

Клевеко В.И., Моисеева О.В., Новодзинский А.Л. Выбор оптимального грунта засыпки подземного пешеходного перехода из металлических гофрированных конструкций // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 102–114. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.09

Kleveko V.I., Moiseeva O.V., Novodzinskii A.L. Selecting an optimal backfilling for underground pedestrian crossings from corrugated metal structures. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. 2017. Vol. 8, no. 1. Pp. 102-114. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.09



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 8, № 1, 2017
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.09

УДК 625.745.22

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ГРУНТА ЗАСЫПКИ ПОДЗЕМНОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.И. Клевеко¹, О.В. Моисеева¹, А.Л. Новодзинский²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

²НПФ «Стройэксперт», Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 17 декабря 2016
Принята: 10 января 2017
Опубликована: 30 марта 2017

Ключевые слова:

гофрированные металлические конструкции, пешеходный переход, тоннель, засыпка, песок, армированный песок

АННОТАЦИЯ

Основное назначение пешеходного перехода – обеспечение безопасности пешеходов. Подземные пешеходные переходы намного безопаснее пешеходных переходов в одном уровне, но проигрывают им по своей стоимости. Затраты на строительство можно снизить за счет применения гибких металлических гофрированных конструкций вместо стандартной железобетонной оболочки. Для рационального проектирования оболочек подземных пешеходных конструкций необходимо знать их напряженно-деформированное состояние (НДС).

НДС гибких металлических гофрированных оболочек в значительной степени зависит от прочностных и деформационных характеристик окружающего их грунта. В связи с этим улучшение характеристик грунта засыпки является актуальной задачей для снижения стоимости возведения пешеходных тоннелей.

Для оценки эффективности грунта засыпки было выполнено численное моделирование работы тоннельной оболочки, изготовленной из металлической гофрированной конструкции. В качестве грунта засыпки были использованы обычный песок, песок, армированный полипропиленовыми волокнами, и песок, укрепленный цементом.

В данной статье представлены результаты расчетов конструкции пешеходного тоннеля при различных прочностных и деформационных характеристиках грунтов засыпки. Анализ НДС металлической гофрированной конструкции подземного пешеходного перехода показал, что максимальные деформации для засыпки из песка, укрепленного цементом, на 70 % меньше, а для засыпки из песка, армированного полипропиленовыми волокнами, на 29 % меньше по сравнению с обычным неармированным песком. Нормальные напряжения в металлической гофрированной оболочке при использовании засыпки из песка, укрепленного цементом, на 86 % меньше, а из песка, армированного полипропиленовыми волокнами, на 42 % меньше по сравнению с обычным неармированным песком.

© ПНИПУ

© Клевеко Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: vlivkl@mail.ru.

Моисеева Олеся Васильевна – магистрант, e-mail: lesja.moiseeva@mail.ru.

Новодзинский Александр Леонидович – кандидат технических наук, заместитель директора, e-mail: alexnov72@mail.ru.

Vladimir I. Kleveko – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: vlivkl@mail.ru.

Oles'ia V. Moiseeva – Master Student, e-mail: lesja.moiseeva@mail.ru.

Aleksandr L. Novodzinskii – Ph.D. in Technical Sciences, Deputy Director, e-mail: alexnov72@mail.ru.

SELECTING AN OPTIMAL BACKFILLING FOR UNDERGROUND PEDESTRIAN CROSSINGS FROM CORRUGATED METAL STRUCTURES

V.I. Kleveko¹, O.V. Moiseeva¹, A.L. Novodzinskii²

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²NPF "Stroiekspert", Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 17 December 2016
Accepted: 10 January 2017
Published: 30 March 2017

Keywords:

corrugated metal structures, pedestrian crossing, tunnel, backfill, sand, fiber reinforced sand

ABSTRACT

A pedestrian crossing is an essential element of the transport system in any city. The major function of a pedestrian crossing is to ensure the safety of pedestrians. Underground pedestrian crossings are much safer compared to regular pedestrian crossings, but they are much more expensive. The construction costs can be decreased due to the use of flexible corrugated metal structures instead of ordinary concrete structures. For a rational design of pedestrian structures, it is necessary to know their stress-strain states.

