

# Повышение точности прогноза влияния проходки тоннелей с использованием ТПМК на сохранность существующей застройки

М.Н. Курганский, канд. техн. наук, гл. специалист, ЗАО «Триада-Холдинг», МГТУ, Москва

## Аннотация

Недостаточно изученный механизм прогноза изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива вблизи строительства в условиях городов-мегаполисов, использование в практике проектирования различных методик расчета влияния и оценки сохранности коммуникаций при отсутствии нормативных данных требуют квалифицированного подхода к решению задач в части влияния производства работ на существующую застройку.

## Ключевые слова

Геотехнический мониторинг, геотехнический прогноз, здания, инженерные коммуникации, методы расчета, осадки, сооружения, сохранность, строительные геотехнологии, ТПМК.

## Abstract

Lack of sufficient knowledge in prediction mechanisms of how stress-strain behavior of soil mass around underground excavations in megalopolises changes as well as use of diverse design and calculation procedures to evaluate their possible impact on the existing infrastructure in the absence of the approved regulations require a highly competent approach to be able to compensate the influence of the working process on the surrounding buildings.

## Keyword

Buildings, calculation procedure, geotechnical monitoring, prediction mechanism; settlements; structures; TBM, utility mains.

В столице интенсивно осваивается подземное пространство: строятся тоннели железнодорожные, автодорожные, коллекторные. В ближайшие годы протяженность линий московского метрополитена увеличится на 25%. Новые технологии и высокие темпы строительства в условиях плотно застроенного современного мегаполиса предъявляют жесткие требования к участникам процесса на всех его стадиях.

Проходка тоннеля неизбежно вызывает вертикальные и горизонтальные перемещения грунта, изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива и гидрогеологических условий. Технологические воздействия проходки могут вызвать повреждения расположенных вблизи зданий и сооружений, инженерных коммуникаций, нарушить безопасность их эксплуатации. Эти последствия могут быть весьма значительными, если строительство тоннеля осуществляется в структурно неустойчивых грунтах в непосредственной близости к существующим строительным конструкциям.

При проектировании оснований, фундаментов, подземных частей сооружений различного назначения и объектов метрополитена, в частности, в районах городской застройки со сложившейся инфраструктурой, инженерными и транспортными коммуникациями выполняется геотехнический прогноз — оценка влияния строительства на изменение НДС окружающего грунтового массива,

существующих зданий, сооружений и подземных коммуникаций с целью обеспечения их сохранности. При этом федеральные и региональные органы экспертизы уделяют повышенное внимание качеству геотехнического прогноза. Выполнение подобной оценки влияния — это чрезвычайно сложная инженерная задача, связанная с целым рядом проблем, наиболее значимыми из которых являются отсутствие в отечественной нормативной документации методик и рекомендаций для определения:

- границ и величин влияния использования различных строительных технологий на грунтовой массив и расположенные вблизи здания, сооружения и коммуникации;
- степени сохранности существующих инженерных коммуникаций, испытывающих влияние использования вблизи различных строительных технологий.

В отечественной нормативной документации также отсутствуют рекомендации для назначения ориентировочного радиуса зоны влияния при использовании закрытого способа проходки тоннелей с применением ТПМК.

В приложении Л актуализированной редакции свода правил по основаниям зданий и сооружений (СП 22.13330.2011) оценены дополнительные деформации оснований фундаментов сооружений окружающей застройки, расположенных в зоне влияния нового строительства или реконструкции в зависимости от типа зданий и сооружений, а также категории их технического состояния. Для подземных инженерных коммуникаций данных предельных дополнительных деформаций оснований в нормативной документации нет.

В Стандарте организации СТО 36554501-008-2007 [12] приведена методика оценки степени сохранности подземных водонесущих коммуникаций, в которой предложено использовать показатель степени обеспечения сохранности коммуникаций. Расчет показателя выполняется по приведенным в СТО формулам и зависит от прогнозных и допустимых параметров наклона секций труб, радиусов кривизны, относительной горизонтальной деформации растяжения или сжатия. Прогнозные и допустимые параметры деформаций любых существующих подземных инженерных коммуникаций можно определить по результатам соответствующих расчетов, но часто это делается без учета реального их состояния.

Для оценки влияния проходки тоннелей с использованием ТПМК с пригрузом забоя на существующую застройку выполняют расчеты с применением специальных программных комплексов. В настоящее время для выполнения расчетов деформаций грунтового массива в зоне проходки тоннелей с использованием ТПМК в нашей стране и во всем мире широко применяется программный комплекс PLAXIS, разработанный в Дельфтском техническом университете по инициативе министерства комму-

нальных сооружений и управления водными ресурсами Нидерландов (Rijkswaterstaat).

