

На правах рукописи

До Нгок Тхай



**ПРОГНОЗ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ
МЕТРОПОЛИТЕНА ХАНОЯ ПРОХОДЧЕСКИМИ
КОМПЛЕКСАМИ С ПРИГРУЗОМ ЗАБОЯ**

*Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная
теплофизика*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Протосеня Анатолий Григорьевич

Официальные оппоненты:

Сарычев Владимир Иванович

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений, профессор

Коньков Александр Николаевич

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Тоннели и метрополитены», доцент

Ведущая организация – ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс»

Защита диссертации состоится 18 октября 2018 г. в 14 ч 30 мин на заседании диссертационного совета Д 212.224.06 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., дом 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 27 июля 2018 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



СИДОРОВ
Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В городе Ханое планируется строительство метрополитена мелкого заложения, перегонные тоннели которого в условиях городской застройки могут приводить к недопустимым оседаниям земной поверхности. Для сохранения земной поверхности при строительстве метрополитена могут быть использованы специализированные тоннелепроходческие механизированные комплексы (ТПМК) с компенсационным давлением на забой, что позволяет значительно снизить вертикальные перемещения земной поверхности.

Значительный вклад в исследование геомеханических процессов и разрушения грунтового массива вокруг подземных сооружений внесли: Булычев Н.С., Безродный К.П., Картозия Б.А., Огородников Ю.Н., Руппенейт К.В., Тимофеев О.В., Трушко В.Л., Сарычев В.И., Фотиева Н.Н., Во Чонг Хунг, Нгуен Куанг Фич, Нгьем Хыу Хань и др.

Изучением перемещений грунтов массива при строительстве ТПМК с компенсационным давлением на забой занимались отечественные и зарубежные ученые Протосеня А.Г., Карасёв М.А., Коньков А.Н., Беляков Н.А., Лебедев М.О., Супрун И.К., Кашко А.А., Peck R.B., Attewell P.B., Mair R.J., Broere W., Langmaak L., и др.

Вместе с тем, применительно к инженерно-геологическим условиям подземного пространства г. Ханоя процессы деформирования и вертикального перемещения земной поверхности при строительстве перегонных тоннелей метрополитенов ещё не изучены. Поэтому тема диссертационной работы актуальна.

Цель диссертационной работы. Обеспечение минимального вертикального перемещения поверхности земли и сохранения зданий по трассе при сооружении перегонных тоннелей метрополитена в сложных инженерно-геологических и градостроительных условиях.

Идея работы. Определение необходимой величины компенсационного давления на забой специализированных ТПМК и заполнение заобделочного пространства тампонажным раствором позволяют минимизировать вертикальные и горизонтальные

перемещения поверхности земли и обеспечивать долговременную устойчивость подземных конструкций перегонных тоннелей метрополитена.

Основные задачи исследования:

- анализ горно-геологических условий района при сооружении перегонных тоннелей метрополитена г. Ханоя проходческими комплексами с компенсационным давлением на забой;
- методика оценки компенсационного давления на забой при сооружении перегонных тоннелей специализированными тоннелепроходческими механизированными комплексами;
- разработка геомеханической модели прогноза вертикального и горизонтального перемещения поверхности земли при сооружении ТПМК с компенсационным давлением на забой;
- разработка метода расчета напряженного состояния обделки перегонных тоннелей с учетом их контактного взаимодействия с грунтовым массивом.

Методика исследований:

- оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий подземного пространства г. Ханоя;
- анализ и обобщение методов определения вертикальных перемещений земной поверхности с помощью численных методов;
- использование МКЭ для прогноза напряжений и перемещений грунтового массива в плоской и пространственной постановках;
- анализ результатов расчета и прогноз напряжений в конструкциях обделки и вертикального перемещения поверхности земли.

Научная новизна работы:

- закономерности вертикальных перемещений поверхности земли при сооружении двух параллельных взаимовлияющих перегонных тоннелей с использованием ТПМК;

- закономерности изменения напряжений в обделке при сооружении двух взаимовлияющих перегонных тоннелей метрополитена с компенсационным давлением на забой.

Основные защищаемые положения:

1. Величина компенсационного давления на забой при строительстве двух перегонных тоннелей метрополитена ТПМК определяется на основе решения пространственной упруго-пластической задачи взаимодействия системы «обделка – комплекс с компенсационным давлением – грунтовый массив», проведением многовариантных численных экспериментов и выбором минимальных смещений лба забоя тоннеля.

2. Для оценки вертикальных перемещений поверхности земли при сооружении двух перегонных тоннелей метрополитена ТПМК разработан метод расчета, учитывающий взаимное влияние тоннелей, величину компенсационного давления на забой, прочностные и деформационные свойства грунтового массива.

