

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.19:624.138

Е. Ю. КУЛАЖЕНКО\*

\* Кафедра «Тоннели, основания и фундаменты», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, эл. почта jaksson7777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

### ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА НА СЛАБЫХ ОСНОВАНИЯХ

**Цель.** Разработка эффективных способов снижения деформаций и активного влияния динамической нагрузки на систему «цельносекционная обделка-массив» от подвижного состава метрополитена при мелком заложении перегонного тоннеля, которые могут сооружаться как с поверхности земли, так и с действующего тоннеля, а также и на стадии строительства **Методика.** Для решения проблемы совместной работы системы «цельносекционная обделка-массив» проведено численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ), по результатам расчетов было определено наиболее эффективный способ закрепления грунтового основания, составленного водонасыщенными песками. **Результаты.** По результатам исследований определено изменение частот собственных колебаний системы «цельносекционная обделка-массив» а также величину изменений вертикальных деформаций данной системы при закреплении основания различными методами: щебеночно-песчаной подушкой разной высоты и грунтоцементными сваями. **Научная новизна.** Определено методику расчета перегонного тоннеля мелкого заложения из блоков цельносекционной обделки в массиве, представленным обводненными песками. **Практическая значимость.** Представлены результаты расчетов вариантов укрепления массива подземных сооружений численным методом конечных элементов, что дает возможность более иметь более полную картину результатов расчета напряженно-деформированного состояния системы «цельносекционная обделка-массив». По результатам расчета определено наиболее эффективный метод снижения величины деформаций при сравнении различных параметров.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние; динамическое воздействие; перегонный тоннель мелкого заложения; грунтоцементные сваи; щебеночная подушка

#### Введение

В процессе эксплуатации перегонного тоннеля Киевского метрополитена на участке от станции «Выдубичи» до станции «Тельчика» от ПК179+00 до ПК 184+00 Сирецко-Печерской линии динамическое воздействие от проходящих метропоездов отрицательно влияет на устойчивость основания и окружающего массива под линией метрополитена мелкого заложения.

Так же на данном участке наблюдаются чрезмерные вертикальные деформации песчаных водонасыщенных грунтов основания, что в свою очередь значительно влияет на плавность и скорость хода подвижных составов метрополитена, безопасность движения, тем самым доставляя дискомфорт пассажирам.

На данном участке применяется цельносекционная железобетонная двохочковая тон-

нельная обделка прямоугольного сечения (рис. 1).

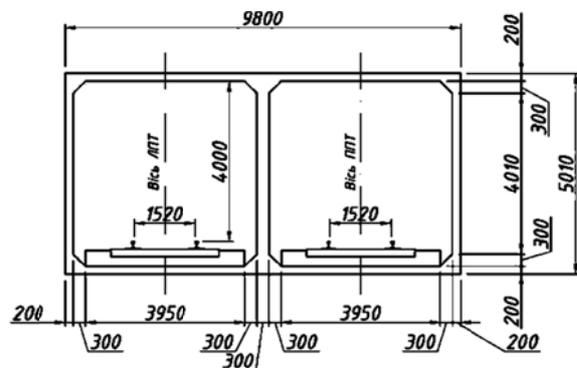


Рис. 1. Конструкция ЦСО

Обделка выполнена из бетона В30 с армированием. Секции обделки соединены между собой металлическими стыковыми накладками, которые приварены к закладным деталям в об-

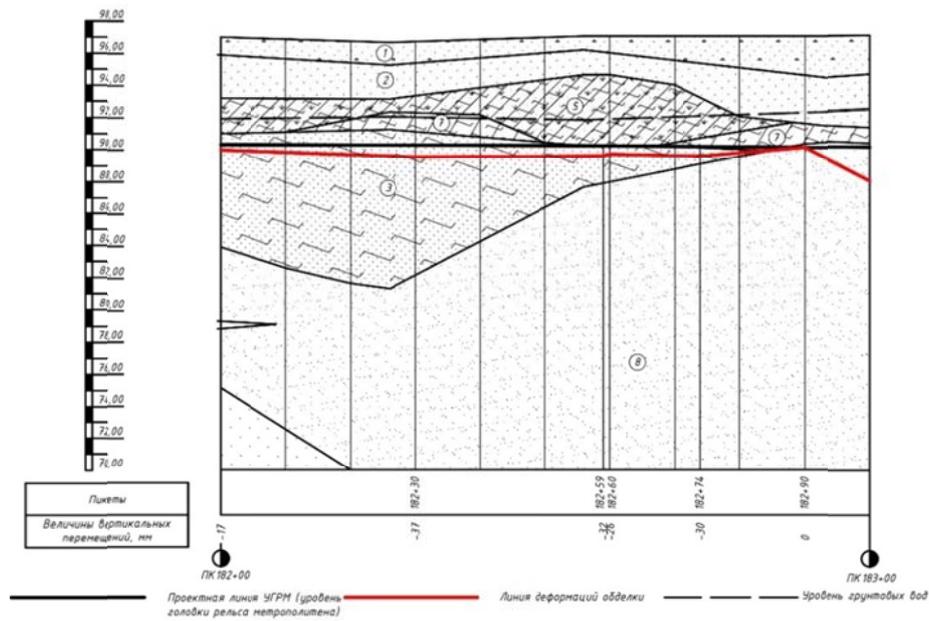
## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

