

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЦЕЛИКЕ МЕЖДУ ДВУМЯ ТОННЕЛЯМИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**Гаяне Левоновна Тигранян***Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г.Ереван, РА
tigr6551@mail.ru*

Рассмотрено напряженно-деформированное состояние грунтового массива, находящегося между двумя параллельными тоннелями при сейсмическом воздействии. Соответствующие контактные задачи теории упругости для среды, ослабленной двумя отверстиями, решены в квазистатической постановке на базе метода конечных элементов посредством ПК ЛИРА. Получены изополя напряжений, а также зависимости максимальных напряжений в целике от расстояния между выработками для различных грунтовых условий.

Ключевые слова: *тоннель, круглое поперечное сечение, грунт, напряжения, сейсмическое воздействие*

Введение

Развитие современной инфраструктуры требует решения проблемы концентрации транспортных потоков в центре крупных городов. Проблемы заторов и пробок на дорогах актуальны для многих стран мира, а уровень загрязненности воздуха продолжает расти повсеместно. Одним из решений этого вопроса является увеличение объемов строительства подземных транспортных магистралей. Прокладка нескольких транспортных тоннелей, безусловно, приведет к изменению напряженно-деформированного состояния грунтового массива. В связи с этим, большое значение приобретает вопрос расчета крепи подземных сооружений с учетом действия специфических видов нагрузок, в том числе возникающих при землетрясениях сейсмических воздействий.

Сейсмические колебания тоннелей весьма специфичны. Характерной их особенностью является взаимодействие сооружения и окружающего его достаточно большого объема сплошной среды.

На сегодняшний день менее исследованными являются вопросы учета взаимного влияния близко расположенных тоннелей при сейсмическом воздействии. В [1] рассматривается задача о сейсмическом воздействии на выработки тоннелей метрополитена мелкого заложения. Взаимное влияние двух одинаковых параллельных круговых тоннелей при действии собственного веса пород исследовалось в [2]. В данной статье рассматривается напряженное состояние грунтового массива, находящегося между двумя одинаковыми параллельными тоннелями (целика) при сейсмических воздействиях.

Постановка задачи

Величины усилий в грунте между тоннелями от продольных и поперечных сейсмических воздействий определены решением плоской статической задачи теории упругости посредством программного комплекса, основанного на методе конечных элементов.

Модель массива пород представлена упругой плоскостью, размерами 100×100 м и толщиной 1 м, в которой аппроксимация параллельных тоннельных выработок выполнена посредством двух круглых отверстий, диаметром 5 м (рис.1). Глубина заложения тоннелей принята 50 м. Составлены

четыре плоские модели. В первой модели расстояние между осями тоннелей выбрано 8 м, во второй – 16 м, в третьей – 24 м и в четвертой – 32 м. Соответственно размеры целика (массива пород, расположенного между смежными тоннелями) в выбранных схемах составляют: 3, 11, 19 и 27 м.

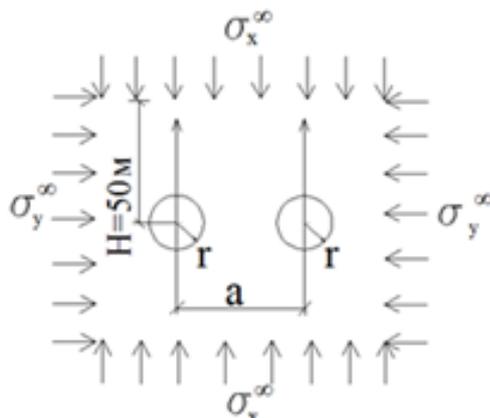


Рис. 1. Расчетная схема массива с двумя тоннелями при воздействии продольных сейсмических сил

Для исследования напряженно-деформированного состояния грунтового массива при сейсмическом воздействии, рассмотрены случаи расположения тоннелей в грунтах I, II и III категорий. Таким образом, величины усилий в обделке тоннеля от продольных и поперечных сейсмических воздействий определяются решением 12-и плоских статических задач теории упругости. Характеристики грунтов, а также значения действующих в бесконечности внешних нормальных и касательных напряжений σ_x^∞ , σ_y^∞ , τ_{xy}^∞ , рассчитанные согласно [3], представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры грунтов и напряжений, возникающих при сейсмическом воздействии в грунтах различных категорий

