

Нгуен Куанг Хюи

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ (МАКСИМАЛЬНЫХ СЖИМАЮЩИХ И РАСТЯГИВАЮЩИХ) НОРМАЛЬНЫХ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБДЕЛКЕ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ТОННЕЛЯ С УЧЕТОМ НОВОЙ ВЫРАБОТКИ ОТ ОСНОВНЫХ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

Рассмотрен подход к исследованию напряженного состояния и оценке зоны влияния при сооружении выработки с использованием технологии микротоннелирования на обделку кругового тоннеля и окружающего массива пород вблизи него в зависимости от основных факторов.

Ключевые слова: строительство тоннелей, микротоннелирование, напряженно-деформированное состояние пород, обделка выработки.

На напряженное состояние обделки существующего тоннеля, формирующегося при проходке новой выработки способом микротоннелирования, оказывает влияние значительное количество различных факторов, основными из которых являются:

- отношение модулей деформации массива грунта и материала обделки $E_{0,0}/E_{1,0}$;

- относительная толщина обделки существующего тоннеля $\tilde{\delta} = \frac{R_{0,0} - R_{0,1}}{R_{0,0}}$.

С целью исследования влияния указанных факторов на напряженное состояние круговой тоннельной обделки с учетом сооружения новой выработки, проводимой методом микротоннелирования, выполнены многовариантные расчеты с помощью разработанного программного комплекса. На основе полученных результатов строились зависимости максимальных сжимающих и растягивающих (экстремальных) нормальных тангенциальных напряжений на внутреннем контуре внутреннего слоя обделки. Поскольку, как следует из примера, приведенного в [1], нормальные тангенциальные

напряжения, которыми, в основном, определяется прочность конструкции, достигают наибольших значений на внутреннем контуре поперечного сечения обделки, исследования проводились именно для этих напряжений. При этом исследуемые напряжения представлялись в безразмерном виде, то есть относились к величине основной компоненты гравитационного поля начальных напряжений в массиве $\gamma H \alpha^*$. Общие исходные данные, принимаемые при расчетах в процессе исследований, приведены как в [1].

Как следует из [1], в выполненных расчетах, если это не оговорено отдельно, принималось $E_{0,0}/E_{1,0} = 0,0015$.

Влияние каждого фактора на напряженное состояние обделки оценивалось отдельно путем выполнения многовариантных расчетов при использовании общих исходных данных и варьировании соответствующих параметров, характеризующих изменение рассматриваемого фактора.

1) Исследование зависимостей экстремальных нормальных тангенциальных напряжений на внутреннем контуре обделки существующего тоннеля с учетом новой выработки от отношения

модулей деформации массива и материала обделки $E_{0,0}/E_{1,0}$.

С целью исследования зависимости напряженного состояния подземной конструкции, вблизи которой пройдена выработка методом микротоннелирования, от отношения модулей деформации массива и материала обделки $E_{0,0}/E_{1,0}$ выполнены многовариантные расчеты с применением разработанной компьютерной программы. При этом в процессе исследований моделировались геомеханические ситуации, при которых массив пород обладает относительно невысоким модулем деформации. Используемые при расчетах изменяемые значения модуля деформации пород и исследуемые величины безразмерных экстремальных нормальных тангенциальных напряжений $\tilde{\sigma}_{\theta}^{(экстр)} = \sigma_{\theta}^{(экстр)} / \gamma H \alpha^*$ приведены в табл. 1

Полученные результаты многовариантных расчетов иллюстрируются графическими зависимостями, показанными на рис. 1.

Таблица 1.