делке с внутренней стороны туннеля. Верхнее строение пути представляет собой деревянные шпалы, которые омоноличены в путевом бетоне класса В12,5.

На протяжении последних десяти лет проводился маркшейдерский мониторинг вертикальных деформаций на аварийном участке перегонных туннелей (от ПК179+00 до ПК184+00). Исследования показали, что макси-

мальные отклонения обделки от проектного положения, после длительного времени эксплуатации составляют от 26 до 233 мм. Экстремальные значения вертикальных перемещений обделки находятся на том участке, где основание для обделки перегонного туннеля составляют мелкие водонасыщенные пески с коэффициентом фильтрации 41-59 м<sup>3</sup>/сут. и плотностью скелета 1,62 т/м<sup>3</sup> (ИГЕ 8, рис. 2 а, б).

а)



б)

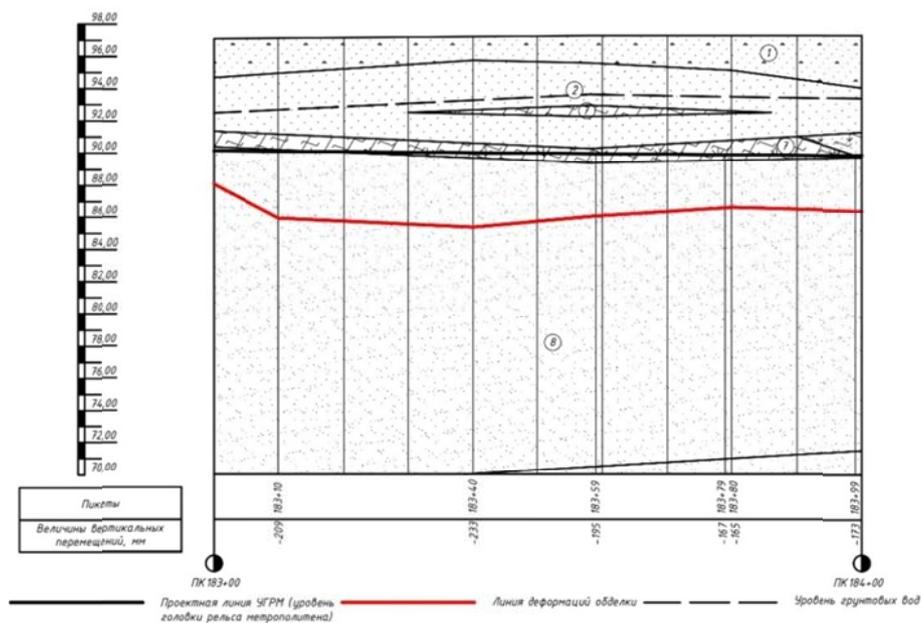


Рис. 2. Величины вертикальных деформаций на участках:  
а) – ПК182+00-ПК183+00; б) – 183+00-184+00

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Как видно из результатов привязки маркшейдерской съемки и инженерно-геологических изысканий – на участке перехода основания перегонного тоннеля от ИГЕ-3 к ИГЕ 8 наблюдается резкий перепад значений вертикальных деформаций от 0 - 37 мм до 165 - 233 мм, соответственно. Есть предположение что на стадии подготовки к проектным работам – были неверно определены свойства ИГЕ-8, в частности его поведение при воздействии низкочастотных динамических нагрузок от подвижного состава метрополитенов, что повлекло за собой соответствующие последствия.

**Цель**

Целью данного исследования является разработка вариантов укрепления основания из мелких водонасыщенных песков для снижения динамического воздействия от подвижного состава в перегонных тоннелях метрополитенов и предотвращения дальнейшего развития вертикальных деформаций.

**Методика**

Для решения проблемы взаимодействия обделки метрополитенов мелкого заложения с окружающим массивом и элементами закрепления слабо водонасыщенного основания было проведено сравнение их вариантов при помощи численного моделирования.

