На период проходки было организовано закрытие станции «Печатники» с последующим открытием движения по удалению ТПМК за границу участка зоны влияния щитовой проходки на коллектор р. Нищенки.

Результаты исследования

Для верификации результатов численного моделирования использовалась

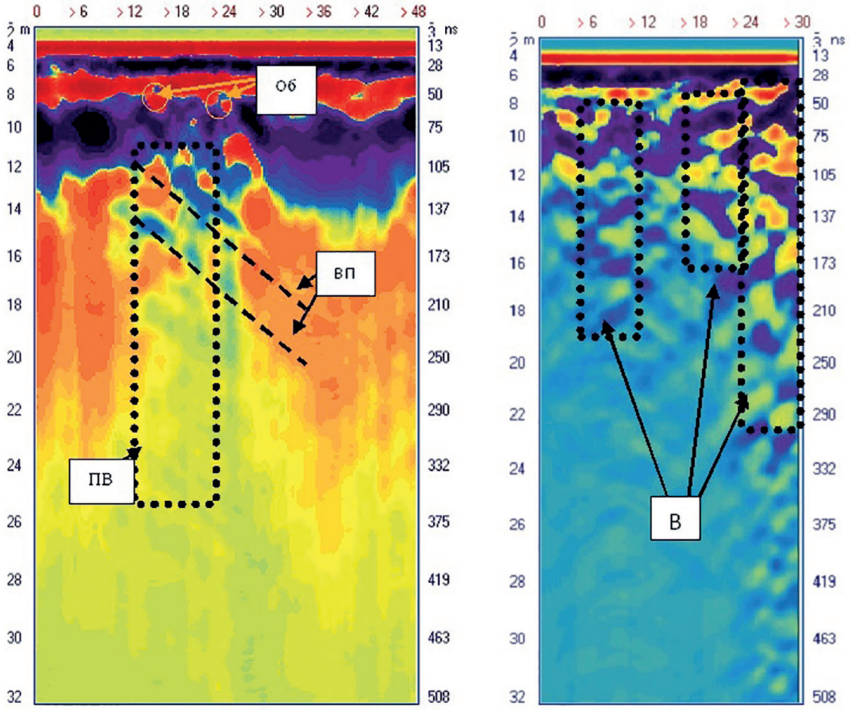

Рис. 3. Радарограммы до начала проходки: Об — объекты в приповерхностном слое, ПВК — область влияния подземных конструкций, ВП — воздушная помеха

Fig. 3. Pre-tunneling radarograms: Ob — objects in subsurface layer, IZUS — influence zone of underground structures, AN — air noise