| Категория грунта | Характеристики грунтов | | | | | | Величины внешних усилий, приложенных на бесконечности, МПа | | |
|------------------|------------------------|------------|------------|----------------|---------|----------|------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| | T, c | $V_p, м/с$ | $V_s, м/с$ | $\rho, кН/м^3$ | ν_0 | $E, МПа$ | σ_x^∞ | σ_y^∞ | τ_{xy}^∞ |
| I | 0,3 | 2000 | 1200 | 22,0 | 0,20 | 80 | 1,47 | 0,37 | 1,26 |
| II | 0,5 | 1100 | 650 | 18,0 | 0,27 | 50 | 1,10 | 0,41 | 0,93 |
| III | 0,7 | 600 | 350 | 16,5 | 0,35 | 25 | 0,77 | 0,42 | 0,64 |

Результаты

Полученные в результате расчета значения нормальных напряжений в массиве пород, находящимся между параллельными выработками, от сейсмического воздействия, для грунтов I, II, III категории представлены в табл. 2.

Таблица 2

Величины нормальных напряжений в целике от сейсмического воздействия, при различном расстоянии между тоннелями в грунтах I, II, III категорий

| Расстояние от центра левого отверстия, м | Величины нормальных напряжений в целике от сейсмического воздействия, при расстоянии между двумя параллельными тоннелями, МПа | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 8м | | | 16м | | | 24м | | | 32м | | |
| | Категории грунтов | | | | | | | | | | | |
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| 2,50 | 4,87 | 3,71 | 2,67 | 4,75 | 3,68 | 2,70 | 4,77 | 3,70 | 2,73 | 4,78 | 3,71 | 2,73 |
| 2,75 | 4,46 | 3,38 | 2,42 | 4,26 | 3,28 | 2,40 | 4,27 | 3,30 | 2,41 | 4,27 | 3,30 | 2,42 |
| 3,00 | 3,78 | 2,85 | 2,03 | 3,45 | 2,64 | 1,91 | 3,45 | 2,64 | 1,91 | 3,45 | 2,64 | 1,91 |
| 3,50 | 3,47 | 2,62 | 1,86 | 3,08 | 2,35 | 1,69 | 3,07 | 2,34 | 1,68 | 3,06 | 2,33 | 1,68 |
| 4,00 | 2,91 | 2,18 | 1,54 | 2,32 | 1,75 | 1,24 | 2,29 | 1,73 | 1,22 | 2,28 | 1,72 | 1,22 |
| 5,00 | - | - | - | 1,95 | 1,46 | 1,02 | 1,92 | 1,43 | 1,00 | 1,91 | 1,42 | 0,99 |
| 6,00 | - | - | - | 1,77 | 1,33 | 0,92 | 1,74 | 1,29 | 0,90 | 1,73 | 1,29 | 0,90 |
| 7,00 | - | - | - | 1,70 | 1,26 | 0,88 | 1,64 | 1,22 | 0,85 | 1,63 | 1,22 | 0,85 |
| 8,00 | - | - | - | 1,67 | 1,24 | 0,86 | 1,60 | 1,19 | 0,83 | 1,59 | 1,18 | 0,82 |
| 9,00 | - | - | - | - | - | - | 1,57 | 1,17 | 0,81 | 1,56 | 1,16 | 0,81 |
| 10,00 | - | - | - | - | - | - | 1,56 | 1,16 | 0,81 | 1,54 | 1,15 | 0,80 |
| 11,00 | - | - | - | - | - | - | 1,55 | 1,15 | 0,80 | 1,53 | 1,14 | 0,80 |
| 12,00 | - | - | - | - | - | - | 1,54 | 1,15 | 0,80 | 1,52 | 1,14 | 0,79 |
| 13,00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,52 | 1,13 | 0,79 |
| 14,00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,51 | 1,13 | 0,79 |
| 15,00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,51 | 1,13 | 0,79 |
| 16,00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,51 | 1,13 | 0,79 |

По полученным данным построены графики, характеризующие зависимость максимальных напряжений в целике от расстояния между выработками для разных грунтовых условий (рис. 2).

Получены также изополя нормальных напряжений σ_θ в целиках различной ширины между двумя выработками круглого очертания от сейсмического воздействия в грунтах I, II, III категорий (рис.3).

