

## Численный анализ конструкции колонной станции на нагрузки от наземного транспорта

Тюткин О. Л.<sup>1\*</sup>, Борщевский С. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГВУЗ Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, Украина

<sup>2</sup>ГВУЗ Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Поступила в редакцию 01.10.10, принята к печати 29.10.10

### Аннотация

В статье приведены результаты численного анализа случаев транспортной нагрузки при его взаимодействии с колонной станцией методом конечных элементов.

Ключевые слова: станция метро, перегонный тоннель, колонная станция, напряжения.

**Постановка проблемы.** Рост пассажиропотоков, увеличение дальности перемещений, необходимость сокращения времени на поездки нуждается в повышении скорости соединения с одновременным обеспечением надежности, безопасности и комфортности пассажирских перевозок. В условиях мегаполиса, когда необходимо обеспечить сохранение базовой застройки и сооружений, которые представляют собой историческую ценность, эти транспортные проблемы решаются с помощью подземных линий метрополитена [1, 2]. Большинство перспективных линий в таких городах проектируют на мелком заложении. Такие линии имеют значительные преимущества по сравнению с линиями глубокого заложения. Например, стоимость таких линий в два раза меньше, чем линии глубокого заложения [3, 4]. Существенно отличаются и трудозатраты на сооружение 1 п.м. перегонного тоннеля.

Исходя из многолетнего опыта эксплуатации линии метрополитена мелкого заложения можно свидетельствовать, что они более удобны для пассажиров, чем линии глубокого заложения [4, 5]. Незначительная глубина заложения и наличие двух входов в станции экономят время движения пассажиру от входа к посадочной платформе. Два и более входов станции способствуют более равномерному заполнению вагонов, убыстряют выход пассажиров из платформы на поверхность. Кроме того, эксплуатационные расходы, которые относят к одному километру линии мелкого заложения, на 18...20 % ниже, чем глубокого [1]. Во многих городах, где строительство метро началось сравнительно недавно, линии расположены на мелком заложении.

**Целью** данной работы является исследование станции колонного типа мелкого заложения при разных вариантах ее пересечения подвижной нагрузкой, что является актуальным вопросом в современных условиях.

В существующих статических расчетах конструкция колонной станции сводится к плоским расчетным схемам. Но если в обделке односводчатой станции в ее статическую работу по длине не вступают другие элементы, такая замена правомерна, то в данном типе станции такая замена некорректна, так как система «колонны – прогон – тоннели» являются нерегулярной [6]. Поэтому разбивка нерегулярной конструкции колонной станции, которая сводится к двум плоским расчетным схемам (в месте прохода и в месте колонны), приводит к неучету связи между частями конструкции [6].

Инженерные расчеты колонных станций мелкого заложения часто проводят на избранную единичную ширину ( $b=1$  м, вдоль оси станции). В отличие от односводчатой станции, где такая замена возможна (так как конструкция не изменяется по длине станции), в колонных станциях она

---

\*Для переписки: tutkin@mail.ru

является затруднительной, так как не будет отображать реальной работы станции. Представленная замена приводит пространственную конструкцию к плоской расчетной схеме, но в случае колонной станции введенные две плоские расчетные схемы (а также схема прогона, которая является попыткой связать эти две схемы) недостаточно отображают работу конструкции [6]. Плоские расчетные схемы разделяют средний, боковые тоннели, колонны, перемычки (прогоны) и продольные балки, которые работают совместно. В дальнейшем их рассчитывают в отрыве от реальной работы, так как взаимодействие между ними и обделками среднего и боковых тоннелей заменяют усилиями, которые передаются из них, что неточно отображает реальную работу станции.

В отличие от односводчатых станций, которые представляют собой одну симметричную выработку с симметричной нагрузкой, колонные станции представляют собой три выработки. Такая особенность работы конструкции приводит к усложнению расчетной схемы, а, соответственно, и расчета.