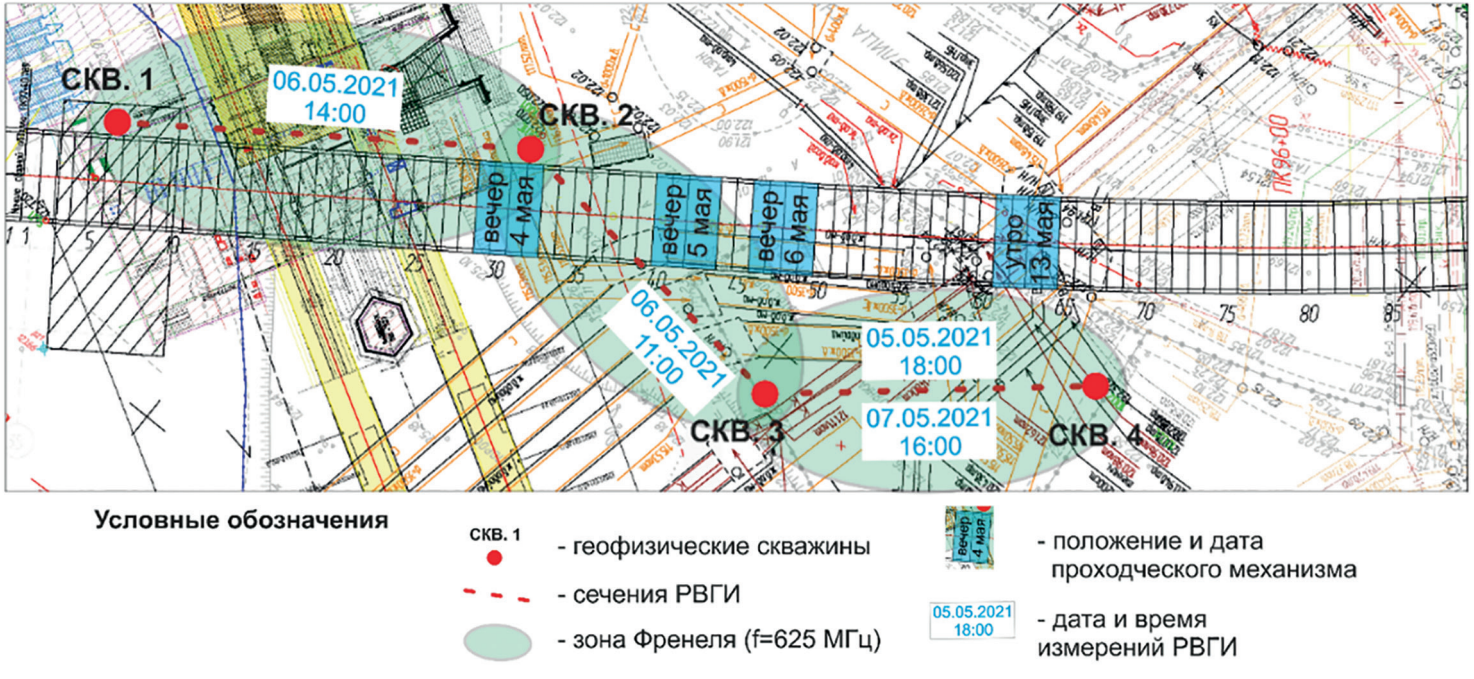

Рис. 4. Схема измерений РВГИ, f = 625 кГц

Fig. 4. RWGI instrumentation layout in interwell space, f = 625 kHz

расчетно-эмпирическая методика [4], расчеты по которой показали, что осадка станции «Печатники» в результате проходки ТПМК составит 7,9 мм.

Георадиолокационное профилирование производилось с использованием низкочастотного георадара «Лоза-2Н» с трехметровыми антеннами (средняя частота излучения 50 МГц). Работы выполнялись до начала строительства и после завершения проходки. Ярко выраженных сигналов, указывающих на наличие протечек из коллектора р. Нищенки не зафиксировано (рис. 3).

Оценка состояния грунтового массива [5–7] в процессе проходки выполнялась путем дистанционного определения электрических характеристик (электросопротивления и диэлектрической проницаемости) методом РВГИ [1, 2, 8, 9]. Исследования [10] были основаны на фиксируемых в процессе режимных наблюдений изменениях электрических характеристик среды, как в пространстве между скважинами, так и во времени. Высокая чувствительность метода позволяет на ранних стадиях выявлять и локализовывать в межскважинном пространстве области развития негативных технологических и природных процессов, влияющих на надежность сооружений.

Одновременно с РВГИ проводилась запись односкважинного радиоволнового метода — многочастотная диэлектрическая интроскопия околоскважинного пространства (ДИМЧ) [2, 3] — для определения электрических характеристик грунтов в непосредственной близости от скважины. По результатам измерений в 3 сечениях с базой просвечивания 40 м на частоте 625 кГц были построены 2D-геоэлектрические томограммы РВГИ [10]. На эти томограммы нанесены спектры ДИМЧ и диаграммы интерпретационных параметров. Схема измерений с нанесенными зонами Френеля на основной частоте f = 625 кГц приведена на рис. 4. На схему также вынесены положения ТПМК и соответствующие им даты.

На рис. 5 показан составной вертикальный томографический геоэлектрический разрез по данным межскважинных исследований РВГИ (f = 625 кГц) по линии скважин 1–2–3–4. По результатам исследований [10, 11] было показано, что 2D-геоэлектрические томограммы РВГИ с требуемой детальностью отражают геологическое строение разреза и являются надежной базой для количественного сравнения с данными последующих режимных наблюдений с оценкой изменений грунта поблизости от тоннеля. Наличие тоннеля находит отражение в построенных 2D-геоэлектрических разрезах РВГИ в виде заметного локального изменения электриче-

Таблица 2

Сопоставление расчетных и фактических осадок станции «Печатники» и коллектора р. Нищенки
Comparison of calculated and actual subsidence data at the Pechatniki Station and at the Nishchenka river reservoir

Тоннельные сооружения	**Осадки, мм**		
	расчетные		**фактические по результатам мониторинга**
	МКЭ	**по методике ОНТС «Мосинжпроект»**	
Станция «Печатники» ЛДЛ	17	7,9	7,4
Коллектор р. Нищенки	39	5,4	4,2