Результаты многовариантных расчетов, выполненных с целью исследования влияния параметра $E_{0,0}/E_{1,0}$ на экстремальные нормальные тангенциальные напряжения в обделке

$E_{0,0}$	$E_{0,0}/E_{1,0}$	Безразмерные экстремальные нормальные тангенциальные напряжения $\tilde{\sigma}_{\theta}^{(экстр)}$	
		сжимающие	растягивающие
5	0,0003	-12,432	1,997
10	0,0005	-12,261	1,837
15	0,0008	-12,098	1,684
20	0,001	-11,942	1,539
25	0,0013	-11,794	1,401
30	0,0015	-11,653	1,27
35	0,0018	-11,517	1,145
40	0,002	-11,388	1,025

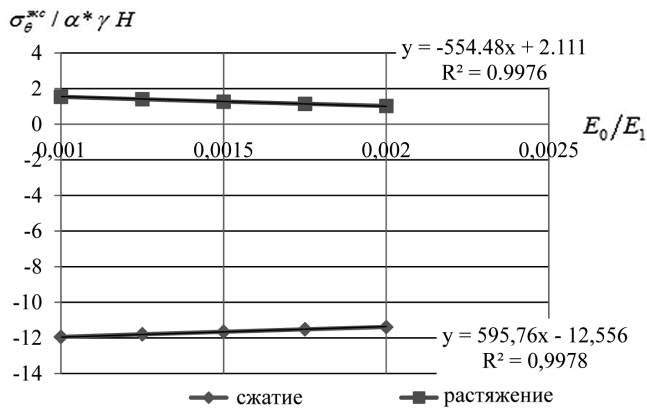


Рис. 1. Зависимости безразмерных экстремальных нормальных тангенциальных напряжений $\tilde{\sigma}_{\theta}^{(экстр)}$ на внутреннем контуре обделки существующего тоннеля с учетом новой выработки от отношения модулей деформации массива и материала обделки $E_{0,0}/E_{1,0}$

Из представленных зависимостей следует, что с ростом отношения модулей деформации массива и материала обделки $E_{0,0}/E_{1,0}$ максимальные сжимающие и растягивающие нормальные тангенциальные напряжения $\tilde{\sigma}_{\theta}^{(экстр)} / \gamma H \alpha^*$ снижаются. При этом характер зависимостей как сжимающих, так и растягивающих напряжений практически линейный, и в рассмотренном случае может быть аппроксимирован с высокой точностью

(коэффициент корреляции $R^2 > 0,99$) функциями:

• для максимальных растягивающих напряжений

$$\tilde{\sigma}_{\theta \max}^{(раст)} = 2,11 - 554 \frac{E_0}{E_1};$$

• для максимальных сжимающих напряжений

$$\tilde{\sigma}_{\theta \max}^{(с)} = -12,5 + 596 \frac{E_0}{E_1}.$$

Умножив напряжения из табл. 1 на величину $\gamma H \alpha^* = 0,48$ МПа, получим данные, приведенные в табл. 2.

Представленные табл. 2 зависимости позволяют также сделать практический вывод о том, в каких условиях проходка методом микротоннелирования новой выработки не представляет угрозы для прочности отделки существующего тоннеля. Так, в случае, когда отделка существующего тоннеля выполнена из бетона В15 с модулем деформации $E_6 = 23\ 000$ МПа и расчетными сопротивлениями сжатию и растяжению соответственно $R_b = 8,50$ МПа и $R_{bt} = 0,75$ МПа, из представленных в табл. 2 зависимостей следует, что при $\gamma H \alpha^* = 0,48$ МПа ($\gamma = 0,024$ МН/м³, $H = 20$ м, $\alpha^* = 1$) для выполнения условия

$$|\tilde{\sigma}_{\theta}^{(экстр)}| \gamma H \alpha^* \leq \begin{cases} R_b & \text{при сжатии} \\ R_{bt} & \text{при растяжении} \end{cases} \quad (1)$$

отношение E_0/E_1 должно быть наложено ограничение $E_{0,0}/E_{1,0} \geq 0,0009$. Таким образом, если отделка тоннеля выполнена из бетона В15, без опасная проходка новой выработки способом микротоннелирования возможна только в массиве пород, характеризующимся модулем деформации $E_{0,0} \geq 21$ МПа. Если это условие не удовлетворяется необходимо повысить класс бетона отделки существующего тоннеля, приняв, например В20 (модуль деформации $E_6 = 27\ 000$ МПа, $R_b = 11,5$ МПа и $R_{bz} = 0,9$ МПа), чтобы обеспечить ее необходимую несущую способность.