Для вариативного расчета были разработаны модели, которые максимально точно отображают конструкцию и свойства материалов конструкции обделки, ее совместную работу с окружающим массивом и элементами укрепления грунтового основания (рис. 3).

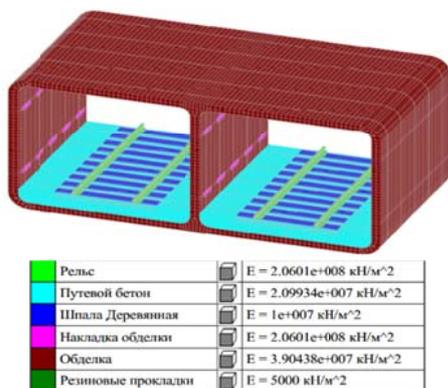


Рис. 3. Модель обделки перегонного тоннеля и верхнего строения пути с деформационными характеристиками

В качестве укрепляющих мероприятий были разработаны слои щебеночных подушек с использованием геосинтетических материалов, для предотвращения «слияния» грунтов основания с укрепляющими элементами – мощностью 20 и 40 см (рис. 4).

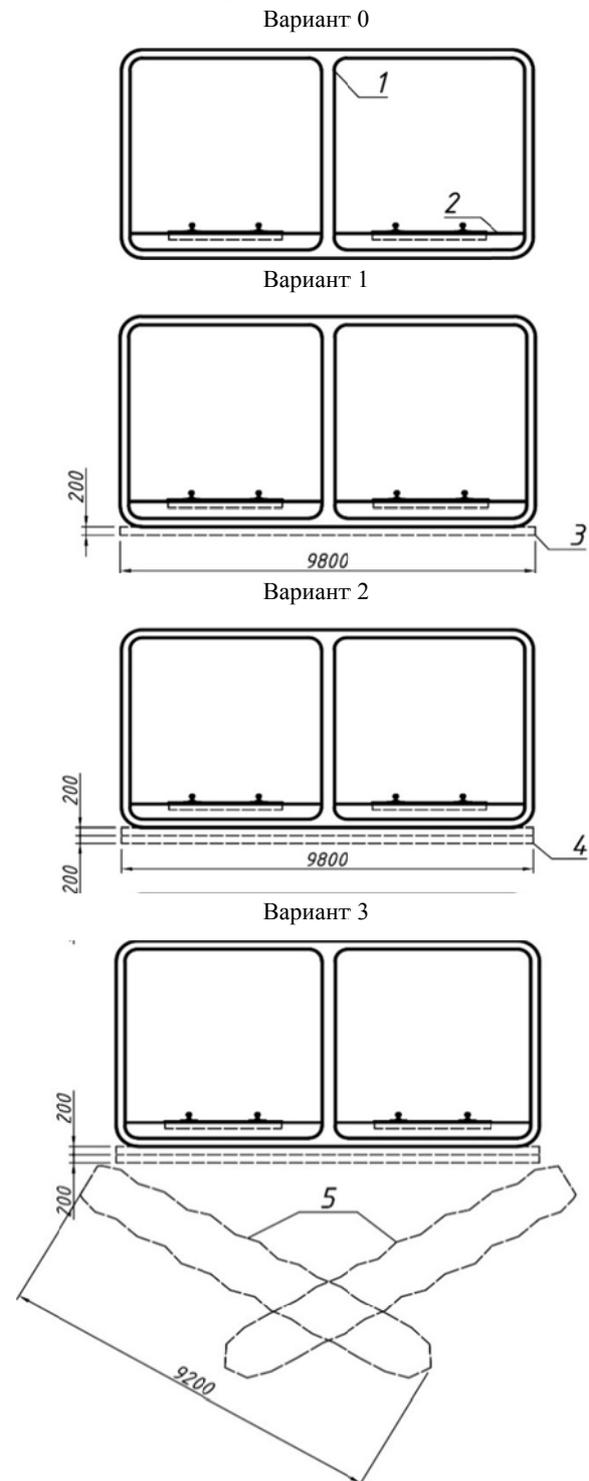


Рис. 4. Варианты укрепления основания

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Так же был проведен расчет вариантов с укреплением при помощи грунтоцементных элементов, сооружаемых, как на стадии строительства перегонного тоннеля, так и на стадии эксплуатации, чтобы предотвратить дальнейшее развитие деформаций грунтов в основании.

## Результаты

После расчета конечно-элементных моделей в расчетной среде SCAD были проанализированы величины и изменения вертикальных деформаций и значения напряжений в грунте при разных вариациях моделей и частота и формы собственных колебаний системы «грунтовый массив – цельносекционная обделка».

