УДК 624.191

Энхтур Лонжид

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УГЛОВ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ОТЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Приведена методика прогноза максимальных оседаний от проходки тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами в четвертичных отложениях. На основе физико-механических свойств расчитаны граничные углы мульды сдвижения при данном условии проекта строительсва линии метро в городе Улан-Батор. Показано, что граничные углы могут использоваться для определения зоны влияния от проходки тоннеля и предварительной оценки уровень вреднего влияния к объектам и импраструктурам на земной поверхности.

Ключевые слова: максимальное оседания, граничные углы, физико-механические свойства грунта, проходка тоннеля, зона влияния, расчет ожидаемых сдвижений и деформаций.

Известно, что сдвижения и деформации горных пород и земной поверхности могут вызвать повреждения в объектах, увеличение водопроницаемости и газопроницаемости пород над выработанным пространством, изменение гидрогеологического режима поверхностных и грунтовых вод, активизацию оползневых процессов.

Границы зоны влияния подземных разработок определяются по граничным углам. Граничными углами называются внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальными линиями и линиями, последовательно проведенными в коренных породах, мезозойских отложениях и наносах, соединяющими границу очистной выработки с границей. Граничными точками мульды сдвижения считаются точки, за пределами которых со стороны неотработанной части пласта растяжения ε и наклоны i не превышают $0{,}5 \div 10^{-3}$, а оседания $\eta = 15 \div 20$ мм [1].

При условии проходки тоннеля в городе граничные точки установили 2 раза строго в связи со строительсвом инфрастук-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 4. С. 337–344.
© 2017. Энхтур Лонжид.

туры города, и граничными точками мульды сдвижения считаем точки, за пределами которых со стороны неотработанной части пласта растяжения ε и наклоны *i* не превышают $0{,}2 \div 10^{-3}$.

В наносах φ_0 (четвертичные и третичные горизонтально залегающие породы, не вмещающие разрабатываемые пласты), которые принимаются одинаковыми во всех направлениях и учитываются при мощности наносов более 5 м. Если горные выработки сооружаются в наносах при большой мощности, то следует учитывать граничные углы на основе физико-механических свойств горных пород, залегающих в наносе. Например, на территории города Улан-Батора мощность четвертичного отложения достигает до 40 м и собирается построится линия метрополитена именно в наносах. Поэтому возникает вопрос какова будет размер влияния земной поверхности.

Для определения инженерно-геологического условия построения города, на территории города проведено несколько раз инженерно-геологических исследований и изучены горные породы, залегающие в фундаменте городе. По обработкам полевых работ и лабораторных исследований сделали классификацию горных пород в наносе и рассчитали физико-механические свойства грунтов.

У города пока нет натурные данные, расчеты и наблюдательные работы, связанные с определением граничных углов. Опираясь на материалах инженерно-геологических исследований, определены углы влияния земной поверхности путем моделированием горных пород по физико-механическим свойствам для каждого типа грунта. Процесс моделирования выполнен в среде Plaxis 3D и она представляет собой специализированную трехмерную компьютерную программу, основанную на методе конечных элементов, которая используется для расчетов деформации и устойчивости различных геотехнических объектов.

Для моделирования использована модель грунта – Hardening soil (HS). Упругопластическая модель с упрочнением грунта (HS) является усовершенствованной моделью предназначенной для моделирования поведения различных типов грунтов, как слабых, так и прочных. Основные характеристики модели приведены ниже:

- жесткость, зависящая от напряжений согласно степенному закону – *m;*
- пластическое деформирование, вызванное первичным девиаторным нагружением – E_{ref}^{50};
- пластическое деформирование, вызванное первичным сжатием – E_{oed}^{ref};

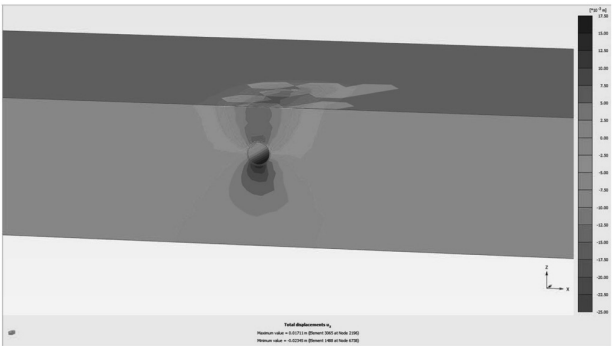

Рис. 1. Модель по данным одной горной породы

- упругая разгрузка / повторное нагружение – E_{ur}^{ref}, ν_{ur};
- разрушение по критерию Мора-Кулона – c, φ и θ.