Результаты расчетов осадок грунтов в зоне проходки тоннелей с использованием ТПМК не всегда сходятся с данными геотехнического мониторинга. На рис. 1 приведены изополя вертикальных деформаций грунтового массива от влияния проходки тоннелей метрополитена с использованием ТПМК с активным пригрузом забоя, они получены для одних и тех же горно-геологических условий, однако выполнены по различным методикам. Осадки поверхности земли от проходки тоннелей с использованием ТПМК достигают 16 мм (рис. 1, а) и 140 мм (рис. 1, б), т.е. отличаются на порядок.

Из-за отсутствия четкой нормативной базы в области расчета деформаций грунтового массива от влияния проходки тоннелей с использованием ТПМК каждый исполнитель вправе закладывать в программу для расчета осадок в качестве исходных данных параметры, способ определения которых ничем не регламентирован.

Характеристики грунтов по исходным данным полевых и лабораторных испытаний, полученные различными методами, также значительно отличаются. При недостаточной информации и неопределенности исходных данных, а также при вероятности возникновения непредвиденных ситуаций проектировщик вынужден закладывать в проектную документацию наихудшие параметры, характеризующие инженерно-геологические условия строительства, что существенно сказывается на качестве геотехнического прогноза, стоимости и сроках выполнения работ. Моделирование идеальных случаев проходки тоннелей с использованием ТПМК с пригрузом забоя, исключая влияние негативных факторов риска, приводит также к ошибочным результатам, поскольку на практике подобные случаи проходки тоннелей без осадок грунтов почти не встречаются. В мировой практике используются различные методы оценки влияния проходки тоннелей на сохранность существующей застройки: эмпирические (Лиманов Ю. А., Иофис М. А., Муллер Р. А., Подаква В. Ф., Артюкова Е. А., Демешко Е. А., Ходош В. А., Поправко А. К., Молчанов В. С., Савельев Ю. Н., Peck, O'Reilly и New, Attewell, P. B., Woodman), аналитические (Араманович И. Г., Курбацкий Е. Н., Аунг Мо Хейн, Park K.H., Verruijt, Booker, Loganathan, Poulos) и численные методы.

Значительный вклад в развитие теории и создание новых аналитических методов расчета подземных конструкций различного назначения, сооружаемых с применением новых технологий внесли Фотиева Н.Н., Шейнин В.И., Пушилилин А.Н [2]. Мульды осадок поверхности земли от проходки тоннелей, выполненные различными специалистами, существенно отличаются друг от друга. Известно не менее тринадцати аналитических способов определения опорного давления на забой, разработанных инженерами и учеными разных стран: Caquot-Kerisel, Horn, Murayama, Broms & Bennemark, Atkinson & Potts, Davis et al, Krause, Mohkam, Leca & Dormieux, Jancsecz & Steiner, Anagnostou & Kovari, Broere, Carranza-Torres [3–8]. У нас широко используется методика определения давления пригруза, разработанная Филиалом ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены», позволяющая получить и обосновать путем анализа исходных данных достаточно надежные результаты. В соответствии с п. 4.6. Стандарта организации [1], давление пригруза щита, не-

