

Численный анализ конструкции колонной станции на нагрузки от наземного транспорта

Тюткин О. Л.^{1*}, Борщевский С. В.²

¹ГВУЗ Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика
В. Лазаряна, Днепропетровск, Украина

²ГВУЗ 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 расположения [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 расположения, 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 приводить 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.

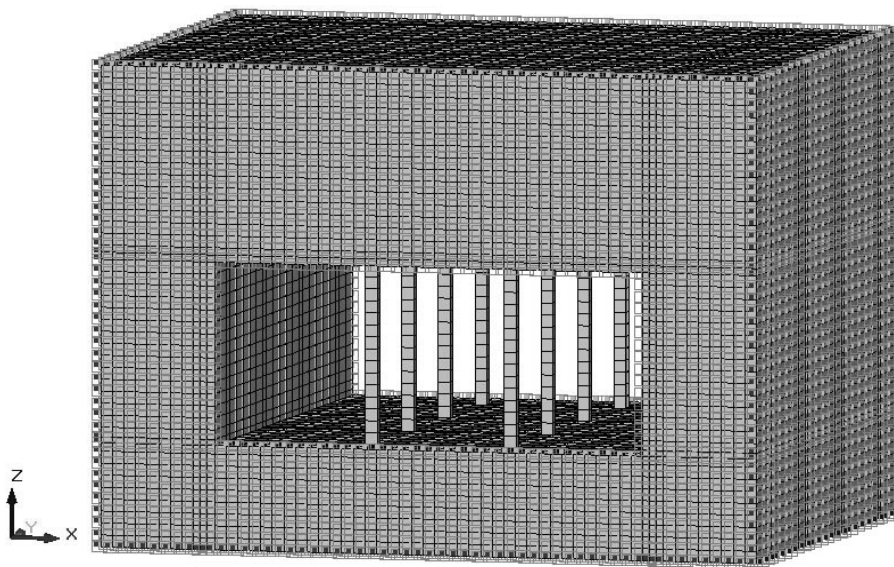


Рис. 1. Схема колонной станции мелком заложения МКЭ

Конечно-элементная модель была загружена 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.

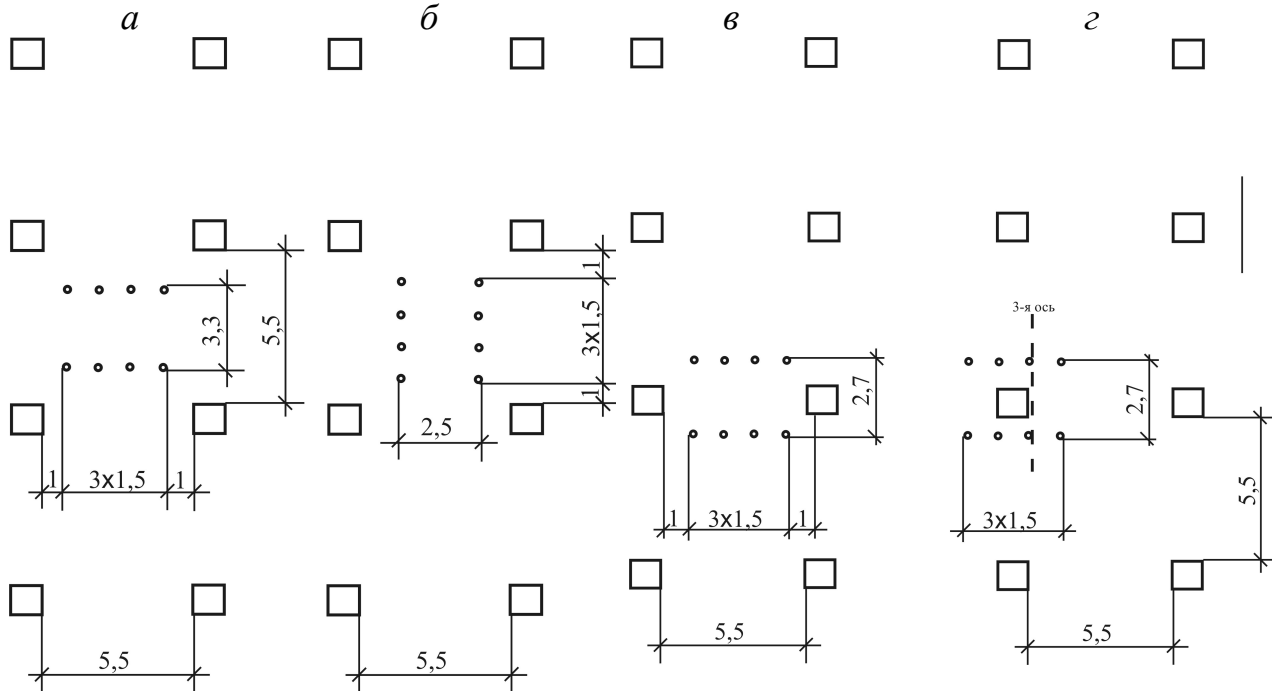


Рис. 2. Схемы нагрузок модели: а) 2-я нагрузка; б) 3-я нагрузка; в) 4-я нагрузка; г) 5-я нагрузка

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 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.