На рис. 1 показан общий вид модели грунта. На каждой модели рассмотрено напряженно-деформированное состояние и получены величины оседания главного сечения мульда сдвижения. После обработки приняли граничные точки мульды сдвижения и определены граничные углы с помощью графических построений. Таким образом, обработано 20 типов горных пород, исследованных в районе города и которые составляют четвертичное отложения территория.

Обработка результатов моделирований производилась следующим образом.

- После моделирования проходки тоннеля в среде Plaxis получены значения оседании на точке поверхности модуль. Оседание точки *m*

$$\eta_m = H_{0(m)} - H_{n(m)}$$

где $H_{0(m)}$ – высотная отметка точки в начальной серии наблюдений; $H_{n(m)}$ – высотная отметка точки после моделирования проходки тоннеля.

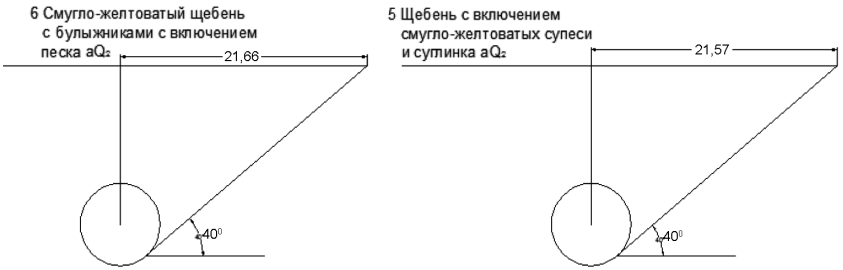

Рис. 2. Схема определения граничных углов на графике

Группа пород	Заметки грунтовых пород по инженерно-геологическому роду				Max толщина, м	Инженерно-геологический элементний номер	Краткое описание грунтовых пород	Показатели физико-механических свойств											
	период	отдел	возникование	индекс				Природная влажность	Количество упругости	Грунтовая плотность	Коэффициент пористости	Степень влажности	Консистенция	Модуль деформации, МПа	Угол внутреннего трения, град	Сила сцепления, МПа	Расчетное сопротивление	Длина зоны влияния от оси тоннеля в кресте по стиранию	Граничные углы сдвижений
								W	*Jp*	*r*	*e*	*Sr*	*JL*	*E*	φ	*C*	*Ro*	*L*	*b*
Рыхлое отложение	Четвертичный	Голоцен	Техногенное	tQ2	16	01	техногенная почва (1)											22,04	39
			Проловиальное	pQ2	5	05	супесь, содержащая гравий от смугло-желтоватого до смугло-коричиевого цвета (до 21–50%)	0,099	0,056	1,99	0,481	0,55	<0	20	29	31	300	21,29	40
					7	04	суглинок от смугло-желтоватого до смугло-коричневого цвета, содержащий гравий	0,189	0,117	2,04	0,593	0,87	0,42	34	24	23,5	275	20,42	42
					11,5	07	гравий, содержающий суглинок от смугло-желтоватого до смугло-коричневого цвета	0,122	0,084	2,16	0,409	0,8	0,17	26	40	39	450	21,6	40

Рыхлое отложение																		
Четвертичный																		
Голоцен																		
Плейстоцен-голоцен																		