2) Исследование зависимостей экстремальных нормальных тангенциальных напряжений на внутреннем контуре отделки существующего тоннеля с учетом новой выработки от относительной толщины отделки существую-

$$\text{щего тоннеля } \tilde{\delta} = \frac{R_{0,0} - R_{0,1}}{R_{0,0}}$$

С целью иллюстрации влияния толщины отделки существующего тоннеля выполнены многовариантные расчеты с применением общих данных, при-

Таблица 2

Экстремальные напряжения в отделке существующего тоннеля

$E_{0,0}$	$E_{0,0}/E_{1,0}$	Экстремальные нормальные тангенциальные напряжения $\tilde{\sigma}_{\theta}^{(экстр)}$, МПа	
		сжимающие	растягивающие
5	0,0003	-5,96736	0,95856
10	0,0005	-5,88528	0,88176
15	0,0008	-5,80704	0,80832
20	0,001	-5,73216	0,73872
25	0,0013	-5,66112	0,67248
30	0,0015	-5,59344	0,6096
35	0,0018	-5,52816	0,5496
40	0,002	-5,46624	0,492

веденных в работе [1], и изменении радиуса $R_{0,1}$ таким образом, чтобы толщина обделки существующего тоннеля $\delta = R_{0,0} - R_{0,1}$ принимала значения в соответствии с табл. 3.

Графическая иллюстрация приведенных зависимостей показана на рис. 2.

Как видно из рис. 2, при увеличении отношения $\delta/R_{0,1}$ максимальные сжимающие нормальные тангенциальные напряжения уменьшаются. При этом зависимость растягивающих напряжений от относительной толщины обделки $\tilde{\delta}$ в рассмотренном диапазоне ее изменения имеет экстремальный характер.

Таблица 3

Результаты многовариантных расчетов, выполненных с целью исследования влияния параметра на экстремальные нормальные тангенциальные напряжения в обделке

$\delta = R_{0,0} - R_{0,1}$	$\tilde{\delta} = \frac{R_{0,0} - R_{0,1}}{R_{0,0}}$	Безразмерные экстремальные нормальные тангенциальные напряжения $\tilde{\sigma}_{\theta}^{(экстр)}$	
		сжимающие	растягивающие
0,1	0,08	-24,944	3,114
0,15	0,12	-19,190	3,698
0,2	0,16	-14,696	2,403
0,25	0,2	-11,653	1,270
0,3	0,24	-9,609	0,490

Таблица 4

Экстремальные напряжения в обделке существующего тоннеля

$\delta = R_{0,0} - R_{0,1}, \text{ м}$	$\tilde{\delta} = \frac{R_{0,0} - R_{0,1}}{R_{0,0}}$	Экстремальные нормальные тангенциальные напряжения $\tilde{\sigma}_{\theta}^{(экстр)}$, МПа	
		сжимающие	растягивающие
0,1	0,08	-11,9731	1,49472
0,15	0,12	-9,2112	1,77504
0,2	0,16	-7,05408	1,15344
0,25	0,2	-5,59344	0,6096
0,3	0,24	-4,61232	0,2352

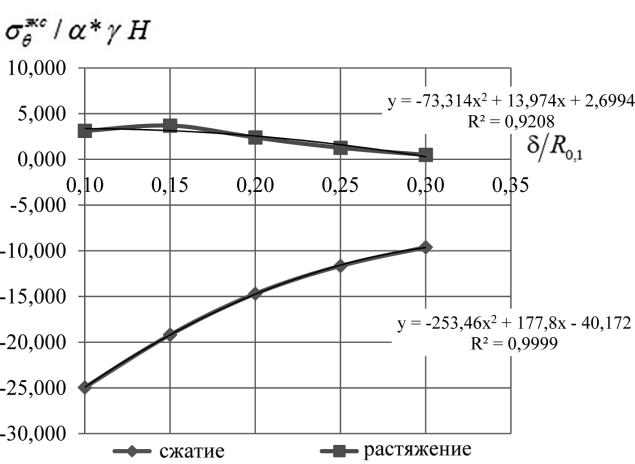


Рис. 2. Зависимости экстремальных нормальных тангенциальных напряжений в обделке существующего тоннеля с учетом новой выработки от отношения толщины обделки и радиуса существующего тоннеля $\tilde{\delta}$