3. При сооружении двух перегонных тоннелей метрополитена изменяется напряженный грунтовый массив, в целике между выработками возникает дополнительная концентрация вертикальных напряжений, происходит перераспределение нагрузки на обделку, проходка второго тоннеля приводит к увеличению максимальных вертикальных перемещений поверхности земли от 1,6 до 1,7 раз.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- разработан метод расчета компенсационного давления на забой при сооружении тоннелей метрополитена ТПМК г. Ханоя;

- разработан метод прогноза вертикальных перемещений поверхности земли при сооружении двух взаимовлияющих перегонных тоннелей ТПМК в сложных инженерно-геологических условиях;

- разработан метод расчета напряжений в обделках двух тоннелей с учетом их контактного взаимодействия с грунтовым массивом.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций подтверждается использованием МКЭ в программном комплексе Simulia Abaqus; согласованностью результатов расчета с данными натурных наблюдений.

Апробация работы. Результаты работы апробированны на конференциях: Международная научно-практическая конференция «Современные технологии строительства подземных сооружений и горных предприятий», Ханойский Горно-геологический университет, г.Ханой, Вьетнам, июль 2016 г.; Международная научно-практическая конференция «Горное дело и строительство тоннелей» (ISM-2017), Развитие подземного строительства. Ханой. – 2017; Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы геомеханики при освоении месторождений полезных ископаемых и подземного пространства мегаполисов», Санкт-Петербург, Горный университет, ноябрь 2017г.

Публикации. По теме диссертации издано 6 работ: 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 3 статьи в научных изданиях докладов на конференциях.

Личный вклад автора заключается: в постановке задач исследований, в анализе методов расчета нагрузок на обделку перегонных тоннелей метрополитена; в разработке конечно-элементных моделей; в проведении численных экспериментов и анализе полученных результатов; в разработке методики расчета давления на забой перегонного тоннеля; в разработке метода расчета вертикального перемещения поверхности земли при сооружении двух перегонных тоннелей; в разработке методики расчета напряженно-деформированного состояния обделок перегонных тоннелей метрополитена.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 108 страницах машинописного текста, содержит 4 главы, введение и заключение, список использованной литературы из 120 наименований, 66 рисунков и 7 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 диссертации приведены инженерно-геологические особенности грунтового массива вдоль трасс перегонных тоннелей метрополитена линии №3 г. Ханоя. Выполнен анализ методов расчета компенсационного давления на забой, вертикального перемещения поверхности земли и напряженно-деформированного состояния массива при строительстве тоннелей метрополитена. Сформулированы цели и задачи исследований.

В главе 2 разработаны методы прогноза вертикального перемещения грунтового массива и напряжений в обделке перегонных тоннелей при сооружении ТПМК с компенсационным давлением на забой. Выполнен прогноз вертикального перемещения поверхности земли при сооружении двух перегонных тоннелей проходческими комплексами.

В главе 3 разработана пространственная модель прогноза величины компенсационного давления на забой при сооружении тоннелей метрополитена ТПМК и прогноза вертикального перемещения поверхности земли при сооружении двух тоннелей метрополитена ТПМК.

В главе 4 выполнен анализ результатов расчета вертикального перемещения поверхности земли в зависимости от компенсационного давления на забой при различных прочностных и деформационных свойствах грунтового массива; приведена постановка задачи взаимодействия системы «обделка – массив». Представлены результаты моделирования напряжений в обделке.

В заключении приведены обобщенные выводы и рекомендации, полученные по результатам исследований.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Величина компенсационного давления на забой при строительстве двух перегонных тоннелей метрополитена ТПМК определяется на основе решения пространственной упруго-пластической задачи взаимодействия системы «обделка – комплекс с компенсационным давлением – грунтовый массив», проведением многовариантных численных экспериментов и выбором минимальных смещений лба забоя тоннеля.

Линия № 3 метрополитена г. Ханоя начинается от станции "Ньон", расположенной под западной частью города, проходит через «Ким Ма» и «Кат Линь», далее поворачивает на юго-восток, диаметр тоннеля в проходке – 6,3 м, расстояние между параллельными однопутными тоннелями – 15м. Средняя глубина заложения тоннеля от поверхности земли до контура тоннеля составляет 20 м (рисунок 1). Основные показатели физико-механических свойств грунтов трассы метрополитена по линии №3 г. Ханоя приведены в таблице 1.