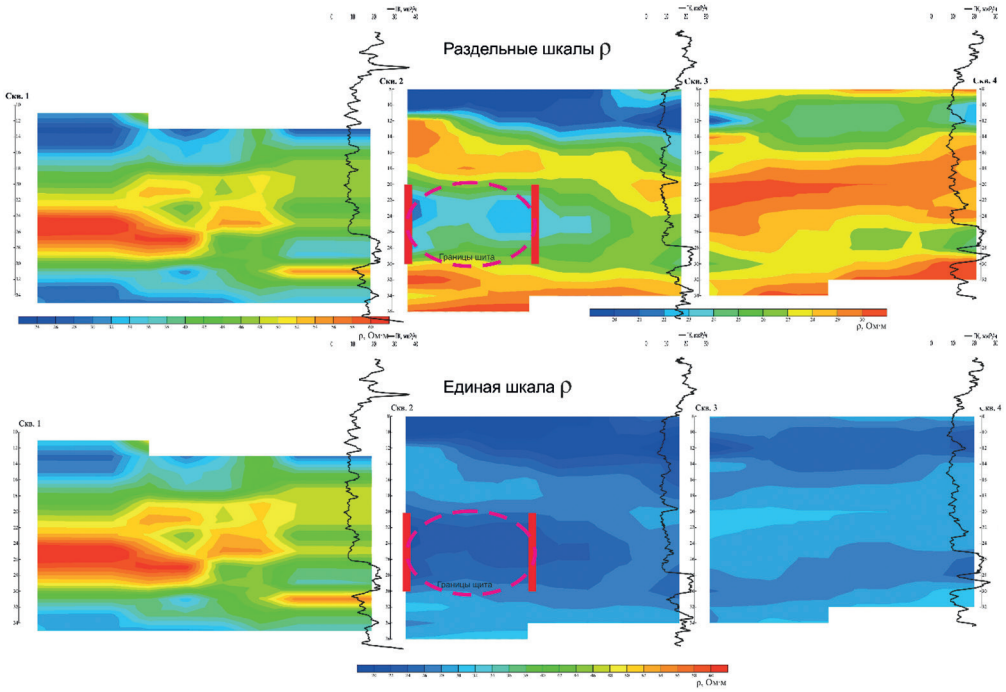

Рис. 5. Составной вертикальный томографический геоэлектрический разрез по данным межскважинных исследований РВГИ (f = 625 кГц) по линии скважин 1–2–3–4

Fig. 5. Composite vertical geoelectrical tomography section plotted by RWGI data in interwell space (f = = 625 kHz) in the line of wells 1–2–3–4

ских свойств в пространстве между скважинами 1–2 и 2–3 на фоне в целом выдержанных по характеристикам пластов горизонтально-слоистого разреза, полученным по данным ГИС.

В процессе проходки контролировались технологические параметры работы ТПМК [12–14] и проводилось их сопоставление с данными мониторингов. При необходимости в режиме реального времени корректировалось давление пригруза ТПМК, что позволило обеспечить максимальную фактическую осадку станции «Печатники» в размере 7,4 мм, а коллектора р. Нищенки — 4,2 мм (табл. 2).

Основные причины неудовлетворительной сходимости результатов численного моделирования с данными геотехнического мониторинга проанализированы в [11, 14–16].

Заключение

Мероприятия по интерактивному управлению технологическими параметрами проходки позволили:

- Подтвердить возможность применения расчетно-эмпирической методики [4] для верификации численного моделирования. При этом точность расчетов по методике [4] составила от 93,2% (станция «Печатники») до 71,4% (коллектор р. Нищенки). Для сравнения расхождение результатов математического моделирования, выполненного специализированной организацией, с фактическими данными геотехнического мониторинга — от 2,3 (станция «Печатники») до 9,3 (коллектор р. Нищенки) раз.
- На основании анализа результатов проведенных исследований показать, что для повышения качества геотехнических расчетов необходимо проведе-

ние полномасштабных научно-исследовательских работ по изучению зависимости коэффициента технологического перебора от конструктивных особенностей ТПМК и инженерно-геологических условий проходки. Пример такого исследования приведен в [15].

• Вести контроль изменения физического состояния грунтового массива [17 — 20], технического состояния и деформаций защищаемых сооружений и принимать своевременные решения по корректировке технологических параметров работы ТПМК в режиме реального времени.

• Обеспечить конструктивную надежность и дальнейшую безопасную эксплуатацию действующих сооружений станции «Печатники» и коллектора р. Нищенки без применения дополнительных специальных методов строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Истратов В. А.*, *Колбенков А. В.*, *Кузнецов Н. М.*, *Перекалин С. О.*, *Черепанов А. О.* Способ объемной радиоволновой геоинтроскопии горных пород в межскважинном пространстве. Патент RU № 2710874 от 27.03.2019.

2. *Истратов В. А.*, *Скринник А. В.*, *Перекалин С. О.*, *Колбенков А. В.*, *Черепанов А. О.* Способ диэлектрического каротажа околоскважинного пространства. Патент RU № 2714177 от 30.12.2019.

3. *Истратов В. А.*, *Скринник А. В.*, *Перекалин С. О.* Многочастотный диэлектрический интроскоп ДИМЧ-2Z. Патент RU № 2733110C1 от 11.08.2019.

4. *Конюхов Д. С.* Технологическая безопасность подземного строительства в условиях плотной городской застройки // Метро и тоннели. — 2019. — № 1. — С. 26 — 29.