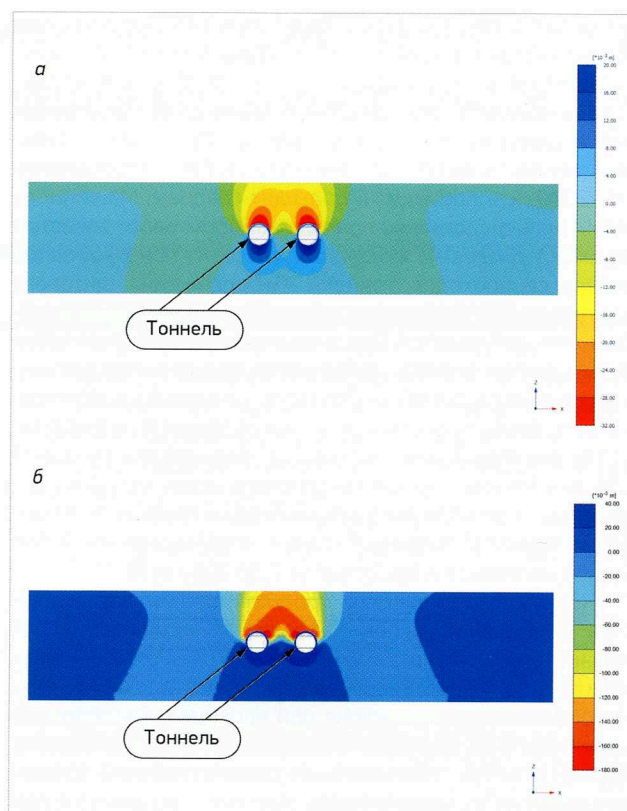


Рис. 1. Изополя вертикальных деформаций грунтового массива от проходки тоннелей метрополитена с использованием ТПМК с активным пригрузом забоя; получены для одних и тех же горно-геологических условий, выполнены по различным методикам

обходимое для минимизации осадки поверхности в различных условиях проходки, должно определяться по инженерным рекомендациям фирм, приводимым в Инструкции по применению ТПМК, предполагая уточнение результатов расчета в процессе проходки. Это допустимо, если щит новый и выполнен для работы в конкретных горно-геологических условиях, но таких машин мало. Среднее давление нагнетания тампонажного раствора (заполнение строительного зазора) должно быть выше расчетного давления пригруза забоя, и существенно влияет на развитие осадок поверхности земли. Превалирование в отечественной и зарубежной практике численных методов объясняется отсутствием замкнутых аналитических решений многих задач. По нашему мнению, на всех этапах изучения совместной работы грунтов и сооружений, их НДС, исследования аналитическими и экспериментальными методами и численный расчет должны применяться совместно.

Задача обоснования и разработки комплексной методики оценки влияния проходки тоннелей с использованием современных ТПМК с пригрузом забоя является актуальной.

Осадки в период проходки тоннелей с использованием современных ТПМК с пригрузом возможны даже при строгом соблюдении технологии и правил производства строительных работ. В отчетах об оценке влияния различных организаций часто упоминается, что прогнозы деформаций грунтового массива выполнены исходя из условия исключения сверхнормативных переборов грунта

и т.д. Такой подход имеет ряд недостатков, искажающих общую картину деформаций грунтового массива от проходки тоннелей с использованием ТПМК. Опыт строительства тоннелей проходческими комплексами с пригрузом забоя свидетельствует, что выемка грунта, как правило, осуществляется со значительными «переборами» (15–20%), что приводит к большим осадкам. Машинисты ТПМК непосредственно при производстве работ зачастую не имеют диаграмм изменений давления пригруза забоя по трассе проходки тоннеля. Передвижение щитового комплекса без нагнетания тампонажного раствора за обделку не допускается. Однако на практике в случае появления неисправностей, сбоев при выполнении нагнетания тампонажного раствора проходку тоннелей не останавливают, поскольку остановка может привести к обжатию ТПМК грунтом и невозможности дальнейшей проходки тоннеля. По данным геотехнического мониторинга и проведенных расчетов показатели осадки грунтов при проходке тоннелей метрополитена с использованием ТПМК могут находиться в пределах от 3 до 200 мм [9–11].

Комплексная методика прогноза влияния строительства тоннелей с использованием современных ТПМК должна учитывать все известные факторы риска — экономические, гидрогеологические, проектирования, технологические, возникающие при проходке, влияющие на изменение НДС грунтового массива, в том числе перебор грунта в забое, увеличенный технологический (строительный) зазор, податливость обделки, деформации щитов и их вибрации. Рекомендации по систематическому управлению рисками, опубликованные Международной ассоциацией по строительству тоннелей, стали стандартом для строительной индустрии в Европе. Страховые европейские фирмы, особенно занимающиеся перестрахованием, активно используют управление рисками на всех стадиях проекта, чтобы свести к минимуму страховые потери. Конечные результаты анализа начальных рисков должны обеспечить ориентиры для проведения необходимой корректировки базовых сценариев проектирования, выбора наилучшего метода строительства тоннеля, разработки плана дополнительных обследований в районе проведения работ. Это позволит уменьшить неопределенности и определить оптимальные проектные решения и технологии строительства.

ЗАО «Триада-Холдинг» более 20 лет выполняет работы по диагностике, оценке влияния строительства, мониторингу существующих зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, включая транспортные тоннели и метрополитен в Нижнем Новгороде и Москве, что позволяет в заключение сформулировать следующие выводы.