Сравнение характера распределения полей напряжений в целиках грунтов различных категорий от сейсмического воздействия показывает, что во всех случаях максимальные растягивающие напряжения сосредоточены у боковых стен, а сжимающие - в кровле и подошве тоннельных выработок. Максимальные растягивающие напряжения в массиве пород между двумя выработками концентрируются вокруг горизонтальной оси симметрии тоннелей. При этом величины максимальных напряжений у краев тоннельных выработок в грунтах II категории на 22...24%, а в грунтах III категории на 43...45% меньше, чем в грунтах I категории. То есть, у краев тоннельных выработок уменьшение величин напряжений в зависимости от увеличения ширины целика происходит равномерно во всех грунтовых категориях.

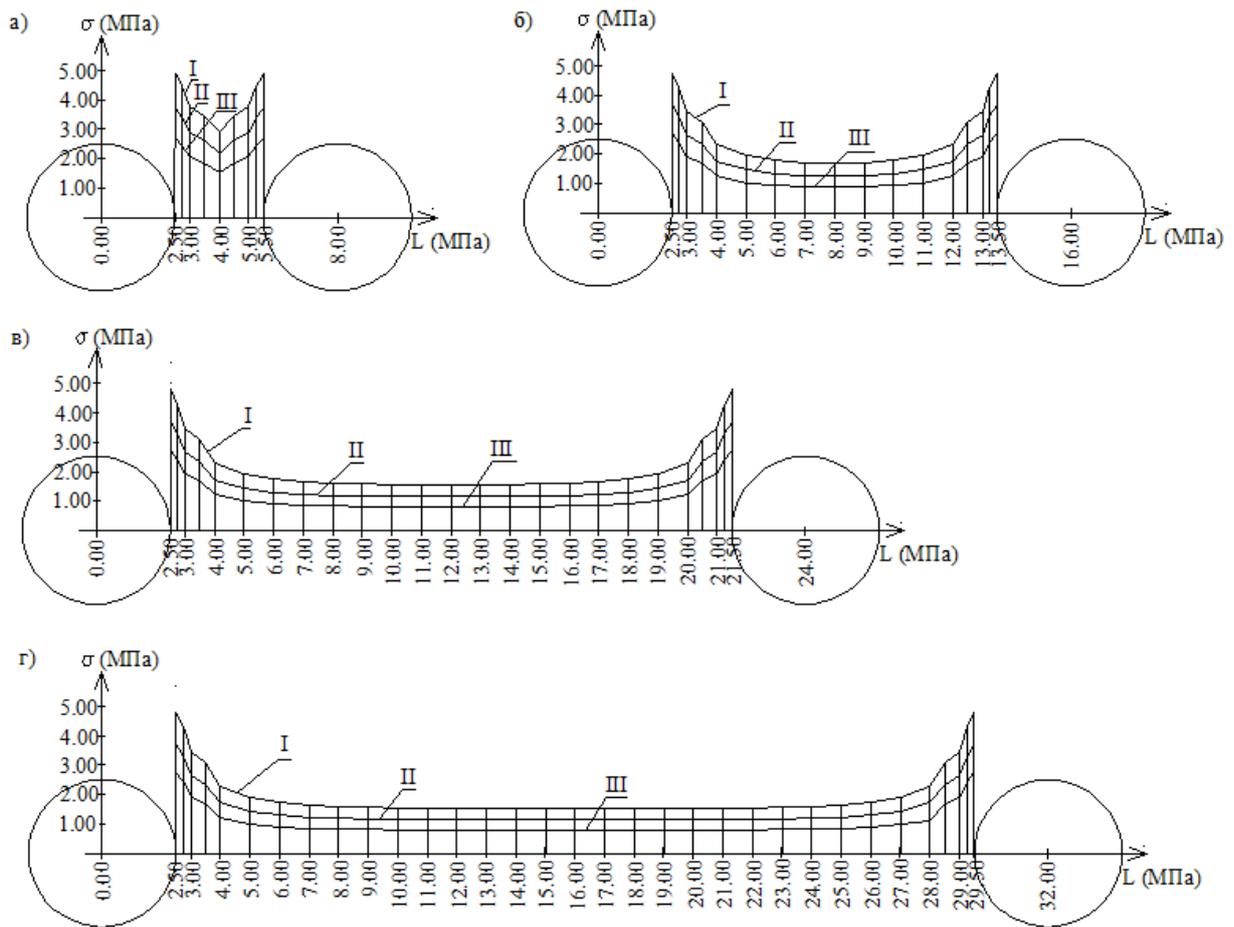


Рис. 2. Зависимость максимальных напряжений в целике от расстояния между выработками для грунтов I, II, III категорий при расстояниях между тоннельными выработками: а-8м; б-16м; в-24м; г-32м