Таким образом, исходя из приведенных зависимостей, вывод о том,

что увеличение относительно толщины обделки до $\delta = 0,15$ приводит к росту в ней максимальных растягивающих напряжений до 15%. Это обстоятельство необходимо учитывать в практическом проектировании.

Умножив напряжения из табл. 3 на величину $\gamma H\alpha^* = 0,48$ МПа, получим данные, приведенные в табл. 4.

Из представленных в табл. 4 зависимостей можно сделать практические выводы. Так, если существующий тоннель находится в условиях, при кото-

рых, как и раньше, $\gamma H\alpha^* = 0,48$ МПа, обделка выполнена из бетона В25, а массив грунта характеризуется модулем деформации $E_{0,0} = 45$ МПа, и с расчетными сопротивлениями сжатию и растяжению соответственно 14,5 МПа и 1,05 МПа для обеспечения условия (1) должно выполняться соотношение $\delta \geq 0,18$. В рассмотренном примере, когда радиус существующего тоннеля $R_{0,0} = 1,25$ м, толщина его обделки должна удовлетворять условию $\delta \geq 0,22$ м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нгуен Куанг Хюи. Математическое моделирование влияния технологии строительства микротоннелей методом прокола на напряженное состояние массива грунта и конструкции крепи существующего тоннеля // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельная статья (специальный выпуск). – 2014. – № 11. – с.

2. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Недра, 1994. – 382 с.

3. Родин И.В. Снимаемая нагрузка и горное давление / Исследование горного давления. – М.: Госгортехиздат, 1960. – С. 343–374.

4. Фотиева Н.Н., Козлов А.Н. Расчет крепи параллельных выработок в сейсмических районах. – М.: Недра, 1992. – 231 с.

5. Шахтное и подземное строительство. Т. 2. – М.: изд-во академии горных наук, 2001. – 538 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Нгуен Куанг Хюи – аспирант, e-mail: quanghai170687@gmail.com, МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 622.272

THE STUDY OF THE EXTREME (MAXIMUM COMPRESSIVE AND TENSILE) NORMAL TANGENTIAL STRESSES IN THE LINING OF THE EXISTING TUNNEL WITH THE NEW GENERATION OF THE MAJOR INFLUENCING FACTORS

Nguyen Kuang Khyui, Graduate Student, e-mail: quanghai170687@gmail.com, Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS».

An approach to the prediction of stress state and assessing the strength of a circular tunnel lining and the surrounding rock mass under construction near the production used by the micro-tunneling technology.

Key words: tunnel construction, microtunneling, stress strain state of rocks lining tunnel.

REFERENCES

1. Nguyen Kuang Khyui. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, special edition, 2014, no 11, pp.
2. Bulychov N.S. *Mekhanika podzemnykh sooruzhenii: uchebnyk dlya vuzov*. 2-e izd. (Mechanics of underground structures: Textbook for high schools, 2nd edition), Moscow, Nedra, 1994, 382 p.
3. Rodin I.V. *Issledovanie gornogo davleniya* (Overburden pressure analysis), Moscow, Gosgortekhzdat, 1960, pp. 343–374.
4. Fotieva N.N., Kozlov A.N. *Raschet крепи параллельnykh vyrabotok v seismicheskikh raionakh* (Design of support for parallel excavations in seismic regions), Moscow, Nedra, 1992, 231 p.
5. *Shakhtnoe i podzemnoe stroitel'stvo*. T. 2 (Underground and mine construction, vol. 2), Moscow, izd-vo akademiki gornykh nauk, 2001, 538 p.