Расчет показывает, что система «грунтовый массив – цельносекционная обделка» имеет 4 формы собственных колебаний, которые отличаются друг от друга величиной частоты и направлением перемещений конструкции тоннеля и частиц присоединенного к нему массива. 1-я форма колебаний (вертикальная) имеет собственную частоту для вариантов 0, 1, 2 –

0,58 ГЦ, для варианта 3 – 0,582 ГЦ. В данной форме колебаний происходят исключительно вертикальные колебания точек всего массива и обделки (рис. 5, а). 2-я форма колебаний имеет волновое вертикальное перемещение массива и кручение элементов обделки (рис 5, б), при этом, вследствие перемещения обделки наблюдаются так же горизонтальные перемещения частиц массива. Частота собственных колебаний для этой формы составляет для вариантов 0, 1, 2 – 0,60 ГЦ, для варианта 3 – 0,60 ГЦ. 3-я форма колебаний (рис. 5, в) имеет кососимметрическую форму колебаний обделки и массива с частотой для вариантов 0, 1, 2 – 0,60 ГЦ, для варианта 3 – 0,60 ГЦ. В этой форме колебаний имеют так же место горизонтальные перемещения обделки, что предупреждает возможность вхождения системы «обделка – массив» в резонанс при боковых нагрузках. Этими нагрузками могут быть как дефекты пути в плане, так и центробежная нагрузка от прохождения метropоездов в кривых.

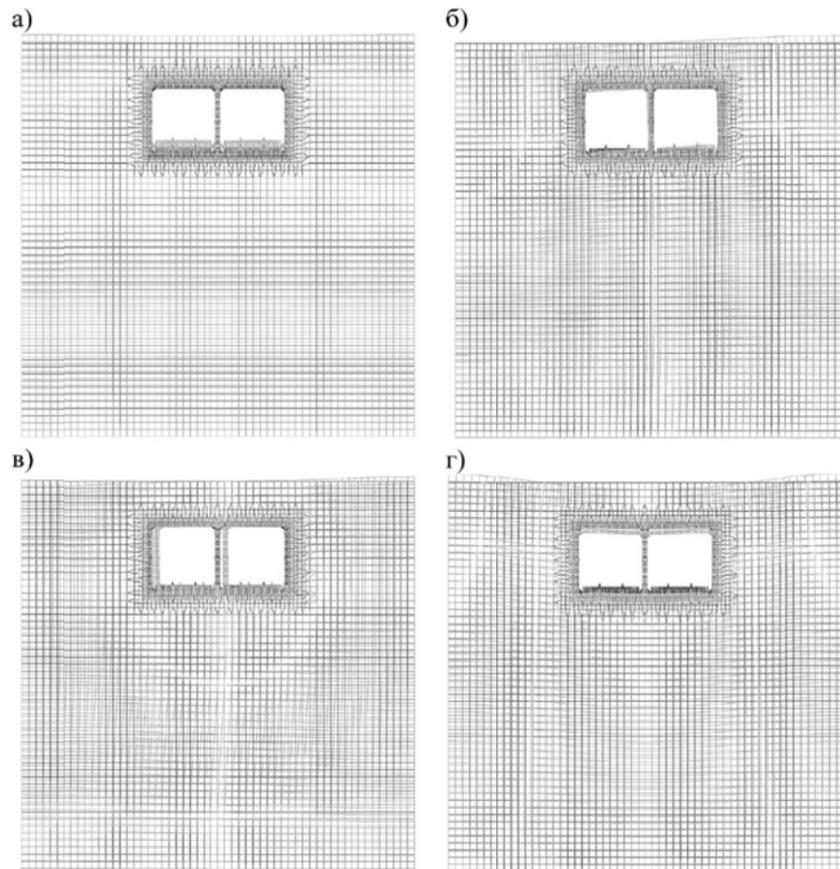


Рис. 5. Формы собственных колебаний системы «грунтовый массив – цельносекционная обделка»  
а) 1-я форма колебаний; б) 2-я форма колебаний; в) 3-я форма колебаний; г) 4-я форма колебаний