5. *Kulikova E. Yu.*, *Ivannikov A. L.* The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining // Journal of Physics: Conference Series. 2020, vol. 1425, no. 1, article 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012062.

6. *Баловцев С. В.*, *Шевчук Р. В.* Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 8. — С. 77 — 83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.

7. *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.

8. *Кузнецов Н. М.* Способ 3D обработки данных радиоволнового просвечивания межскважинного пространства // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2012. — № 1(19). — С. 240 — 246.

9. *Кузнецов Н. М.*, *Колбенков А. В.*, *Истратов В. А.*, *Перекалин С. О.* Программа обработки данных радиоволнового просвечивания методом радиоволновой геоинтроскопии «RVGI#3D». Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017662496 от 20.09.2017.

10. *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.

11. *Koniukhov D. S.*, *Polyankin A. G.*, *Kazachenko S. A.* An analysis of the factors which influence geotechnical calculations and monitoring data agreement / Proceedings of International Tunneling Symposium in Turkey: Challenges of Tunneling (Tunnel Turkey 2017). Istanbul, 2017.

12. *Куликова Е. Ю.*, *Потапова Е. В.* Синтез управленческих решений для обеспечения безопасности подземного строительства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 2. — С. 62 — 69. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_62.

13. *Куликова Е. Ю.*, *Виноградова О. В.* Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 7. — С. 146—154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

14. *Потапова Е. В.* Типология сооружений метрополитена для задач классификации геотехнических рисков // Горные науки и технологии. — 2021. — № 6. — С. 52—60. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-52-60.

15. *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 (EUUS 2019). Wuhan, 2019.

16. *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.

17. *Мангушев Р. А.*, *Сапин Д. А.*, *Кириллов В. М.* Влияние типа конечных элементов при численном моделировании ограждений котлованов на конечную осадку фундаментов соседних зданий / Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении. Материалы международной научно-технической конференции. — Новочеркасск, 2018. — С. 708—718.

18. *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.

19. *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 (WTC 2020). Kuala Lumpur, Malaysia, 2020, pp. 721—724.

20. *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. ГИАБ

REFERENCES

1. Istratov V. A., Golenkov A. V., Kuznetsov N. M., Perekalin S. O., Cherepanov A. O. *Patent RU 2710874*, 27.03.2019. [In Russ].

2. Istratov V. A., Skrynnik A. V., Perekalin S. O., Kolbenkov A. V., Cherepanov A. O. *Patent RU 2714177*, 30.12.2019. [In Russ].

3. Istratov V. A., Skrynnik A. V., Perekalin S. O. *Patent RU 2733110C1*, 11.08.2019. [In Russ].

4. Konuhov D. S. Technological safety of underground development in restrained urban conditions. *Metro i tonnely*. 2019, no. 1, pp. 26—29. [In Russ].

5. Kulikova E. Yu., Ivannikov A. L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, vol. 1425, no. 1, article 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012062.

6. *Balovtsev S. V.*, *Shevchuk R. V.* Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 8, pp. 77—83. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.

7. 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.

8. Kuznetsov N. M. Method of 3D data processing of radio-wave transmission of the interwell space. *Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center». Earth Sciences*. 2012, no. 1(19), pp. 240—246. [In Russ].

9. Kuznetsov N. M., Kolbenkov A. V., Istratov V. A., Perekalin S. O. Radio wave transmission data processing program by radio wave geointroscopy «RVGI#3D». *Certificate of state registration of computer programs, no. 2017662496*. 20.09.2017. [In Russ].

10. 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.

11. Koniukhov D. S., Polyankin A. G., Kazachenko S. A. An analysis of the factors which influence geotechnical calculations and monitoring data agreement. *Proceedings of International Tunneling Symposium in Turkey: Challenges of Tunneling (Tunnel Turkey 2017)*. Istanbul, 2017.

12. Kulikova E. Yu., Potapova E. V. Synthesis of managerial decisions to the effect of underground construction safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 2, pp. 62 — 69. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_62.

13. Kulikova E. Yu., Vinogradova O. V. Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 7, pp. 146 — 154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

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

15. 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 (EUUS 2019)*. Wuhan, 2019.

16. 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.

17. 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].

18. Nikiforova N. S., Konnov A. V. Prediction of deformation of the foundations of the surrounding development taking into account protective measures. *Soil Mechanics and Foundation Engeneering*. 2020, no. 6, pp. 7 — 12. [In Russ].

19. 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 (WTC 2020)*. Kuala Lumpur, Malaysia, 2020, pp. 721 — 724.

20. 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. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

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 27.02.2022; получена после рецензии 07.03.2022; принята к печати 10.04.2022.
Received by the editors 27.02.2022; received after the review 07.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.