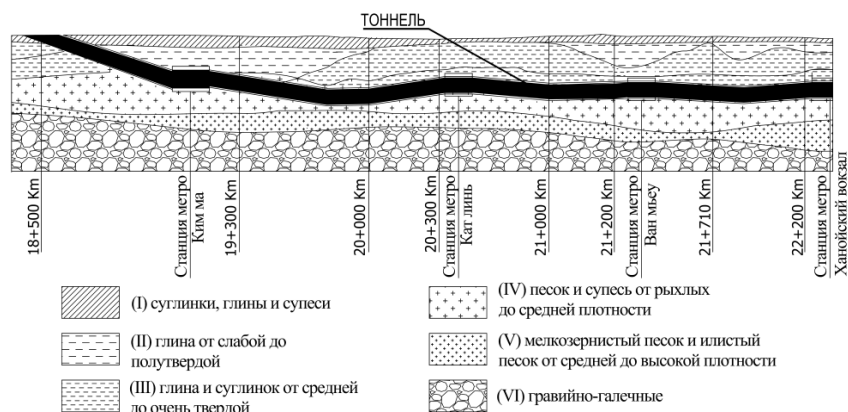


Рисунок 1 – Схематический инженерно-геологический разрез трассы метрополитена

Таблица 1 – Основные показатели физико-механических свойств грунтов трассы метрополитена по линии №3 г. Ханоя

Слой	h (м)	γ (кН/м ³)	E_0 (МПа)	c (кПа)	ϕ (град)	ν
Насыпной	2	19,1	4,2	5,4	7	0,35
I	3	18,2	7,5	8,5	10	0,38
II	5	17,1	10,7	9,0	12	0,39
III	7	18,7	13,8	11,6	15	0,38
IV	20	19,4	16,5	-	17	0,35
V	15	19,7	21,3	-	21	0,35
VI	-	21,0	80	-	35	0,32

где h - мощность слоя; γ - удельная масса грунтов; E_0 - модуль деформации; c - сцепление; ϕ - угол внутреннего трения; ν - коэффициент Пуассона.

Для исследования влияния усилия пригруза забоя на напряженно-деформированное состояние массива была составлена геомеханическая модель участка породного массива, вмещающего тупиковую выработку кругового очертания, закрепленную бетонной крепью, а в головной части – оболочкой ТПМК.

Отставание крепи от забоя принято равным 1 м. Незакрепленный участок выработки и плоскость забоя оставались свободно деформируемыми или подвергались пригрузению с различным усилием. Моделирование компенсационного давления выполнялось равномерно распределенной нагрузкой, приложенной непосредственно к плоскости забоя и к стенкам тоннеля на участке между этой плоскостью и оболочкой ТПМК.

Для оценки перемещения земной поверхности используется метод конечных элементов, реализованный в программе Abaqus. Программа позволяет моделировать процессы строительства тоннеля метрополитена и перемещения земной поверхности.

Принципиальная расчетная схема представлена на рисунке 2. Согласно расчетной схеме, в модели создавалось начальное неравнокомпонентное поле напряжений под действием собственного веса грунтового массива. При моделировании диаметр выработки тоннеля в проходке принимался равным 6,3 м, а глубина его заложения – 20 м.

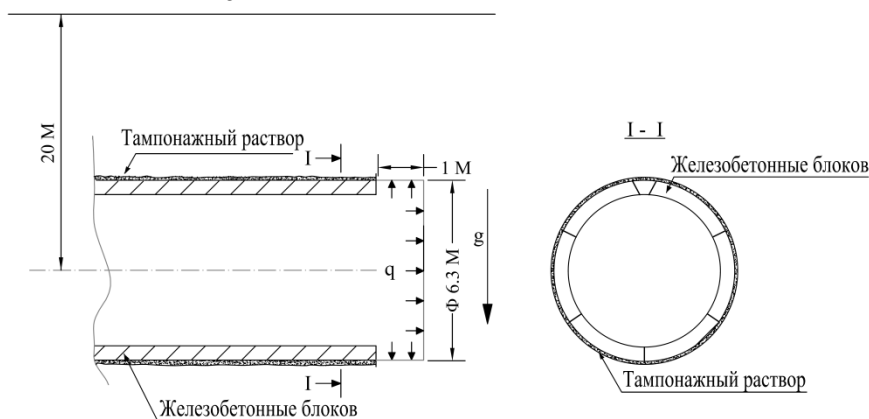


Рисунок 2 – Принципиальная расчетная схема

На рисунке 3 представлен график зависимости вертикального перемещения земной поверхности в направлении, перпендикулярном оси тоннеля с различными значениями компенсационного давления на забой.