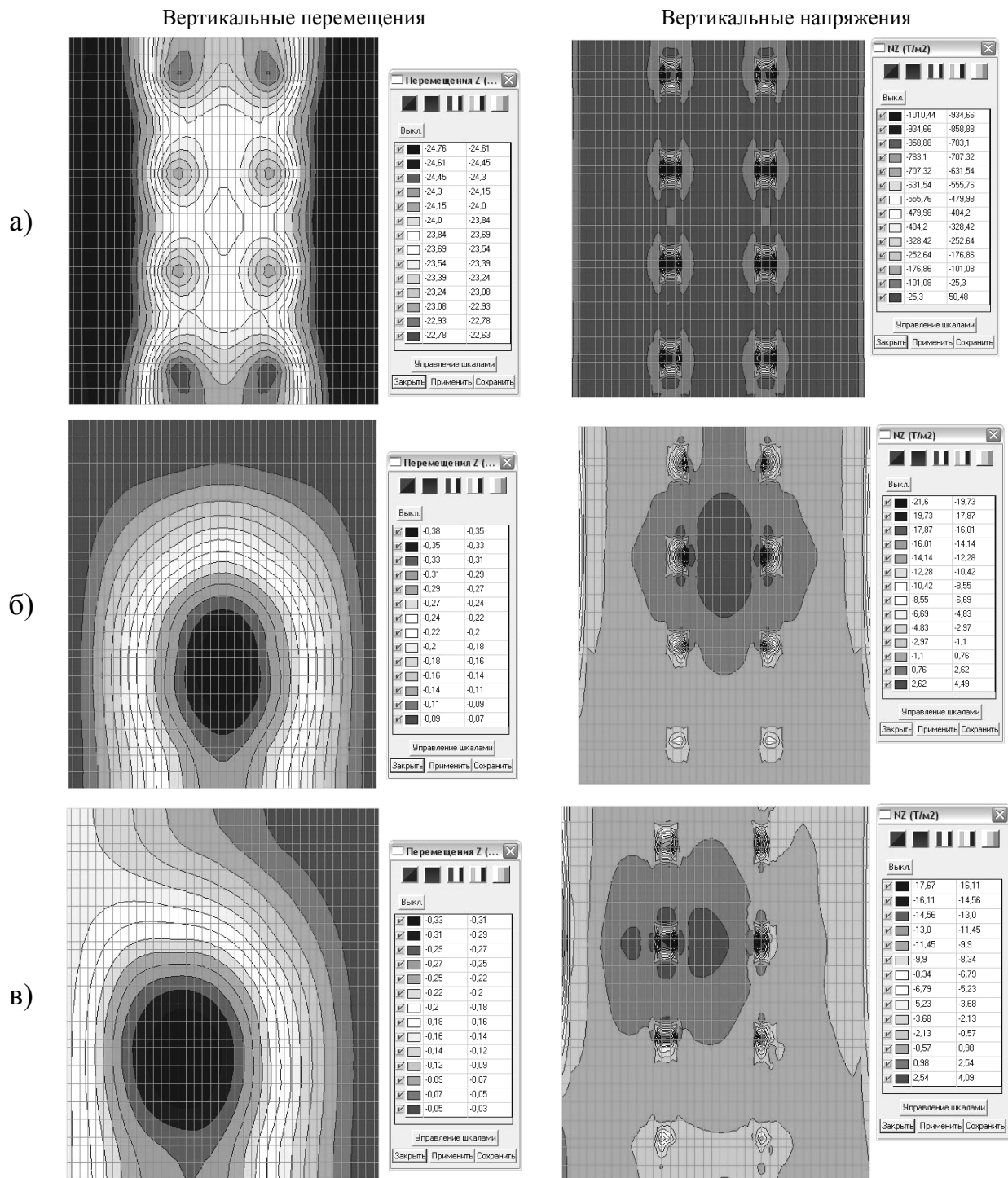
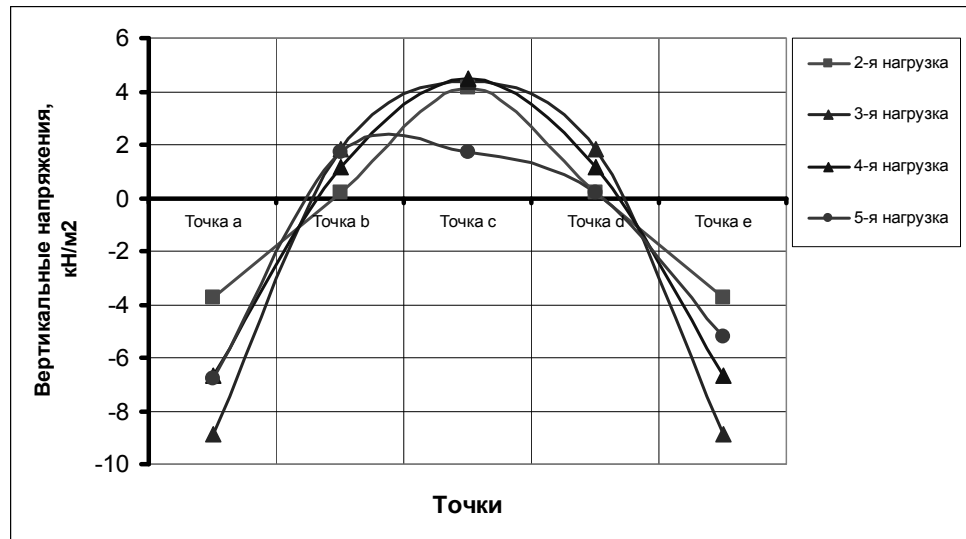