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

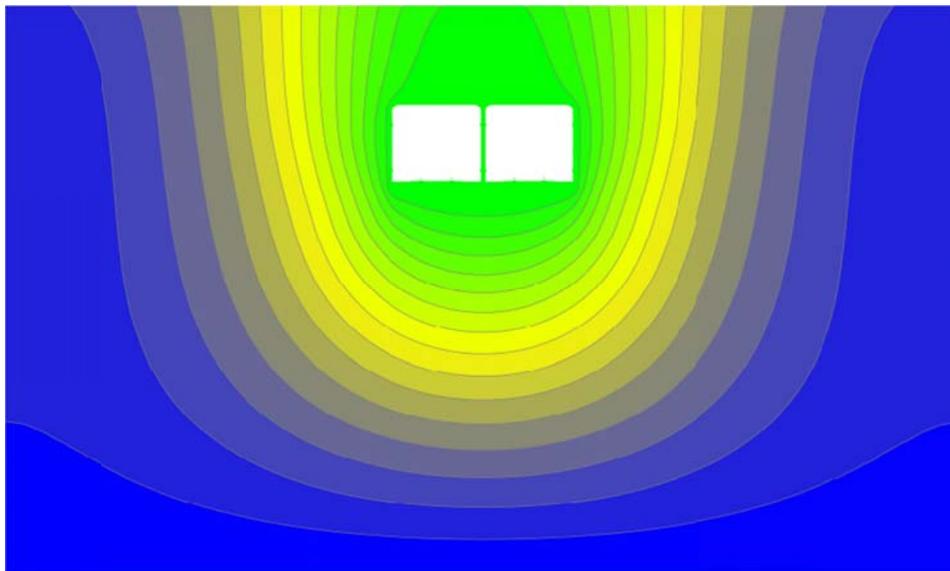
4-я форма колебаний – симметрическая вертикальная (рис. 5, *г*), при которой края массива остаются неподвижными, а обделка, с присоединенным массивом, колеблется в вертикальном направлении, имеет частоту для вариантов 0, 1, 2 – 0,60 ГЦ, для варианта 3 – 0,60 ГЦ. Остальные формы колебаний имеют парциальный характер, при которых колеблются только элементы верхнего строения пути.

При анализе вертикальных перемещений было определено, что подготовка из щебеночно-песчаной подушки в размере от 0,2 до 0,4 метров (вариант 1 и вариант 2) снизила величину

этих значений лишь на 1,17 % и 4,36 % соответственно.

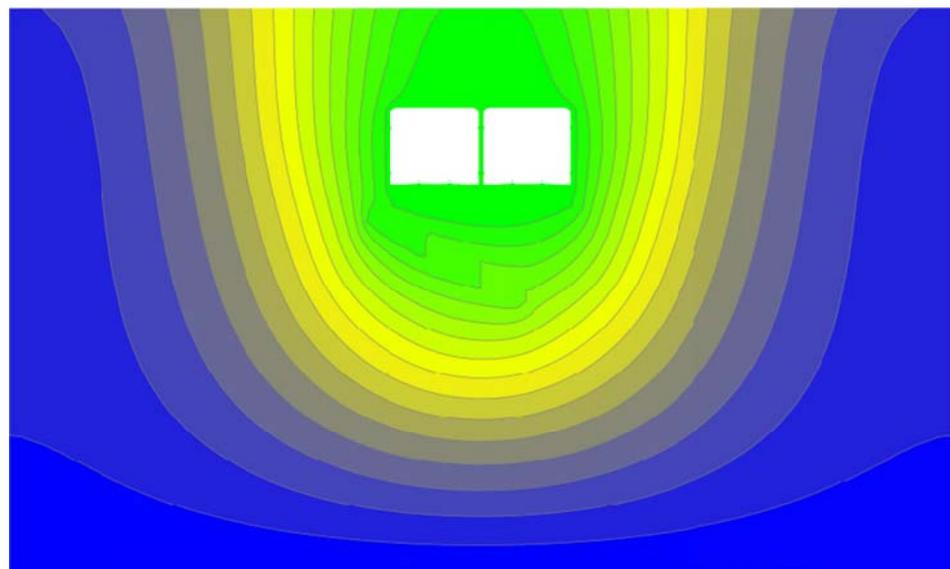
Более эффективным методом укрепления является вариант 3 с использованием наклонных грунтоцементных свай, которые сооружаются с поверхности при помощи буринъекционной технологии. Как показывают результаты расчета данного метода укрепления основания – величина вертикальных деформаций снизилась на 15,30 мм, что составляет 49,5 % относительно варианта без закрепления основания.