Учет приведенных особенностей в пространственном расчете колонной станции, позволяет с большей точностью описать работу такого сложного подземного сооружения и приводит более точные расчеты, которые являются залогом их нормальной эксплуатации. Важнейшую роль в анализе напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «тоннельная конструкция – окружающий массив» играет исследование механизма работы, существования и взаимодействия двух частей этой системы. Неучет пространственного фактора и введение предположений об использовании плоских расчетных схем – главные причины получения некорректного представления о работе сооружения, последствиями которого являются либо создание неоправданных запасов прочности, либо существование недопустимых напряжений и деформаций.

Ряд авторов отмечает удобство и эффективность применения МКЭ в расчетах станций пилонного и колонного типов. Применение МКЭ в данной работе также обосновано тем, что внедрение метода позволяет формировать условия нагрузки разнообразной степени сложности, в том числе и неравномерные, а также рассматривать конструкции нерегулярной геометрической структуры. Также с помощью МКЭ возможно отображать существенные свойства реальных объектов в наглядном и удобном виде, поэтому МКЭ был избран как метод исследования в этой работе.

Постановка задачи – пространственная; исходные данные о сооружении и массиве – натурные и экспериментальные. Имитация поведения грунтового массива – вязко-упруго-пластическая, именно это предположение и является основным в попытке более полного отображения действительности в случае исследования ее МКЭ [6].

Разработанная конечно-элементная модель колонной станции (рис. 1) позволила получить достаточный для анализа объем результатов.

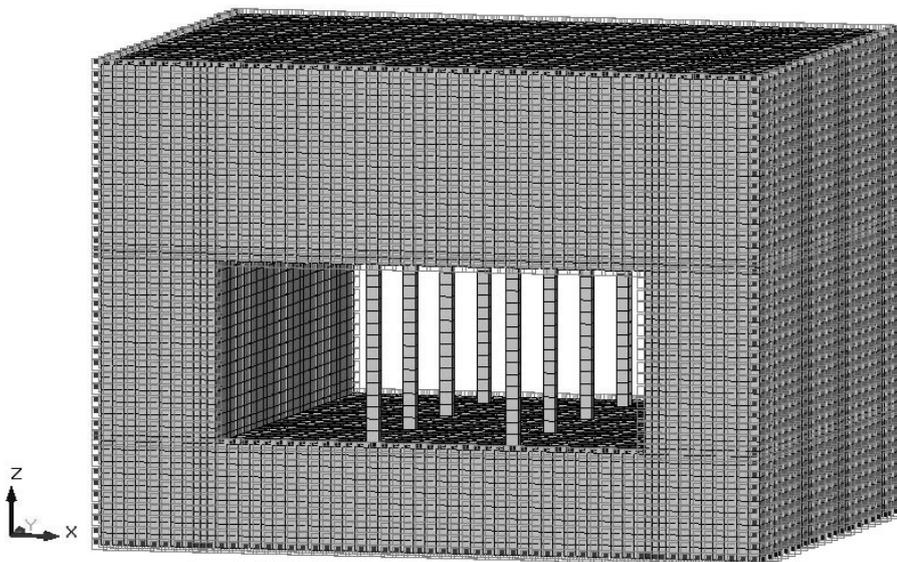


Рис. 1. Схема колонной станции мелком заложения МКЭ

Конечно-элементная модель была нагружена пятью комплексами нагрузок (рис. 2).

Следует заметить, что 5 нагрузок (2...5 нагрузки), которые представляли собой приложение лишь колесной нагрузки НК-80, отличались от 1-ой нагрузки – собственного веса модели. Такое разделение было введено для того, чтобы отделить влияние подвижной нагрузки НК-80 на НДС модели. При нагрузке собственным весом картина нагрузок и перемещений скрывает влияние подвижной нагрузки.