The stress-strain state of flexible corrugated metal shells largely depends on the strength and deformation characteristics of the surrounding soil. Therefore, improving the characteristics of the backfilling soil is an urgent task in reducing the costs of constructing pedestrian tunnels.

One way to improve the strength and deformation characteristics of soils is to use reinforcement. Currently there is a large number of reinforcement schemes and reinforcing materials. One of the most prospective ways of soil reinforcement is the use of fiber filaments. Fiber reinforced soils have significantly higher strength and deformation characteristics in comparison with unreinforced soils.

Numerical modeling of the tunnel shell made of the corrugated metal structure was carried out to evaluate the effectiveness of using fiber reinforced sand. Ordinary sand and sand reinforced with polypropylene fibers have been used as soil backfill.

The calculation results of the pedestrian tunnel structure in different strength and deformation characteristics of the backfill soil are presented in this article. The analysis of the stress-strain state of the metal corrugated construction of the underground pedestrian crossing indicated that the maximum deformation of the backfill from sand reinforced with cement is 70 % less; as for the filling from the sand reinforced with polypropylene fibers, it is 29 % less than for the non-reinforced sand. Normal stresses in the metal corrugated shell when using the backfill from the reinforced concrete sand are 86 % less; as for the the sand reinforced with polypropylene fibers, it is 42 % less compared to an ordinary sand.

© PNRPU

Введение

Пешеходный переход – неотъемлемый элемент транспортной системы любого города. Его основное назначение – обеспечение безопасности дорожного движения. Ежегодно в России погибает большое количество пешеходов, что говорит о недостаточной эффективности как самих пешеходных переходов, так и транспортной системы города в целом [1, 2].

Наиболее часто используемым и проектируемым является пешеходный переход со световым регулированием типа «зебра». В таком случае вероятность столкновения пешехода с автомобилем максимальна.

Пешеходные переходы подземного типа во много раз безопаснее переходов со световым регулированием, но проигрывают им по стоимости. Именно стоимость возведения подземного пешеходного перехода зачастую заставляет отказаться от его строительства. Однако затраты можно снизить за счет применения металлических гофрированных конструкций взамен стандартной железобетонной оболочки [3–6].

Для уменьшения объемов земляных работ и, соответственно, стоимости строительства пешеходный тоннель прокладывается в уровне земли, организация движения автомобилей при этом осуществляется с помощью устройства насыпи (рис. 1).

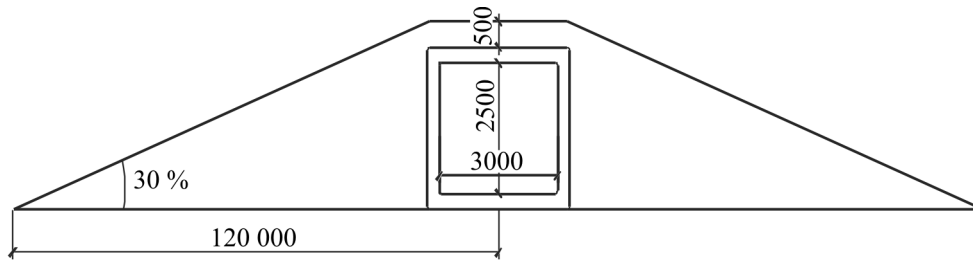


Рис. 1. Конструкция пешеходного перехода в уровне земли
Fig. 1. The construction of a pedestrian crossing located in the ground level

Ранее проведенные исследования показали, что наиболее оптимальным сечением для организации движения пешеходов с минимальным габаритом 2,3×3,0 м по СП 35.13330.2011 является круглая труба диаметром 3,98 м [6].

Напряженно-деформированное состояние гибких металлических гофрированных оболочек в значительной степени зависит от прочностных и деформационных характеристик окружающего их грунта [7, 8], поэтому улучшение характеристик грунта засыпки является актуальной задачей для снижения стоимости возведения пешеходных тоннелей.

Одним из способов улучшения прочностных и деформационных характеристик грунтов является армирование. В настоящее время существует большое количество схем армирования и армирующих материалов.

Одним из наиболее перспективных способов армирования грунтов является использование фибровых волокон. Фиброармированные грунты имеют значительно более высокие прочностные характеристики по сравнению с неармированными грунтами [9–12].