*а)*



-35,674	-33,444
-33,444	-31,215
-31,215	-28,985
-28,985	-26,755
-26,755	-24,526
-24,526	-22,296
-22,296	-20,067
-20,067	-17,837
-17,837	-15,607
-15,607	-13,378
-13,378	-11,148
-11,148	-8,918
-8,918	-6,689
-6,689	-4,459
-4,459	-2,23
-2,23	0

*б)*



-16,328	-15,308
-15,308	-14,287
-14,287	-13,267
-13,267	-12,246
-12,246	-11,226
-11,226	-10,205
-10,205	-9,185
-9,185	-8,164
-8,164	-7,144
-7,144	-6,123
-6,123	-5,103
-5,103	-4,082
-4,082	-3,062
-3,062	-2,041
-2,041	-1,021
-1,021	0

Рис. 6. Величина вертикальных перемещений системы «грунтовой массив – цельносекционная обделка»  
*а)* – вариант без закрепления грунтового основания; *б)* – вариант с закреплением грунтового основания (вариант 3)

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Эффективность данного варианта закрепления заключается еще и в том, что вертикальные нагрузки от подвижного состава, передающиеся через верхнее строение пути на обделку, а затем через щебеночную подготовку на наклонные сваи значительно увеличивают нормальные вертикальные напряжения в грунте, и увеличивает горизонтальные напряжения – тем самым увеличив зону активного взаимодействия сооружения с укрепленным основанием.

### Научная новизна и практическая значимость

Приведенная методика расчета напряженно-деформированного состояния перегонного тоннеля мелкого заложения из блоков цельносекционной обделки в массиве, представленным обводненными песками, позволяет определить качество влияния укрепляющих грунтоцементных элементов и щебеночной подушки. Представленные результаты расчетов вариантов укрепления массива подземных сооружений численным методом конечных элементов, дает возможность более иметь более полную картину результатов расчета напряженно-деформированного состояния системы «цельноносекционная обделка – массив».

### Выводы

Выходя из результатов расчета системы «цельноносекционная обделка – массив» определен наиболее эффективный вариант закрепления грунтового основания перегонного тоннеля метрополитена для качественного изменения величин напряженно-деформированного состояния. Устройство данного рода укрепляющих сооружений также влияет на изменения собственной частоты колебаний системы и позволяет снизить влияние вибрации на окружающий грунтовый массив.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бугаева, Т. Н. Особенности возведения зданий в условиях городской застройки [Текст] / Т. Н. Бугаева // Вестник ПсковГУ Серия «Технические науки». – 2015 – Вып. 1. – С. 116-120
2. Вознесенский, Е. А. Поведение грунтов при динамических нагрузках [Текст] / Е. А. Вознесенский. – Москва : Изд-во МГУ, 1997. – 286 с.

3. Головки, С. И., Теория и практика усиленных грунтовых оснований методом высоконапорной цементации [Текст] / С. И. Головки. – Днепропетровск : Пороги, 2010. – 247 с.
4. Дашевский, М. А. Распространение волн при колебании тоннелей метро [Текст] / М. А. Дашевский. // Строительная механика и расчет сооружений. – 1974. – № 5. – С. 29-34.
5. Карпиловский, В. С. SCAD для пользователя [Текст] / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер и др. – Киев : ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
6. Кудрявцев, И. А. Влияние вибрации на основания сооружений [Текст] / И. А. Кудрявцев. – Гомель : БелГУТ, 1999. – 274 с.
7. Петренко, В. Д. Численный анализ влияния граничных условий модели системы «сооружение–основание» МКЭ [Текст] / В. Д. Петренко, Т. А. Селихова, А. Л. Тюткин. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2004. – № 11. – С. 51-56.
8. Петренко, В. Д. Визначення ефективних параметрів методів зниження динамічного впливу об'єктів підземної інфраструктури [Текст] / В. Д. Петренко, Є. Ю. Кулаженко // Перспективи розвитку будівельних технологій (21.04-22.04.2016): матеріали 10-ї науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів / Міністерство освіти і науки України держ. вищ. навч. заклад «Національний гірничий університет». – Дніпропетровськ : НГУ, 2016. – С. 115–118.
9. Петренко, В. Д. Проблема визначення деформацій оправи перегінних тунелів при суттєвій зміні інженерно-геологічних умов [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тюткін, Є. Ю. Кулаженко // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 5. – С. 62-69;
10. Петренко, В. И. Решение задачи подвижной нагрузки в динамической постановке [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тюткин // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2013. – Вип. 4. – С. 67-73
11. Тюткін, О. Л. Математичне моделювання впливу рухомого складу на конструкцію пілонної станції метрополітену [Текст] / О. Л. Тюткін. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – Вип. № 7 (135). – С. 86-90.
12. Тюткін, О. Л. Теоретичні основи комплексного аналізу тунельних конструкцій [Текст] : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.15.04 / Олексій Леонідович Тюткін; Нац. гірничий ун-т. – Дніпропетровськ, 2016. – 39 с.
13. Ghorbani Ali, Hasanzadehshooiili Hadi, Šapalas Antanas, Lakirouhani Ali Buckling of the steel lin-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- ers of underground road structures: the sensitivity analysis of geometrical parameters. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Vilnius. Technika, 2013, Vol. VIII, No 4, pp. 250-254.
14. Zotsenko M. L., Ivanchenko V. H. Analysis of pressiometric research of base compressibility strengthened with the soil-cement using the drilling-mixing technology. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies., 2015., Vol. 5., Issue 5 (77). pp. 24-29.
15. Tsinidis G., Heron C., Pitilakis K., Madabhushi G. S. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering: Centrifuge modelling of the dynamic behavior of square tunnels in sand. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, 2015, vol. 35. pp. 509-523. doi: 10.1007/978-3-319-10136-1\_31.