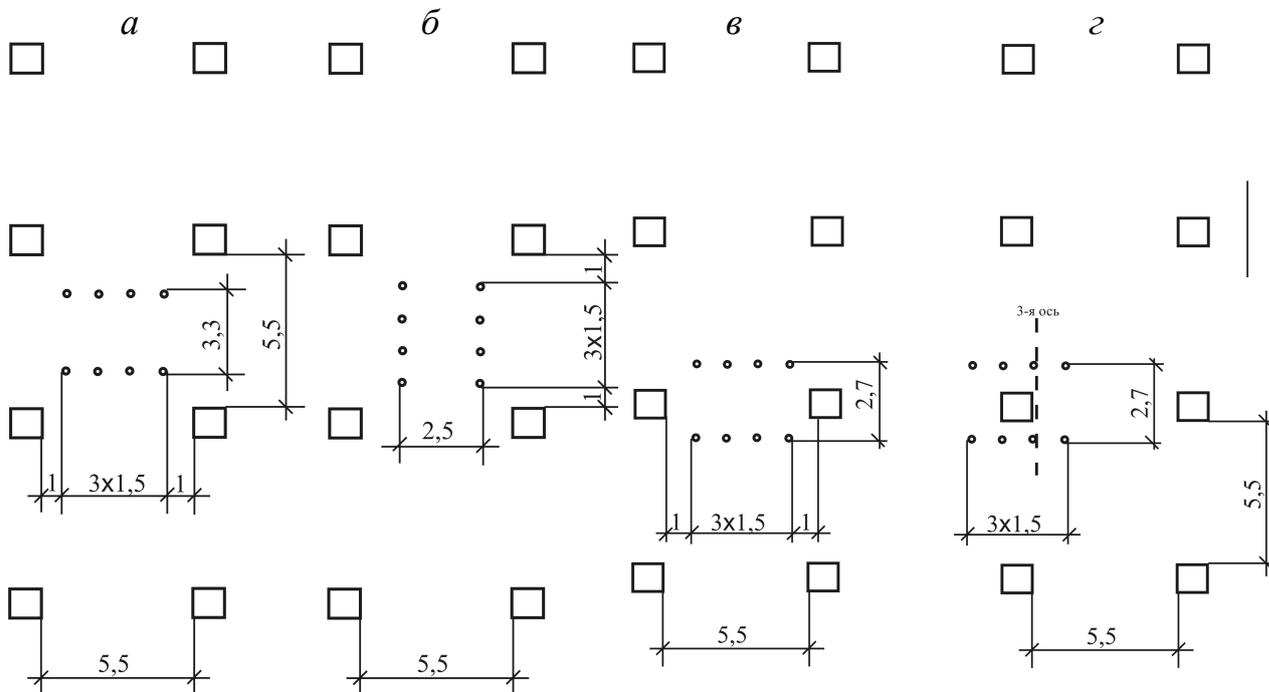


Рис. 2. Схемы нагрузок модели: а) 2-я нагрузка; б) 3-я нагрузка; в) 4-я нагрузка; г) 5-я нагрузка

На рис. 3 приведены выборочные результаты численных расчетов колонной станции (горизонтальные напряжения не приведены для экономии места).

При анализе НДС колонной станции следует определять не только экстремальные значения параметров напряжений и перемещений, но и проанализировать, как они распределяются. Этот факт представляет собой влияние распределения параметров НДС в симметричной или несимметричной форме, потому что явная асимметрия очень негативно влияет на работу колонной станции. Анализ напряжений в случае 6-ти нагрузок позволяет определить следующее. В случае 1-ой нагрузки (собственный вес) картина напряжений по оси Z является симметричной. Анализируя распределение напряжений от собственного веса следует отметить, что от подвижной нагрузки они меньше в 45-50 раз ( $N_z$ ) и около 33-35 раз ( $N_x$ ). Это еще раз доказывает, что влияние подвижной нагрузки меньше влияния собственного веса массива. Как было показано выше, следует также проанализировать форму изолиний и изополей НДС модели и выявить его изменение от несимметричности приложения подвижной нагрузки. Следует отметить, что наибольшая несимметричность напряженного состояния наблюдается в случае 5-ой нагрузки (рис. 4).

Также следует отметить, что за полученными значениями, напряжения в 5-ой нагрузке больше значения их в 3-й и 4-й (28  $\text{кН/м}^2$  в 5-ой нагрузке и 24,9  $\text{кН/м}^2$  в 3-й).

Проанализированный выше эффект несимметричности параметров НДС системы наиболее значительно проявился в перемещениях по оси Z в верхней плите (например, наиболее четко выраженные в 5-ой нагрузке). Наиболее несимметричная картина перемещений по оси Z в верхней плите отмечена в 5-ой нагрузке. Это можно объяснить тем, что нагрузка, находясь практически над колонной № 3, вызывало наиболее несимметричные перемещения, но по значению они несколько меньше, чем в других нагрузках, что объясняется значительной жесткостью колонн.