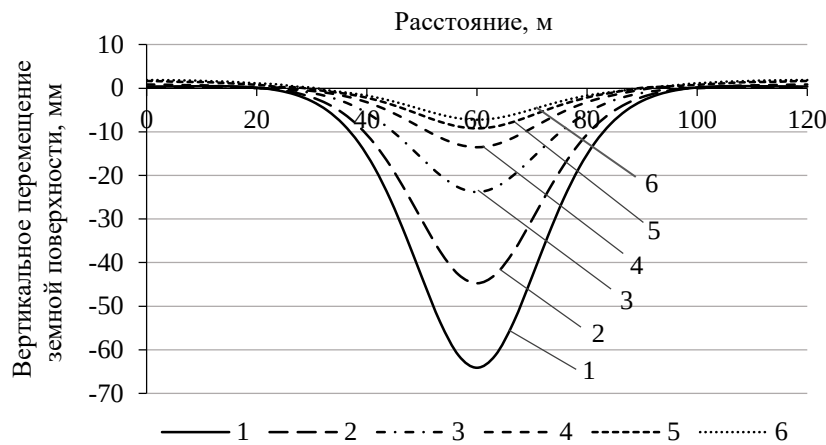


Рисунок 3 – График зависимости вертикального перемещения земной поверхности в сечении, перпендикулярном оси тоннеля, от компенсационного давления на забой: 1 – $q = 40 \text{ кПа}$; 2 – $q = 90 \text{ кПа}$; 3 – $q = 160 \text{ кПа}$; 4 – $q = 210 \text{ кПа}$; 5 – $q = 250 \text{ кПа}$; 6 – $q = 290 \text{ кПа}$

На рисунке 4 представлен график зависимости вертикального перемещения земной поверхности по оси тоннеля с различными значениями компенсационного давления на забой: $q = 40 \text{ кПа}$; $q = 90 \text{ кПа}$; $q = 160 \text{ кПа}$; $q = 210 \text{ кПа}$; $q = 250 \text{ кПа}$; $q = 290 \text{ кПа}$. Из анализа результатов расчета следует, что при увеличении компенсационного давления на забой величины наибольших вертикальных перемещений существенно уменьшаются.

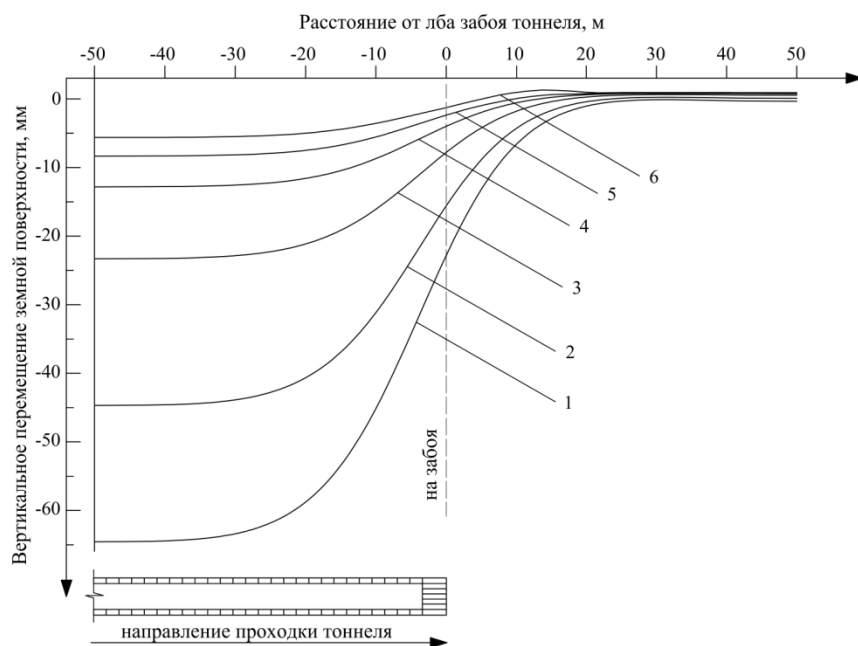


Рисунок 4 – График зависимости вертикального перемещения земной поверхности по оси тоннеля от величины компенсационного давления на забой: 1 – $q = 40 \text{ кПа}$; 2 – $q = 90 \text{ кПа}$; 3 – $q = 160 \text{ кПа}$; 4 – $q = 210 \text{ кПа}$; 5 – $q = 250 \text{ кПа}$; 6 – $q = 290 \text{ кПа}$

Из графика зависимостей (рисунок 4) по трассе тоннеля видно, что при значении компенсационного давления на забой порядка $q = 290 \text{ кПа}$ вертикальные перемещения земной поверхности меньше, чем при $q = 40 \text{ кПа}$, в 8 раз, и составляет около 7-7,2 мм. Приведенные выше расчетные зависимости можно использовать для выбора необходимой величины компенсационного давления на забой q с целью исключения предельных перемещений земной поверхности и сохранения зданий и сооружений на ней.

2. Для оценки вертикальных перемещений поверхности земли при сооружении двух перегонных тоннелей метрополитена ТПМК разработан метод расчета, учитывающий взаимное

влияние тоннелей, величину компенсационного давления на забой, прочностные и деформационные свойства грунтового массива.

Строительство тоннелей, независимо от применяемой технологии их проведения, вызывает перемещения земной поверхности. Точная форма мульды перемещения земной поверхности, вызванная строительством тоннеля, зависит от многих факторов.