1. Исходные данные для расчета

На рис. 1 представлена схема пешеходного перехода в уровне земли. Такая конструкция не нуждается в световом регулировании, что экономит время водителей и пешеходов, требует меньше трудозатрат на устройство, по сравнению с надземным и подземным пешеходными переходами, и увеличивает безопасность всех участников дорожного движения.

Для выявления наиболее оптимального грунта засыпки был произведен расчет методом конечных элементов, выполненный в программном комплексе PLAXIS 2D.

Расчет конструкции пешеходного перехода в уровне земли был выполнен для конкретных инженерно-геологических условий. На площадке строительства были выявлены следующие грунты:

- суглинок, толщина слоя $h = 7,2$ м, удельное сцепление $c = 20,5$ кПа, угол внутреннего трения $\varphi = 18^\circ$, модуль деформации $E = 11$ МПа;
- песок, $h = 1,0$ м, $c = 2$ кПа, $\varphi = 18^\circ$, $E = 11$ МПа;
- гравий, $h = 1,8$ м, $c = 1$ кПа, $\varphi = 40^\circ$, $E = 30$ МПа;
- аргиллит, $h = 2,1$ м, $E = 20$ МПа.

В трубе был использован гофрированный лист ГЛ155 (рис. 2), имеющий следующие характеристики:

- толщина листа – 4 мм;
- момент инерции сечения $I = 181,92$ см⁴/м;

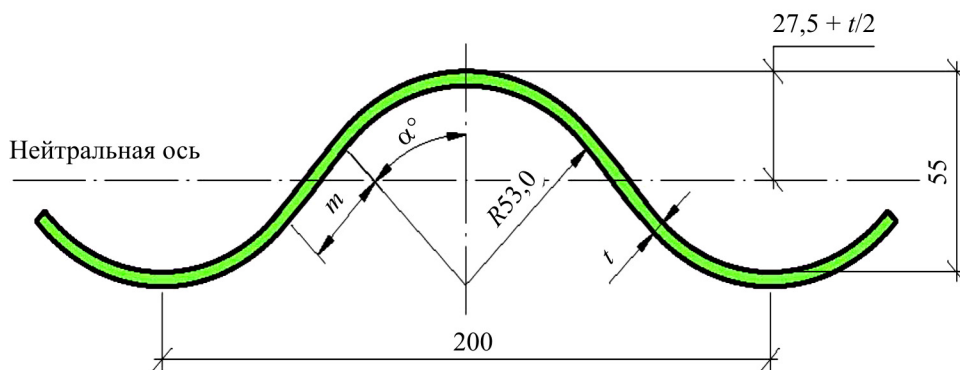


Рис. 2. Характеристики гофрированного листа ГЛ55
Fig. 2. Characteristics of the corrugated sheet GL55

- момент сопротивления сечения $W = 61,67 \text{ см}^3/\text{м}$;
- пластический момент сопротивления сечения $W_p = 79,72 \text{ см}^3/\text{м}$.

Многочисленные исследования показали определенную эффективность применения таких конструкций [13–19].

Согласно ОДМ 218.02.001–2009 «Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон)» для устройства основания непосредственно под металлическим гофрированным тоннелем глубиной не менее 0,5 м применяются:

- пески средней крупности, крупные, гравелистые, щебенисто-галечниковые и дресвяно-гравийные грунты, не содержащие обломков размером более 50 мм; перечисленные грунты не должны содержать более 10 % частиц размером менее 0,1 мм, в том числе более 2 % глинистых размером менее 0,005 мм;
- пески мелкие, не содержащие более 10 % частиц размером меньше 0,1 мм, в том числе более 2 % глинистых размером меньше 0,005 мм;
- допускается применение глинистых грунтов, пригодных для возведения насыпей (при высоте последних над шельгой свода до 8 м), в районах, где исключается возможность процессов пучинообразования на автомобильных дорогах не выше III категории при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Наиболее распространенным грунтом засыпки подземных конструкций является песок. Таким образом, для оценки влияния характеристик грунта на напряженно-деформированное состояние гофрированной оболочки были выполнены три расчета. Первый расчет был произведен для засыпки из песка со следующими характеристиками: $E = 30 \text{ МПа}$; $\varphi = 40^\circ$; $c = 1 \text{ кПа}$. Второй был выполнен для засыпки из фиброармированного песка со следующими характеристиками: $E = 30 \text{ МПа}$; $\varphi = 45^\circ$; $c = 67,0 \text{ кПа}$. Характеристики песка, армированного полипропиленовыми фибровыми волокнами в количестве 0,5 %, приняты по результатам испытаний, приведенных в работах [9, 12]. Еще одним способом укрепления грунтов является укрепление с помощью цемента. Для сравнения произведем расчет с засыпкой из цементогрунта. Характеристики цементогрунта из песка, укрепленного 5 % цемента марки 400, следующие: $E = 250 \text{ МПа}$; прочность на сжатие равна 2,0 МПа.