Рис. 3. Перемещение по оси Z в верхней плите модели колонной станции:
а) 1-я нагрузка; б) 4-я нагрузка; в) 5-я нагрузка

а)



б)

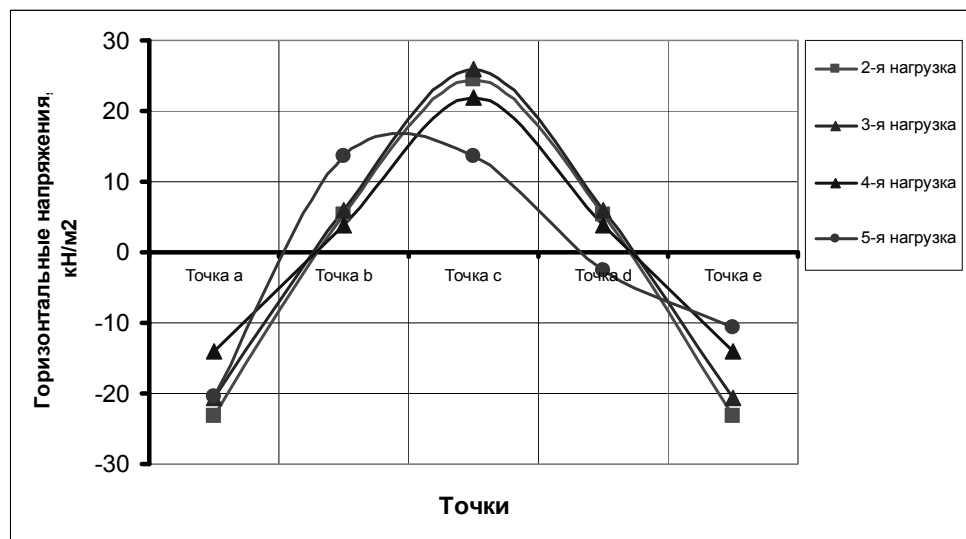


Рис. 4. График распределения вертикальных (а) и горизонтальных (б) напряжений в точках на перекрытии

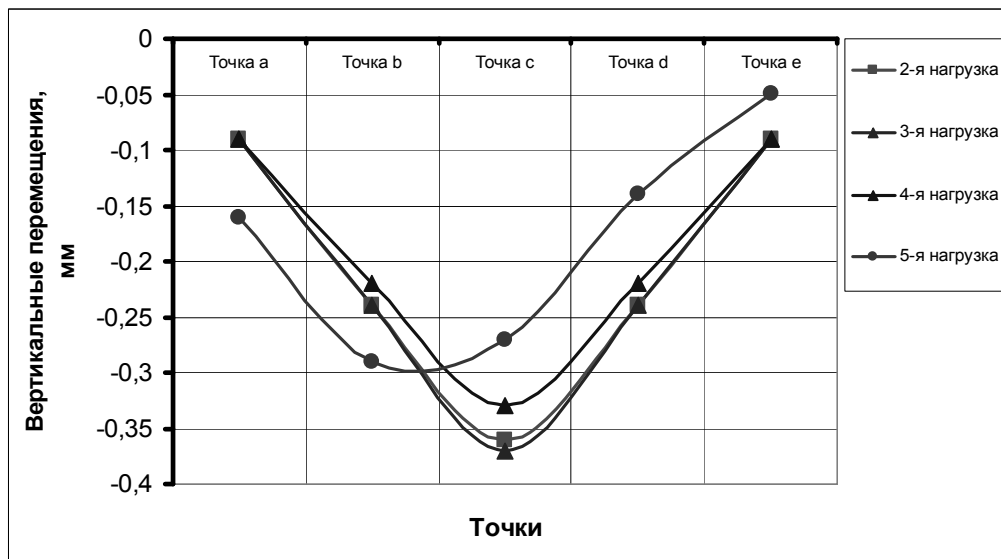


Рис. 5. График распределения вертикальных перемещений в точках на перекрытии

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.

Библіографічний 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. – Дніпропетровськ: 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.