Для определения вертикального перемещения земной поверхности при строительстве двух перегонных тоннелей проходческими комплексами разработан метод расчета, учитывающий величину компенсационного давления на забой. Использовалось моделирование методом конечных элементов. Расчетная схема пространственной конечно-элементной модели представлена на рисунке 5.

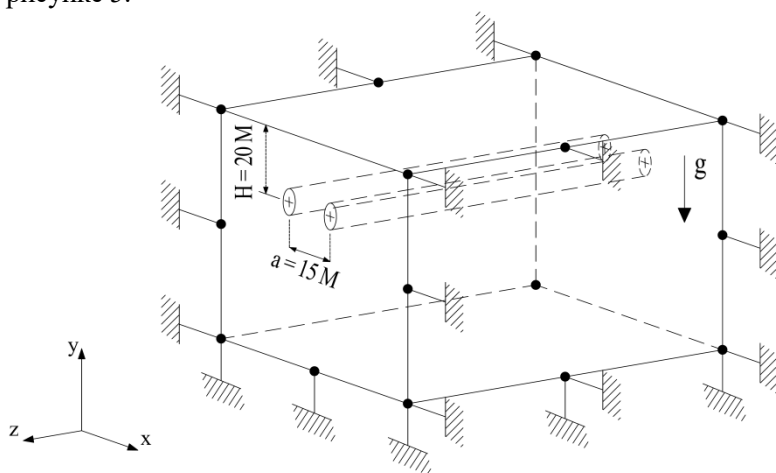


Рисунок 5 – Расчетная схема конечно-элементной модели

Глубина заложения тоннеля H для изучаемого участка составляет 20 м. При этом основные линейные размеры модели следующие: ширина модели в основании (размер в направлении оси X) – 120 м; длина модели (размер в направлении оси Z) – 100 м; высота модели (размер в направлении оси Y) – 80 м. Вертикальные

деформации земной поверхности после проходки перегонных тоннелей приведены на рисунках 6 и 7.

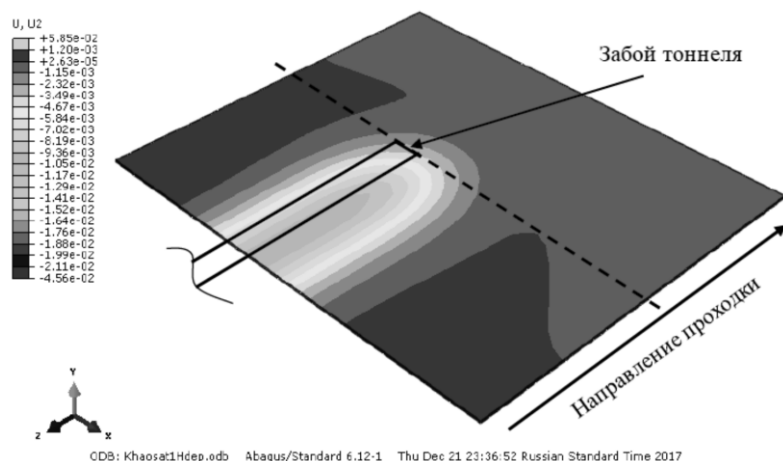


Рисунок 6 – Вертикальные деформации земной поверхности после проходки левого перегонного тоннеля

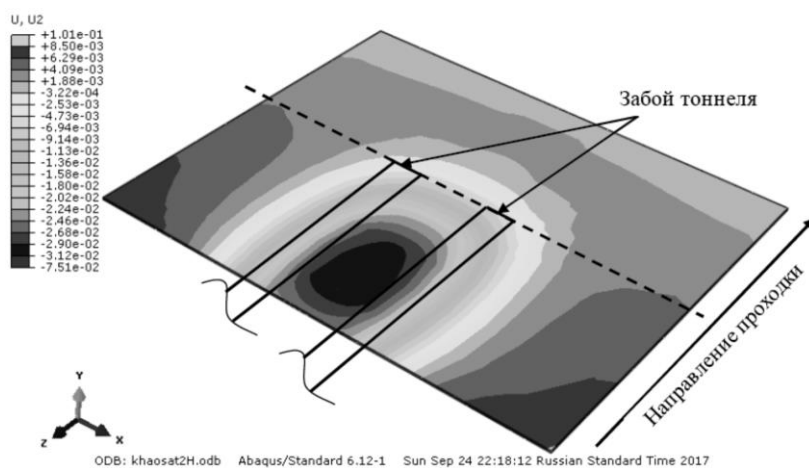


Рисунок 7 – Вертикальные деформации земной поверхности после проходки двух перегонных тоннелей

На рисунке 8 представлено вертикальное перемещение земной поверхности по трассе тоннелей.