Рыхлое отложение	Четвертичный	Плейстоцен-голоцен	элювио-делювиальное	edQ1-2	5,4	57	гравий, содержащий супесь от смугло-желтоватого до красно-желтоватого цвета	0,085	0,052	2,15	0,371	0,65	0,38	16	44	46	450	21,35	40
						51	гравий, содержащий суглинок от смугло-желтоватого до красно-желтоватого цвета	0,105	0,105	2,19	0,374	0,73	0,1	27	39	37	400	21,51	40
					16	54	гравелистый суглинок от глубоко-серого до красно-коричневого цвета	0,134	0,108	2,11	0,462	0,79	0,06	47	25	32	300	21,94	39
Метоморфическая	Неогенной	Плиоцен	метаморфическое-терригенное	N2	10	41	суглинок от ярко-желтоватого до красно-коричневого цвета, содержащий щебень и гравий	0,142	0,120	2,02	0,537	0,72	0,11	38	25	27	300	21,01	41
						42	гравелистый суглинок от ярко-желтоватого до красно-коричневого цвета	0,123	0,131	2,14	0,434	0,78	0,16	47	25	33	300	22	39
					>10	43	красная глина, содержащая гравий	0,176	0,212	2,06	0,567	0,85	0,14	81	21	28	550	21,5	40
					200	44	щебень и гравий с булыжниками, содержащие суглинок от смугло-желтоватого до красно-коричневого цвета	0,095	0,128	2,24	0,331	0,792	<0	24	41	41	450	21,56	40
	Меловой	Нижний		K1	200	35	зелено-серый суглинок, содержащий слои конгломерата, аргилита и алевролита	0,147	0,139	2,07	0,499	0,8	0,22	4	25	30	300	21,46	40
						36	зелено-серая глина, содержащая слои конгломерата, аргилита и алевролита	0,172	0,236	2,02	0,595	0,79	0,11	81	21	28	550	21,51	40
Коренная	Триас-Юрский	Поздний триас-ранний юра	глубинное	γT3-J1	–	71	трещиноватый, слабый-сильный выветренный и большой-средний зернистый гранит			2,43	$K_{вс}$ = 0,70–0,80				Временное сопротивление при сжатии одной оси		R_c= 5 МПа		
	Каменно-угольный	Нижний-средний	терригенное	C1-2	1400	61	трещиноватый, слабый-сильный выветренный песчаник			2,55	$K_{вс}$ = 0,40–0,60						R_c=5–15 МПа	21,15	40
						62	трещиноватый, слабый выветренный алевролит			2,57	$K_{вс}$ = 0,50–0,60						R_c=5–15 МПа	19,46	43
						64	трещиноватый, слабый выветренный аргиллит			2,53	$K_{вс}$ = 0,60–0,70						R_c=5–15 МПа	21,19	41

• Наклон интервала поверхности модели между точками m и m-1

$$i_m = \frac{\eta_m - \eta_{m-1}}{l_{0m,\ m-1}}$$

где η_m – оседание точки m; η_{m-1} – оседание точки m-1; $l_{0m,\ m-1}$ – горизонтальное расстояние между точками m и m-1.

• Кривизна в точках мульды сдвижения

$$K_m = \frac{i_m - i_{m-1}}{l_{cp}}$$

Чтобы определить границу мульды использовано критическое значение наклона.

На графиках показана схема проходки тоннеля и определены граничные точки мульды сдвижения вышеуказанными значениями. Размеры зоны влияния на земной поверхности от оси тоннеля колеблются между 19,03 м до 22,04 м, угол влияния на земной поверхности 39–42°.

В таблице соединены инженерно-геологическая классификация, показатели физико-механического свойств горных пород и полученные граничные углы различных грунтов в наносах при проходке тоннеля для геологических и технологических условий метро Улан-Батора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев В.Н.*, *Волохов Е.М.* Сдвижение и деформации горных пород. – СПб., 2003. – 83 с.

2. *Описания* инженерно-геологической карты территории города Улан-Батор 1:10000 масштабы. Т. 1, 2, 10. – Улан-Батор: ПНИИС, 1986. – 2000 с.

3. *Отчет* инженерно-геологической изыскании в территории города Улан-Батор. – Улан-Батор, 1986. – 141 с.