1. Оценка влияния современных геотехнологий на сохранность существующей застройки при использовании различных подходов, не подкрепленных нормативной документацией и методиками, увеличивает риски снижения надежности и перехода в аварийную категорию сохраняемых объектов.

2. Использование недостоверных исходных данных при вероятности возникновения непредвиденных ситуаций вынуждает проектировщиков закладывать в проектную документацию наихудшие параметры, характеризующие инженерно-геологические условия строительства, что существенно сказывается на качестве геотехнического прогноза, стоимости и сроках выполнения работ.

3. На практике случаи проходки тоннелей с использованием ТПМК без осадок грунтов почти не встречаются. Геотехнический прогноз влияния проходки тоннелей с использованием ТПМК зачастую выполняется формально, чтобы проектная документация соответствовала требованиям экспертизы. Такой геотехнический прогноз, выполненный для идеального случая проходки тоннелей, без учета факторов риска, искажает общую картину деформаций грунтов, как следствие, увеличиваются риски аварий при производстве работ, появляется угроза жизни и здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц. В проектной документации отмечается, что прогнозы деформаций грунтового массива выполнены, исходя из условия исключения сверхнормативных переборов грунта и т.д. Поскольку причиной возможных аварий окружающей застройки является влияние проходки тоннелей, то рискует в первую очередь исполнитель работ.

4. С целью обеспечения надежности существующей застройки, повышения качества проектной документации необходимы разработка и внедрение в практику комплексной нормативной методики по определению границ и величин влияния от использования современных строительных геотехнологий и степени сохранности инженерных коммуникаций.

5. Использование комплексной методики оценки влияния проходки тоннелей с использованием ТПМК, основанной на результатах анализа начальных рисков, должно обеспечить ориентиры для проведения необходимой корректировки базовых сценариев проектирования, выбора наилучшего метода строительства тоннеля, разработки плана дополнительных обследований и выполнения защитных мероприятий в районе проведения работ.

#### Литература

1. СТО НОСТРОЙ 17–2011. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки. Проект / ОАО «Центр проектной продукции в строительстве». — Москва, 2011.
2. Шейнин В. И., Пушилин А. Н. Разработка инженерной схемы расчета конструкций зданий с учетом смещений земной поверхности, вызываемых проходкой тоннеля. ОФМГ. ГУП НИИОСП им. Н. М. Герсеванова, М.: 2006.
3. Atkinson J. H., Potts D. M. & Schofield A. N. Centrifugal model tests on shallow tunnels in sand // *Tunnels & Tunneling*. — 1977. — No. 1. — PP. 59–64.
4. Leca E., Dormieux L. Upper and lower bound solutions for the face stability of shallow circular tunnel in frictional material // *Geotechnique*. — 1990. — Vol. 40. — No. 4. — PP. 581–606.
5. Jancsecz S., Steiner W. Face support for a large Mix-Shield in heterogeneous ground conditions // *Tunneling*. — 1994. — London.
6. Anagnostou G., Kovari K. Face stability in slurry and EPB shield tunneling // *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Rotterdam, Balkema*. — 1996. — Pp. 453–458.
7. Broere W. Tunnel Face Stability & New CPT Applications / Doctorate Thesis Technical University of Delft (Holland). — 2001.
8. Carranza-Torres C. Computation on factor of Safety for Shallow Tunnels using Caquot's Lower Bound Solution. In Publication. — 2004.
9. Инновационные конструктивно-технологические решения в транспортном тоннелестроении: обзорная информация / Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта РФ: ФГУП «Информационный центр по автомобильным дорогам». — Вып. 1. — 2005.
10. Протосеня А. Г., Беляков Н. А. Моделирование пространственного напряженно-деформированного состояния массива при строительстве тоннелей специализированными проходческими комплексами с пригрузом забоя // *Материалы науч.-техн. конф. Тоннельной Ассоциации России*. — 2010–2011.
11. Мазеин С. В., Потапов М. А. Анализ параметров современных щитов с разным типом пригруза, применяемых в метростроении с минимальными осадками городской поверхности // *Материалы науч.-техн. конф. Тоннельной Ассоциации России*. — 2010–2011.
12. СТО 36554501–008–2007 Обеспечение сохранности подземных водонесущих коммуникаций при строительстве (реконструкции) подземных и заглубленных объектов / ФГУП «НИЦ СТРОИТЕЛЬСТВО».

Для связи с автором:

Михаил Николаевич Курганский, 8–926–336–68–29, kurgansky@triadholding.ru