Анализ результатов расчета (рисунок 8) показывает, что проходка левого перегонного тоннеля привела к перемещению земной поверхности порядка 12-13 мм, проведение двух перегонных тоннелей под теми же профильными линиями вызвало дальнейшее увеличение перемещения до значений 20-21 мм.

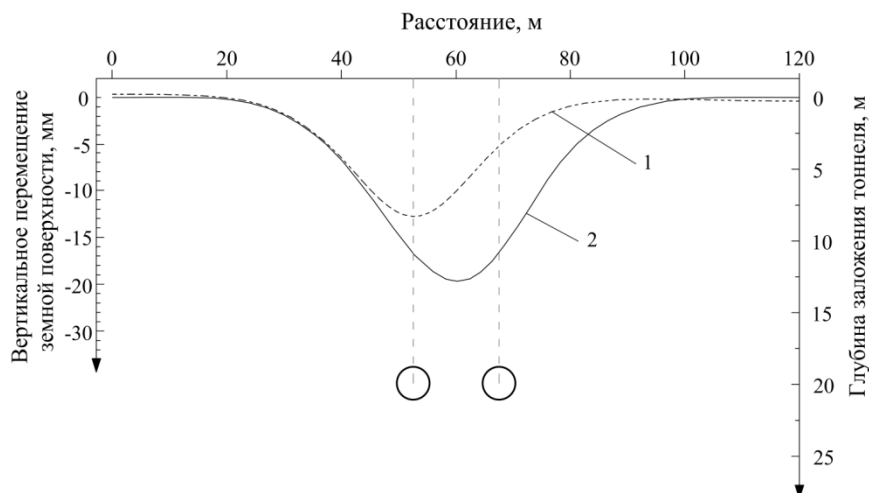


Рисунок 8 –Закономерности изменения вертикальных перемещений поверхности земли: 1 – после проходки первого тоннеля; 2 – после проходки двух тоннелей

На рисунке 9 представлен график закономерности вертикального перемещения земной поверхности при проходке двух перегонных тоннелей в зависимости от модуля деформации вмещающего грунтового массива. Из зависимостей (рисунок 9) следует, что при значении модуля деформации $E = 9$ МПа вертикальное перемещение земной поверхности в 1,43 раза больше, чем при $E = 32$ МПа и составляет около 15-16мм.

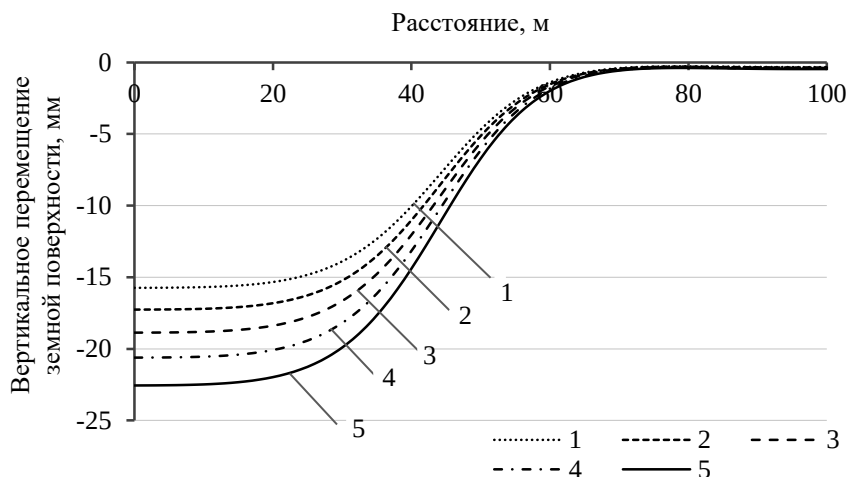


Рисунок 9 – График зависимости вертикального перемещения земной поверхности по трассе перегонного тоннеля от удаления забоя при проходке двух перегонных тоннелей:
 1 – $E = 32 \text{ МПа}$; 2 – $E = 26 \text{ МПа}$; 3 – $E = 20 \text{ МПа}$; 4 – $E = 14 \text{ МПа}$; 5 – $E = 9 \text{ МПа}$

3. При сооружении двух перегонных тоннелей метрополитена изменяется напряженный грунтовый массив, в целике между выработками возникает дополнительная концентрация вертикальных напряжений, происходит перераспределение нагрузки на обделку, проходка второго тоннеля приводит к увеличению максимальных вертикальных перемещений поверхности земли от 1,6 до 1,7 раз.

В основу метода расчета обделки тоннеля на действие собственного веса грунта положены аналитические решения соответствующих плоских контактных задач теории упругости для полубесконечной многосвязной весомой линейно-деформируемой среды, ослабленной произвольным числом круговых отверстий, центры которых расположены произвольным образом, подкреплённых многослойными кольцами, выполненных из различных материалов. Ниже приведены основные результаты исследования напряженного состояния обделок двух перегонных круговых тоннелей, при заполнении заобделочного пространства

тампожным раствором, с часто применяемыми на практике обделками из железобетонных блоков.