4. *Отчет* проектирования метрополитена в городе Улан-Батор. – Улан-Батор, 2013. – 309 с.

5. *Пособие* по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горнопроходческих работ при строительстве метрополитена. – Л.: Стройиздат, 1973. – 72 с.

6. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 291 с.

7. *Юрьевич Н.С.* Прогноз сдвижений и деформаций горных пород при сооружении эскалаторных тоннелей метрополитена тоннелепроходческими механизированными комплексами. Дисс. на соискан. уч. степени к.т.н. – СПб., 2014. – 147 с.

8. *Plaxis* версия 8. Справочное руководство. – М.: Мир. – 182 с.

9. *Jirí Barták, Ivan Hrdina, Georgij Romancov.* Underground Space – the 4th Dimension of Metropolises. CRC Press, 2007. – 2064 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Энхтур Лонжид – аспирант, e-mail: enkhtur_lo@mail.ru,
Санкт-Петербургский горный университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 337–344.

UDC 624.191

Enkhtur Lonzhid

DETERMINATION OF BOUNDARY ANGLES FOR OVERBURDEN STRATA BASED ON PHYSICAL PROPERTIES OF ROCKS

The article describes the prediction procedure for maximum subsidence of overburden strata induced by tunneling using tunnel boring machines. Based on the physical properties of rocks, the boundary angles of the subsidence trough are calculated in terms of the subway line construction project in Ulaanbaatar.

It is shown that the boundary angles can be used to determine the size of the influence zone of tunneling with TBM and for preliminary assessment of hazardous impact on the ground surface infrastructure.

Key words: maximum subsidence, boundary angle, physical properties of soil, tunneling, influence zone, calculation of anticipated movement and deformation.

AUTHOR

Enkhtur Lonzhid, Graduate Student, e-mail: enkhtur_lo@mail.ru,
Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

REFERENCES

1. Gusev V. N., Volokhov E. M. *Sdvizhenie i deformatsii gornykh porod* (Movement and deformation of rocks), Saint-Petersburg, 2003, 83 p.

2. Opisaniya inzhenerno-geologicheskoy karty territorii goroda Ulan-Bator 1:10000 masshtaby. T. 1, t. 2, t. 10 (Description of engineering geological map of the Ulaanbaatar city territory at 1 : 1000 scale, vol. 1, 2, 10), Ulan-Bator, PNIIS, 1986, 2000 p.

3. *Otchet inzhenerno-geologicheskoy izyskanii v territorii goroda Ulan-Bator* (Report on engineering geological exploration in the area of Ulaanbaatar city), Ulan-Bator, 1986, 141 p.

4. *Otchet proektirovaniya metropolitena v gorode Ulan-Bator* (Report on subway planning and design in the city of Ulaanbaatar), Ulan-Bator, 2013, 309 p.

5. *Posobie po proektirovaniyu meropriyatiy dlya zashchity ekspluatiruemykh zdaniy i sooruzheniy ot vliyaniya gornoprokhodcheskikh rabot pri stroitel'stve metropolitena* (Manual on safety planning for buildings and structures in the influence zone of subway construction), Leningrad, Stroyizdat, 1973, 72 p.

6. *Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh razrabotok na ugol'nykh mestorozhdeniyakh* (Guidance on protection of structures and nature from the hazardous impact of underground coal mining), Saint-Petersburg, VNIMI, 1998, 291 p.

7. Yur'evich N. S. *Prognoz sdvizheniy i deformatsiy gornykh porod pri sooruzhenii eskalatornykh tonneley metropolitena tonneleprokhodcheskimi mekhanizirovynnymi kompleksami* (Prediction of movement and deformation in rocks under construction of subway tunnels for moving staircases using tunnel boring machines), Candidate's thesis, Saint-Petersburg, 2014, 147 p.

8. *Plaxis версия 8. Reference guide*, Moscow, Mir, 182 p.

9. Jirí Barták, Ivan Hrdina, Georgij Romancov. *Underground Space the 4th Dimension of Metropolises*. CRC Press, 2007, 2064 p.