Проанализированный случай 5-ой нагрузки дает возможность сделать вывод, что нахождение нагрузки даже над колонной, приводит к значительным перемещениям по оси Z (вертикальная) (рис. 5), хотя жесткость колонны значительна. При нахождении нагрузок над колонной она загружена более за все, хотя в общую работу включенные ближайшие колонны этого ряда.

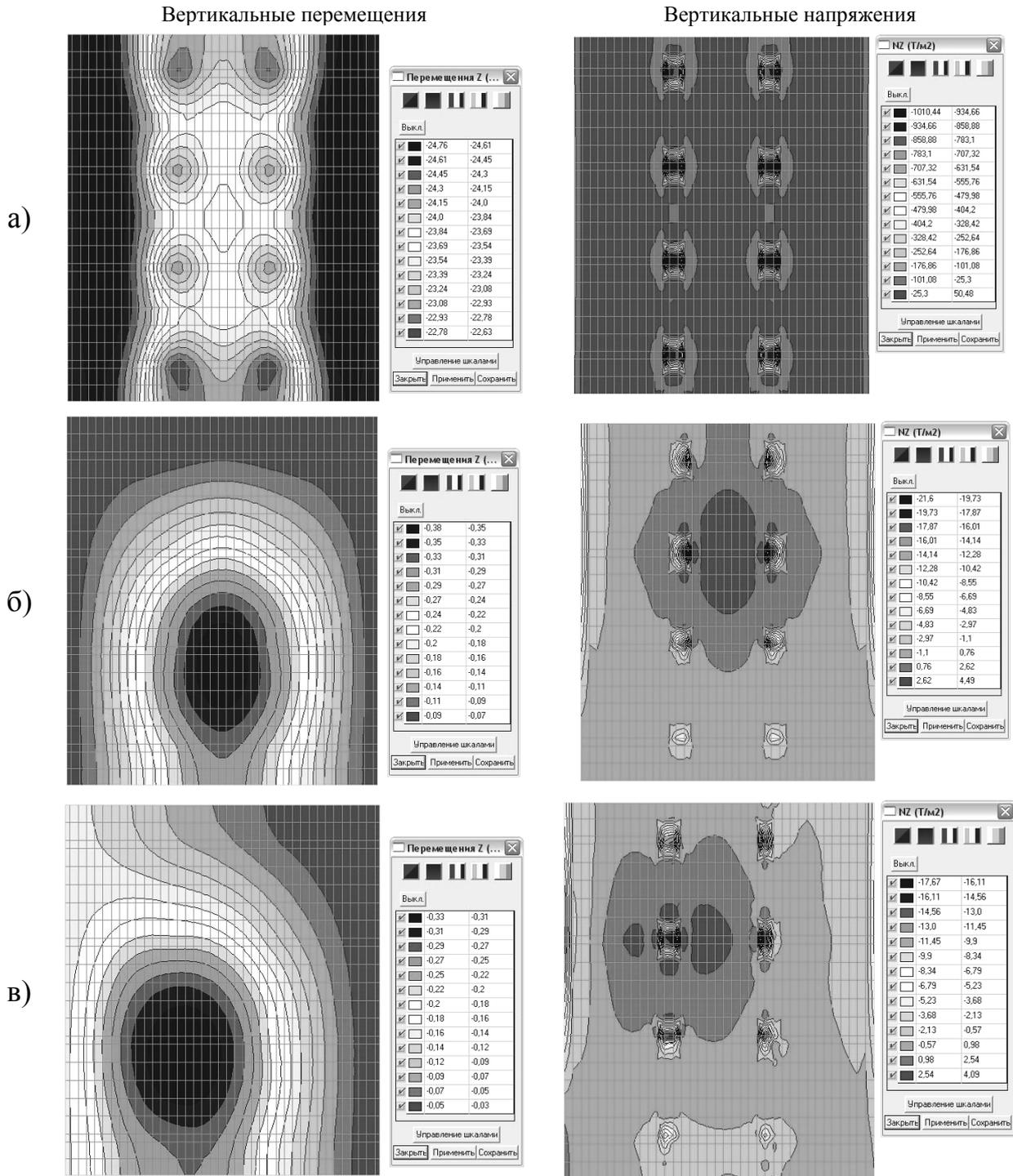


Рис. 3. Перемещение по оси Z в верхней плите модели колонной станции:  
а) 1-я нагрузка; б) 4-я нагрузка; в) 5-я нагрузка