Обделки перегонных тоннелей выполнены из высокопрочных железобетонных блоков с перевязкой швов. Свойства прочностных и деформационных характеристик грунтового массива, которые были использованы при моделировании, представлены в таблице 1.

Эпюры тангенциальных напряжений на внешнем контуре поперечного сечения обделки представляют собой эллипс, (рисунок 10, а, 1) в своде обделки формируются максимальные сжимающие напряжения, в боке обделки напряжения меняют знак и становятся растягивающими.

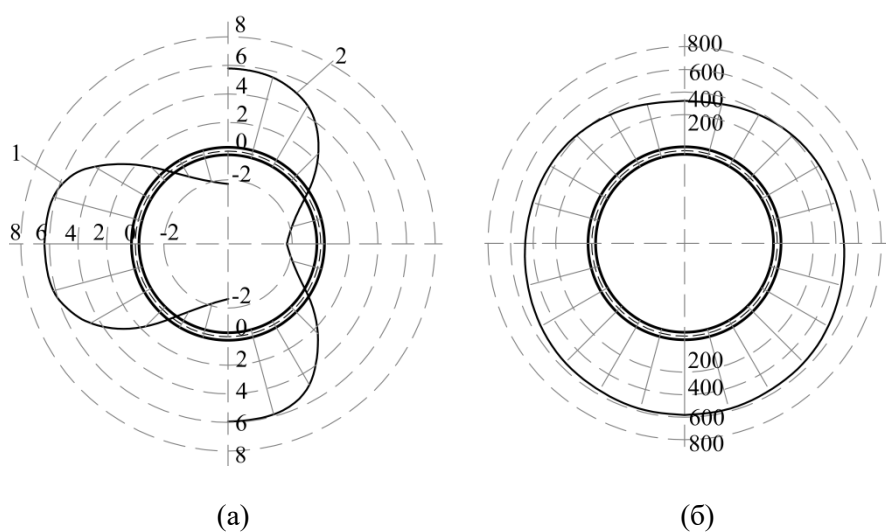


Рисунок 10 – Эпюры распределения тангенциальных и радиальных напряжений на контурах тоннеля: (а), 1 – тангенциальных напряжений на внутреннем контуре, МПа, 2 – тангенциальных напряжений на внешнем контуре поперечного сечения обделки перегонного тоннеля, МПа; (б) – радиальных напряжений на внешнем контуре поперечного сечения обделки перегонного тоннеля, кПа

Качественно эпюра тангенциальных напряжений на внутреннем контуре поперечного сечения обделки (рисунок 11, а, 1) представляет собой эллипс, в своде обделки формируются наибольшие растягивающие напряжения, а наибольшие сжимающие напряжения формируются в боке обделки.

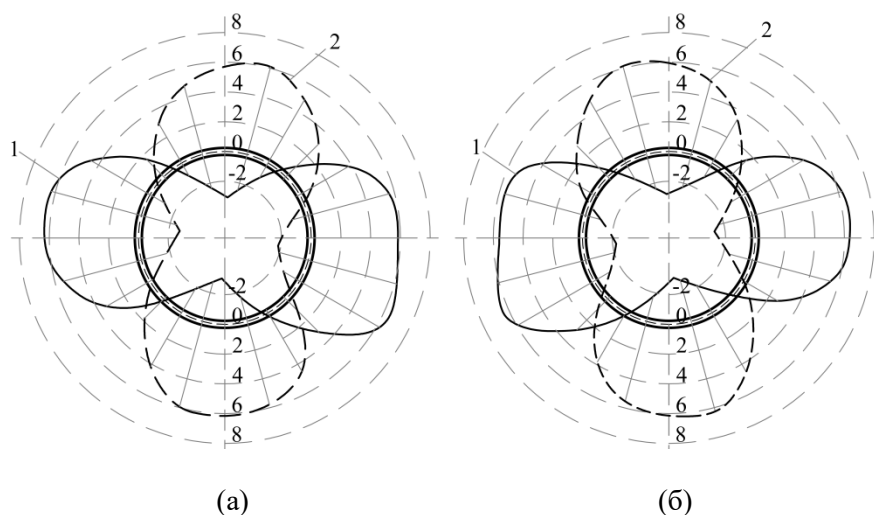


Рисунок 11 – Эпюры распределения тангенциальных напряжений, МПа, (а) левого и (б) правого перегонного тоннеля. 1 – тангенциальные напряжения на внутреннем контуре, 2 – тангенциальные напряжения на внешнем контуре поперечного сечения обделки перегонного тоннеля

В диссертации выполнена оценка влияния толщины обделки тоннеля при действии статических и сейсмических нагрузок от землетрясений.