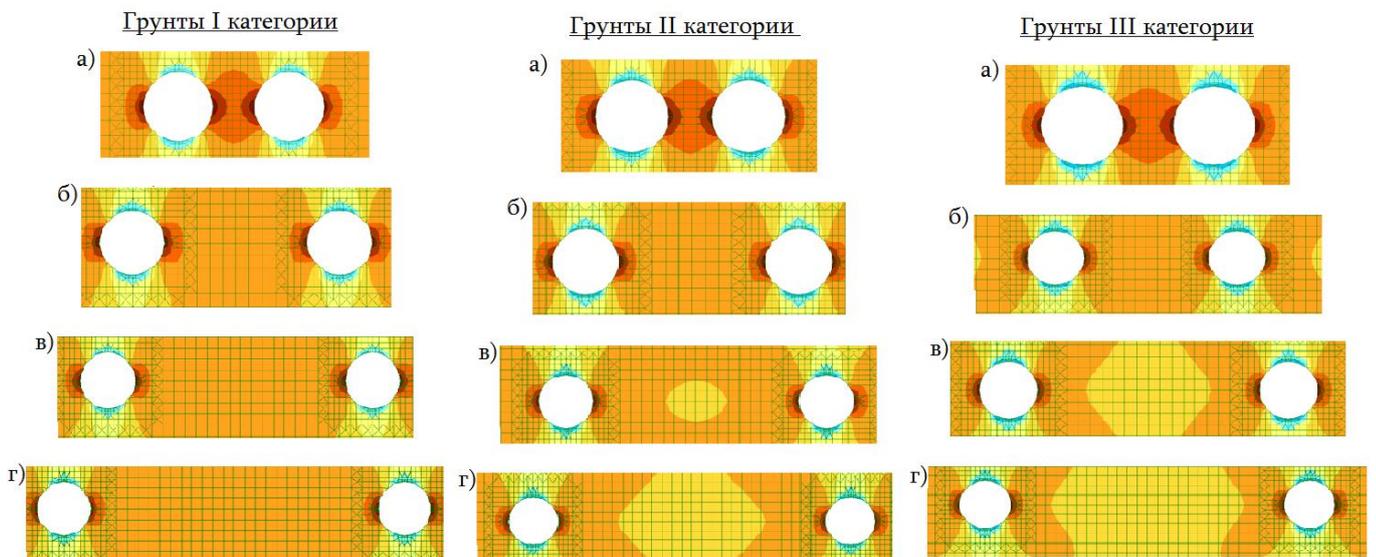


Рис. 3. Изополя нормальных напряжений в грунтах I, II, III категорий от сейсмического воздействия, при расстояниях между тоннельными выработками: а-8м; б-16м; в-24м; г-32м

Из рис. 3 видно, что максимальные величины растягивающих напряжений в центральной части целика получены при минимальном расстоянии между осями тоннелей (8м). Увеличение расстояния между тоннельными выработками приводит к уменьшению этих напряжений. Так, величины напряжений в центральной части целика уменьшаются в грунтах I и II категории: при $a=16, 24, 32м$ - на 43%, 47%, 48%, а в грунтах III категории: при $a=16, 24, 32м$ - на 44%, 48%, 49%, по сравнению с величиной напряжений в центральной части целика при $a=8м$. Приведенные данные показывают, что степень снижения напряжений в центральной части целика, практически не зависит от категории грунта.

Из рис. 3 также видно, что изменение напряженно-деформированного состояния центральной части целика при удалении тоннельных выработок друг от друга резко меняется. При этом характер изменения неравномерен. Уменьшение напряжения в центральной части целика при увеличении его ширины: $a=8...16м$ составляет 43%, $a=16...24м$ - 8%, $a=24...32м$ - 2%. Приведенные данные показывают, что с увеличением расстояния между тоннельными выработками влияние этого расстояния на напряженно-деформированное состояние целика резко уменьшается.