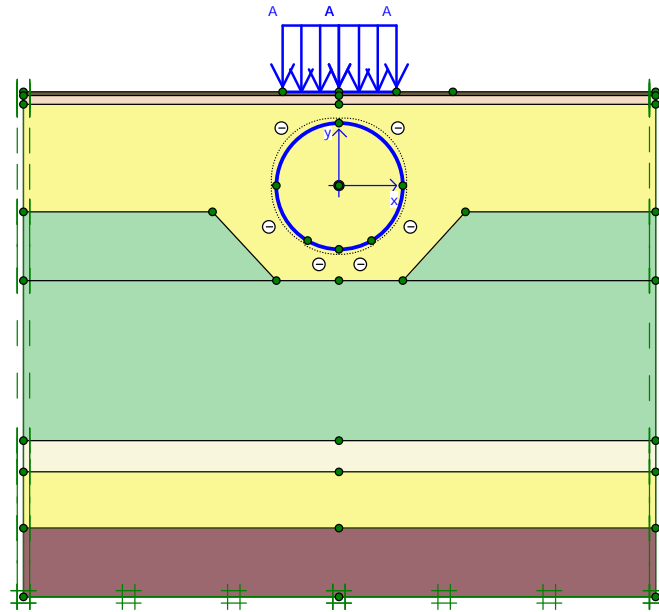


Рис. 3. Расчетная схема
Fig. 3. The calculation scheme

Согласно действующим нормам проектирования СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» транспортная нагрузка представляла собой четырехосную тележку Н14 с нагрузкой на ось 252 кН и расстоянием между осями 1,2 м. Расчетная схема представлена на рис. 3.

2. Результаты расчета

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния тоннельной обделки с грунтом засыпки из песка представлены на рис. 4–6.

Анализ полученных графиков показал, что в тоннельной обделке возникают сжимающая сила с максимальным значением $N_{\max} = 147,87$ кН и значительный знакопеременный изгибающий момент с максимальным значением $M_{\max} = 6,5$ кН·м. Максимальное перемещение тоннельной обделки наблюдалось в верхней зоне и составило 29,32 мм.

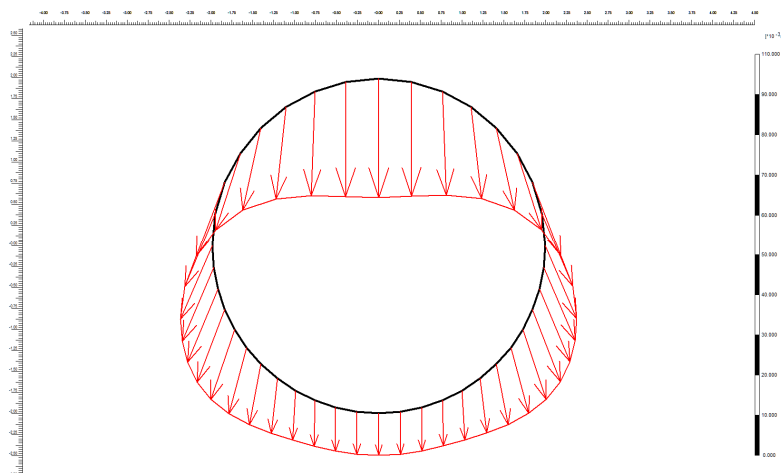


Рис. 4. Эпюра перемещений оболочки ($u_{\max} = 29,32$ мм)
Fig. 4. The diagram of shell displacement ($u_{\max} = 29,32$ мм)