Е. Ю. КУЛАЖЕНКО\*

\* Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, ел. пошта jaksson7777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

## ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСНИХ СПОРУД ВІД ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА СЛАБКИХ ОСНОВАХ

**Мета.** Розробка ефективних засобів зниження деформацій і активного впливу динамічного навантаження на систему «суцільносекційна оправа – масив» від рухомого складу метрополітену при мілкому закладенні перегінного тунелю, які можуть споруджуватися як з поверхні землі, так і з чинного тунелю, а так само і на стадії будівництва **Методика.** Для вирішення проблеми спільної роботи системи «суцільносекційна оправа-масив» проведено чисельне моделювання методом скінченних елементів (МКЕ), за результатами розрахунків було визначено найбільш ефективний спосіб закріплення ґрунтової основи, складеного водонасиченими пісками. **Результати.** За результатами досліджень визначено зміну частот власних коливань системи «суцільносекційна оправа-масив» а також величину змін вертикальних деформацій даної системи при закріпленні підстави різними методами: щобенево-піщаної подушкою різної висоти і ґрунтоцементних палями. **Наукова новизна.** Визначено методику розрахунку перегінного тунелю мілкого закладення з блоків суцільносекційної оправи в масиві, представленим водонасиченими пісками. **Практична значимість.** Представлені результати розрахунків варіантів укріплення масиву підземних споруд чисельним методом скінченних елементів, що дає можливість більш мати більш повну картину результатів розрахунку напружено-деформованого стану системи «суцільносекційна оправа-масив». За результатами розрахунку визначено найбільш ефективний метод зниження величини деформацій при порівнянні різних параметрів.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан; динамічний вплив; перегінний тунель мілкого закладення; ґрунтоцементних палі; щобенева подушка

YE. YU. KULAZHENKO\*

\* Department «Tunnels bases and foundations» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 768 49 21, e-mail jaksson7777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

## THE FEASIBILITY OF PARAMETERS PROTECTIVE STRUCTURES OF DYNAMIC INFLUENCE OF UNDERGROUND ON WEAK BASES

**Purpose.** The aim of this article is the elaboration of effectiveness methods on decrease specific deformation and active influence of dynamic load of railway equipment in shallow subway at the system “modular-precast lining – soil mass”, which can be constructed from a ground surface and a tunnel current, as well as can be constructed in the construction phase of subway. **Methodology.** To solve the problem of collaboration system “modular-precast lining – soil mass” which was numerically simulated by finite element method (FEM). The originally results of the calculations has been determined the most effective way of the fixing of the weak soil foundation which composed of saturated sands. **Findings.** According to the research was identified changes in the frequency of natural oscillations.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

tions of the system “modular-precast lining – soil mass” as well as the amount of vertical deformation changes in the system for fixing the base of a variety of methods: crushed stone and sand cushion of different heights and grouting piles. **Originality.** Defined methodology for calculating the tunnels of shallow modular-precast lining in the array shown watered sands. **Practical value.** Presents options for strengthening the results of calculations of the array of underground structures by numerical finite element method, which allows for more a more complete picture of the results of calculation of stress-strain state of the system “modular-precast lining – soil mass”. According to the calculation results of determining the most effective method to reduce the amount of deformation in the comparison of various parameters.