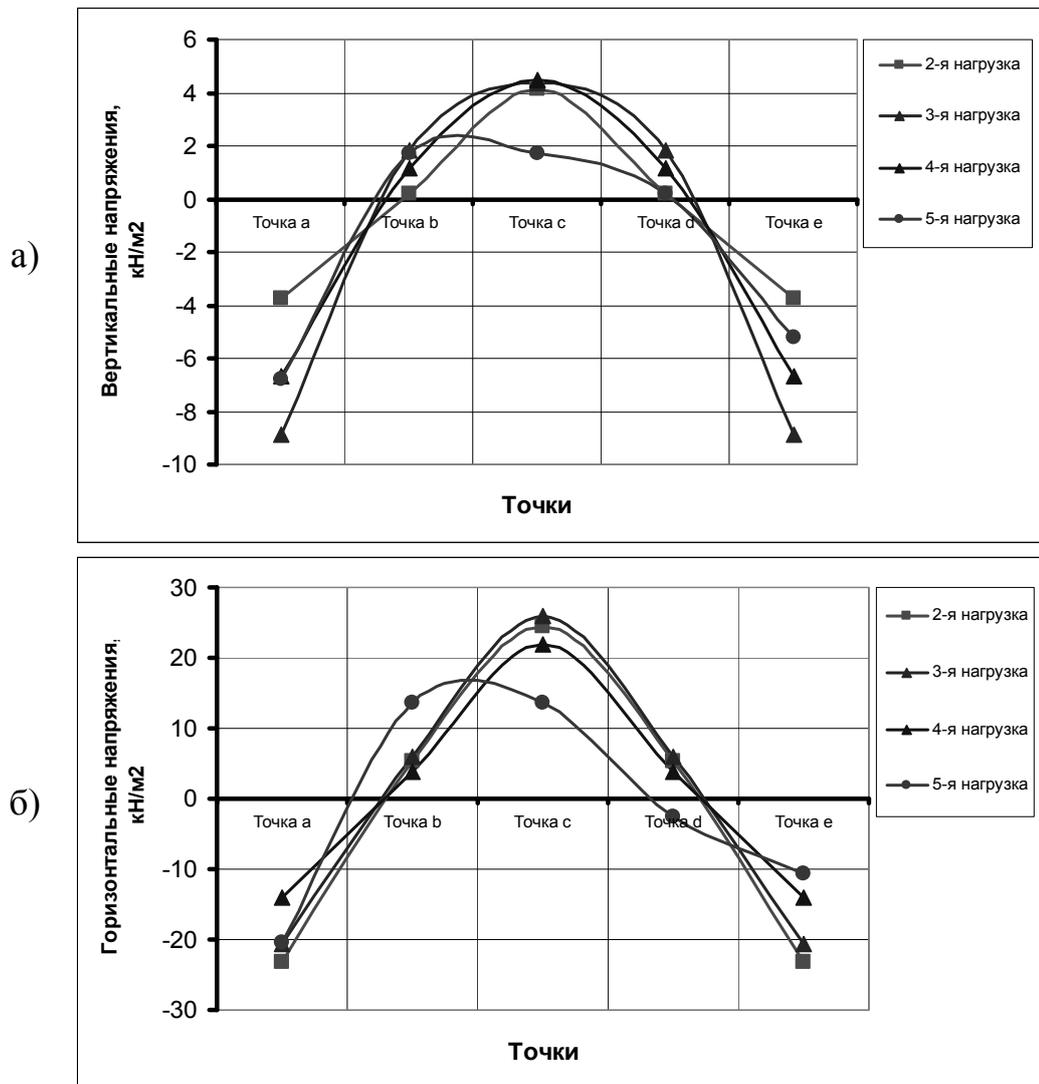


Рис. 4. График распределения вертикальных (а) и горизонтальных (б) напряжений в точках на перекрытии