Выводы

Рассмотрев напряженно-деформированное состояние массива пород ослабленного двумя выработками от сейсмического воздействия, выявлено, что удаление двух параллельных тоннелей друг от друга вызывает перераспределение напряжений в целике. Из представленных результатов можно сделать вывод, что напряжения у краев тоннельных выработок максимальны и по мере удаления убывают. При этом уменьшение напряжений зависит от категории грунтов и ширины целика. Резкое уменьшение напряжений (до 43%) наблюдается при удалении тоннелей, диаметром 5м, на расстояние 16м друг от друга, а дальнейшее увеличение целика не влияет на величину напряжений в нем.

Полученные результаты дают возможность проектирования более легких конструкций обделок параллельных транспортных тоннелей при варьировании расстояния между ними.

ՄԵՑՄԱՐԿ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆՅ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԵՐԿՈՒ ԹՈՒՆԵԼՆԵՐԻ ՄԻՋԵՎ ԳՏԵՎՈՂ ԲՆԱՄԱՍՈՒՄ

Գայանե Լևոնի Տիգրանյան

*Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ
tigr6551@mail.ru*

Դիտարկված է սեյսմիկ ազդեցությունից երկու զուգահեռ թունելների միջև տեղակայված գրունտային զանգվածի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը: Երկու անցքերով թուլացած միջավայրի համար առաձգականության տեսության համապատասխան կոնտակտային խնդիրները լուծվում են քվադրատատիկ ձևակերպմամբ վերջնական տարրերի մեթոդի հիման վրա, PC LIRA-ի միջոցով: Ստացված են լարումների իզոդաշտերը, ինչպես նաև բնամասում առավելագույն լարումների և փորվածքների միջև հեռավորությունների կախվածությունները տարրեր գրունտային պայմանների համար:

Առանցքային բառեր. թունել, կլոր լայնական հատվածք, գրունտ, լարումներ, սեյսմիկ ազդեցություն

INVESTIGATION OF STRESSES IN THE SPACE BETWEEN TWO TUNNELS IN SEISMIC IMPACT

Gayane Tigranyan

*National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA
tigr6551@mail.ru*

The stress-strain state of a soil massif located between two parallel tunnels under seismic impact is considered. The corresponding contact problems of the theory of elasticity for a medium weakened by two holes are solved in a quasistatic formulation on the basis of the finite element method by means of a PC LIRA. The voltage mosaic, as well as the dependences of the maximum stresses in the pole from the distance between the workings for various ground conditions is obtained.

Keywords: *tunnel, circular cross-section, ground, stress, seismic impact*

Литература

1. **Tigranyan G.** The Impact of Seismic Forces on Stress Strain Behavior of Shallow Tunnels// Pros. of 8th Internat Confer. – Yerevan, 2016. - P. 286-290.
2. **Фотиева Н.Н., Деев П.В., Фирсанов Е.С.** Исследование напряженного состояния двух параллельных гидротехнических тоннелей // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. - 2010. - Вып. 2. - С. 283-291.
3. **СНРА II-6.02-2006.** Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. – Ереван, 2006.

References

1. Tigranyan, G. (2016), The Impact Of Seismic Forces On Stress Strain Behavior Of Shallow Tunnels. *Proc. of 8th Internat. Confer.*, Yerevan, pp. 286-290.
2. Fotiewa, N.N., Deew, P.W., Firsanow, E.S. (2010), Issledovanie napryadzenogo sostoyania dwukh paralelnikh gidrotekhnicheskikh tonneley [Stress-state investigation of two parallel hydraulic tunnel linings]. *Izw. TulGU. Nauki o Zemle*. No.2, pp. 283-291 (in Russian).
3. Construction norms of RA II-2.02-2006. Seysmakayun shinararutyun. Nakhagtsayin normer [Seismic Resistant Construction. Norms of Design]. Yerevan, 2006. (in Armenian).

Տիգրանյան Գայանե Լևոնի, տ.գ.թ., դոցենտ (ՀՀ, ք.Երևան) - ՃՀՇԱՀ, «Ճանապարհներ և կամուրջներ» ամբիոն, (+374) 91213277, tigr6551@mail.ru

Тигранян Гаяне Левоновна, к.т.н., доцент (РА, г.Ереван) - НУАСА, кафедра “Дороги и мосты”, (+374) 91213277, tigr6551@mail.ru

Tigranyan Gayane, doctor of philosophy (PhD) in engineering, associate professor (Yerevan, RA) - NUACA, Chair of “Roads and bridges”, (+374) 91213277, tigr6551@mail.ru

Ներկայացվել է՝ 06.02.2018թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 15.02.2018թ.