*Keywords:* the stress-strain state; dynamic influence; modular-precast lining; shallow subway; jet piles; macadam

## REFERENCES

1. Bugaeva T. N. Osobennosti vozvedeniya zdaniy v usloviyah gorodskoj zastrojki [Particularly the construction of buildings in urban areas]. *Vestnik PskovGU Seriya «Tehnicheskie nauki»* [Bulletin of Pskov State University], Pscov, 2015, issue 1, pp. 116-120.
2. Voznesenskiy, Ye. A. *Povedenie gruntov pri dinamicheskikh nagruzkakh* [The behavior of soils in dynamic loads], Moscow, Moscow State University Publ., 1997. 286 p.
3. Golovko S. I. *Teoriya i praktika usileniy gruntovykh osnovaniy metodom vysokonapornoy tsementatsii* [Theory and practice of reinforcement of foundation material by method of high-pressure cement grouting], Dnepropetrovsk, Porogu publ., 2010, 247 p.
4. Dashevskiy, M. A. Rasprostranenie voln pri kolebanii tonneley metro [The wave advance of fluctuation of the subway tunnels] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Building mechanics and calculation of constructions], 1974, issue 5, pp. 29-34.
5. Karpilovskiy, V. S., Kriksunov, E. Z., Perelmuter, A. V., Perelmuter, M. A., Trophymchuk O. M., *SCAD dlya polzovatelya* [SCAD for users], Kyiv, Compass Publishing House, 2000, 332 p.
6. Kudryavtsev, I. A. *Vliyanie vibratsii na osnovaniya sooruzheniy* [The impact of vibration on the base structures], Gomel, BelSUT publ., 1999, 274 p.
7. Petrenko V. D., Selikhova T. A., Tyutkin A. L. Chislennyy analiz vliyaniya granichnykh usloviy modeli sistemy «sooruzhenie-osnovanie» MKE [Numerical analysis of the influence of boundary conditions "construction-basis" FEM model of the system] *Naukoviy visnik Natsionalnogo gornichogo universitetu* [Scientific Bulletin of National Mining University], Dnipropetrovsk, 2004, issue 11, pp. 51-56.
8. Petrenko V. D., Kulazhenko Ye. Yu. Vyznachennia efektyvnykh parametriv metodiv znyzhennia dynamichnoho vplyvu ob'ektiv pidzemnoi infrastruktury [Determination of the effective parameters of methods to reduce the impact of dynamic objects underground infrastructure]. *Perspektyvy rozvytku budivelnykh tekhnologii (21.04-22.04.2016): materialy 10-yi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh, aspirantiv ta studentiv* [Prospects for Building Technology (21.04-22.04.2016): Proceedings of the 10th Scientific Conference of young scientists and students]. Ministry of Education and Science of Ukraine state. Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipropetrovsk, 2016, Pp 115-118.
9. Petrenko V. D., Tyutkin O. L., Kulazhenko Ye. Yu. Problema vyznachennia deformatsii opravy perehinnykh tuneliv pry suttevivii zmini inzhenerno-heolohichnykh umov [Analysis of deformed state structures Kiev Subway Tunnels On an area of transition from spondylov's clay to buchatskiy sands]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2014, issue 5, pp. 62-69.
10. Petrenko V. I., Petrenko V. D., Tyutkin O. L. Reshenie zadachi podvizhnoy nagruzki v dinamicheskoy postanovke [Solution of task of the mobile loading in the dynamic statement]. *Mosty ta tuneli : teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2013, issue 4, pp. 67-73.
11. Tyutkin, O. L. Matematychni modeliuvannia vplyvu rukhomoho skladu na konstruktsiiu pilonnoi stantsii metropolitenu [Mathematical modeling of rolling stock for subway construction pylon station]. *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriya «Hirnycho-heolohichna» – Scientific papers of Donetsk National Technical University. A series of "Mining-geological"*, Donetsk, 2008, issue 7 (135), pp. 86-90.
12. Tyutkin, O. L. *Teoretichni osnovi kompleksnogo analizu tunelnykh konstruktsiy* Avtoreferat Diss. [Theoretical bases of complex analysis of tunnel constructions]. Dnipropetrovsk, 2016, 39p.
13. Ali Ghorbani, Hadi Hasanzadehshooiili, Antanas Šapalas, Ali Lakirouhani Buckling of the steel liners of underground road structures: the sensitivity analysis of geometrical parameters. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, Vilnius: Technika, 2013, Vol. VIII, No 4, pp. 250-254.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

---

14. Zotsenko M. L., Ivanchenko V. H. Analysis of pressiometric research of base compressibility strengthened with the soil-cement using the drilling-mixing technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.*, 2015, Vol. 5., Issue 5 (77), pp. 24-29.
15. Tsinidis G., Heron C., Pitilakis K., Madabhushi G. S. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering: Centrifuge modelling of the dynamic behavior of square tunnels in sand. *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, 2015, vol. 35. pp. 509-523. doi: 10.1007/978-3-319-10136-1\_31.

*Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна), д.т.н., проф. З. Я. Блхарским (Україна)*

Поступила в редколлегию 25.09.2015.

Принята к печати 21.12.2015.