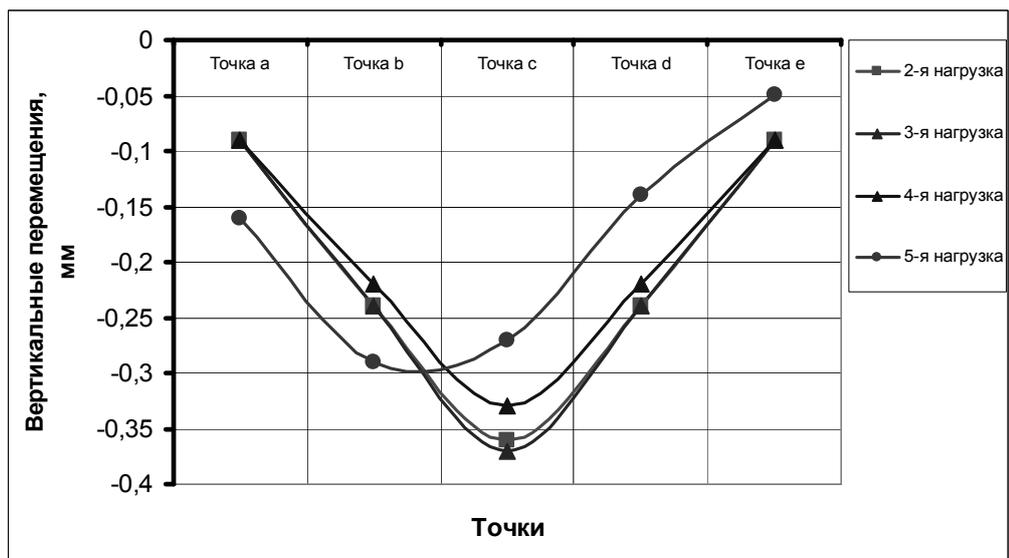


Рис. 5. График распределения вертикальных перемещений в точках на перекрытии

Таким образом, проведенный анализ дает возможность сделать вывод, что общий НДС колонной станции находится в нормативных пределах, но в значительной степени зависит от геометрического размещения подвижной нагрузки относительно верхней плиты станции и системы колонн, глубины заложения, жесткости конструкции та деформативных характеристик окружающего массива. Исследование станции метрополитена колонного типа мелком заложения на разные случаи пересечения их подвижной нагрузкой следует продолжать в области изменения деформативных характеристик грунта.

### Библиографический список

1. Фролов Ю.С., Крук Ю.Е. Метрополитены на линиях мелкого заложения. Новая концепция строительства. – М.: ТИМР, 1994. – 202 с.
2. Фролов Ю.С., Крук Ю.Е. Новая концепция строительства метрополитена на линиях мелкого заложения // Подземное пространство мира, 1993. – № 2. – С. 10-5.
3. Петренко В. И., Петренко В. Д., Тютюкин А. Л. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине. – Днепропетровськ: Вид-во «Наука і освіта», 2005. – 252 с.
4. Петренко Е.В., Петренко И.Е. Прогрессивное решение в строительстве новых линий метрополитенов // Подземное пространство мира, 1998. – № 1. – С. 3-4.
5. Демешко Е.А., Косицын С.Б., Слемзин А.Е. Расчет колонной станции метрополитена как пространственной конструкции // Транспортное строительство. – 1992. – № 1. – С. 32-35.
6. Петренко В.І., Петренко В.Д., Тютюкін О.Л. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення. – Дніпропетровськ: Вид-во «Наука і освіта», 2004 р. – 176 с.

© Тютюкин А. Л., Борщевский С. В., 2011

### Анотація

В статті наведені результати чисельного аналізу випадків транспортного навантаження при його взаємодії з колонною станцією методом скінченних елементів

Ключові слова: станція метро, перегонний тоннель, колонна станція, напруження.

### Abstract

In the article the results of numerical analysis of transporting loading cases at his co-operation with the columnar station by the finite elements method are resulted.

Keywords: subway station, tunnels, column station tension.