В диссертации предлагается решение актуальной для подземного строительства задачи – прогноза напряженно-деформированного состояния обделки и грунтового массива при строительстве перегонных тоннелей ТПМК с пригрузом забоя в сложных инженерно-геологических и градостроительных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты выполненных исследований:

1. Выбор величины компенсационного давления на забой при сооружении перегонных тоннелей метрополитена с применением ТПМК должен находиться с помощью решения пространственной упругопластической задачи о работе системы «обделка – ТПМК – массив».

2. Значение максимального вертикального перемещения поверхности земли при сооружении тоннеля с помощью ТПМК с компенсационным давлением на забой составляет 12-13 мм. Величина вертикального перемещения впереди лба забоя реализуется приблизительно на 20-25 % от её максимальной величины. Зона влияния тоннеля на вертикальное перемещение поверхности земли определена на расстоянии, равном пяти диаметрам тоннеля впереди забоя и шести-семи диаметрам тоннеля позади забоя.

3. Для оценки вертикального перемещения земной поверхности при сооружении перегонных тоннелей с применением ТПМК разработана пространственная модель, учитывающая величину компенсационного давления на забой, проходка второго перегонного тоннеля приводит к увеличению максимальных вертикальных перемещений поверхности в 1,6 раза и составляет 20-21 мм.

4. В ходе решения пространственной задачи моделирования перегонного тоннеля установлена зависимость вертикального перемещения земной поверхности от величины компенсационного давления на забой при различных значениях угла внутреннего трения и сцепления грунтового массива.

5. Разработана геомеханическая модель взаимодействия обделок параллельных перегонных тоннелей с грунтовым массивом, в объемной постановке, с учетом их контактного взаимодействия и взаимного влияния параллельных тоннелей, выполнено численное моделирование формирования напряженного состояния обделок.

6. Установлены закономерности формирования напряженного состояния крепи тоннелей метрополитена в зависимости от расстояния между двумя параллельными тоннелями, а также деформационными и прочностными свойствами грунтового массива и крепи.

**ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ
СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:**

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. **Протосеня А.Г.** Разработка метода прогноза давления пригруза забоя и осадок земной поверхности при строительстве тоннелей механизированными проходческими комплексами / А.Г. Протосеня, Н.А. Беляков, До Нгок Тхай // Записки Горного института. – 2015. – Т.211. – С. 53-63.

2. **Протосеня А.Г.** Прогноз осадок земной поверхности при строительстве метрополитена проходческими комплексами с пригрузом забоя / А.Г. Протосеня, До Нгок Тхай // Известия высших учебных заведений Горный журнал. – 2016. – № 1. – С. 31–34.

3. **Протосеня А.Г.** Метод прогноза напряженного состояния обделки перегонных тоннелей для инженерно-геологических условий г. Ханоя / А.Г. Протосеня, До Нгок Тхай // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – № 1. – С. 145-153.

В других изданиях

4. **Do Ngoc Thai.** Prediction of surface settlements caused by shield tunneling / Do Ngoc Thai, Protosenya Anatoliy Grigorievich // International Conferences on Earth Sciences and Sustainable Geo-Resources Development (ESASGD-2016), International Conference on Advances in Mining and Tunneling, ICAMT 2016. Hanoi University of Mining and Geology. Hanoi. – 2016. – P. 334-338.

До Нгок Тхай. Прогноз оседаний поверхности земли при строительстве тоннелей проходческими комплексами с пригрузом забоя / До Нгок Тхай, А.Г. Протосеня // Международная научно-практическая конференция Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития (ESASGD-2016), Развитие подземного строительства, ICAMT 2016. Ханойский Горно-геологический университет. Ханой. – 2016. – С. 334-338.

5. **Do Ngoc Thai.** The effect of tunnel face support pressure on ground surface settlement in urban areas due to shield tunneling / Do Ngoc Thai, Protosenya Anatoliy Grigorievich // Proceedings of international conference on Geo-Spatial Technologies and Earth

resources (ISM-2017), Advance in Mining and Tunneling. Hanoi. – 2017. – P. 415-420.

До Нгок Тхай. Исследование влияния компенсационного давления в забое на величину осадок земной поверхности при строительстве метрополитена проходческими комплексами / До Нгок Тхай, А.Г. Протосеня // Международная научно-практическая конференция «Горное дело и строительство тоннелей» (ISM-2017), Развитие подземного строительства. Ханой. – 2017. – С. 415-420.

6. До Нгок Тхай. Разработка метода прогноза осадок земной поверхности при строительстве перегонных тоннелей механизированными проходческими комплексами в условиях г.Ханоя/ До Нгок Тхай// Современные проблемы геомеханики при освоении месторождений полезных ископаемых и подземного пространства мегаполисов. Санкт-Петербург. – 2017. –С. 53-54.