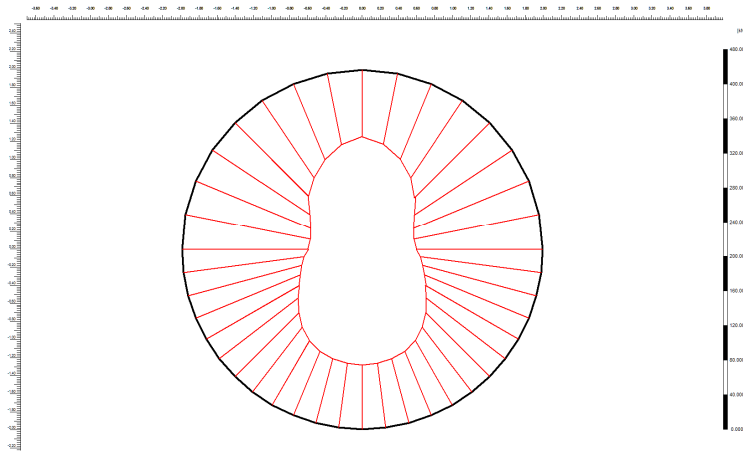


Рис. 5. Эпюра продольных усилий ($N_{\max} = 147,87$ кН)
Fig. 5. The diagram of axial forces ($N_{\max} = 147,87$ kN)

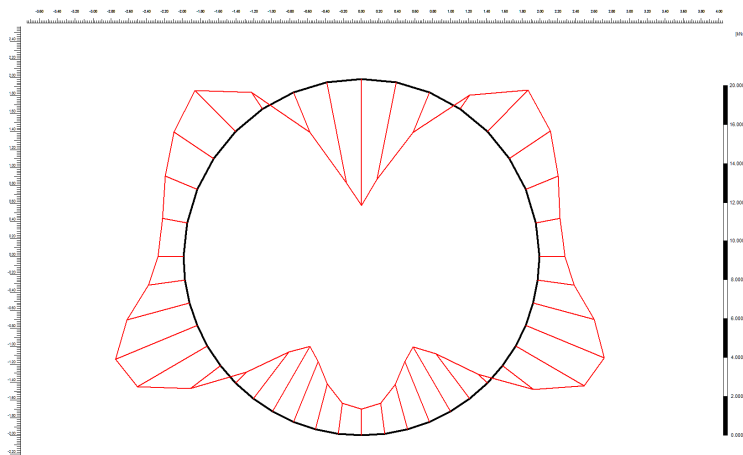


Рис. 6. Эпюра изгибающих моментов ($M_{\max} = 6,5$ кН·м)
Fig. 6. The diagram of bending moments ($M_{\max} = 6,5$ kN·m)

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния тоннельной обделки с грунтом засыпки из фиброармированного песка представлены на рис. 7–9.

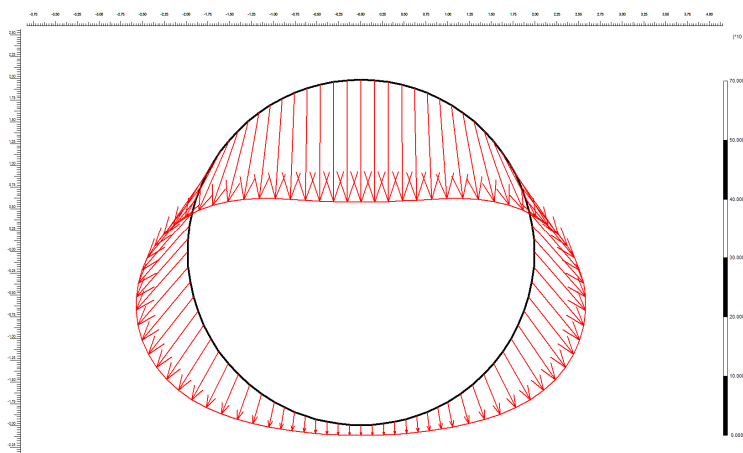


Рис. 7. Эпюра перемещений оболочки ($u_{\max} = 20,71$ мм)
Fig. 7. The diagram of shell displacements ($u_{\max} = 20,71$ mm)

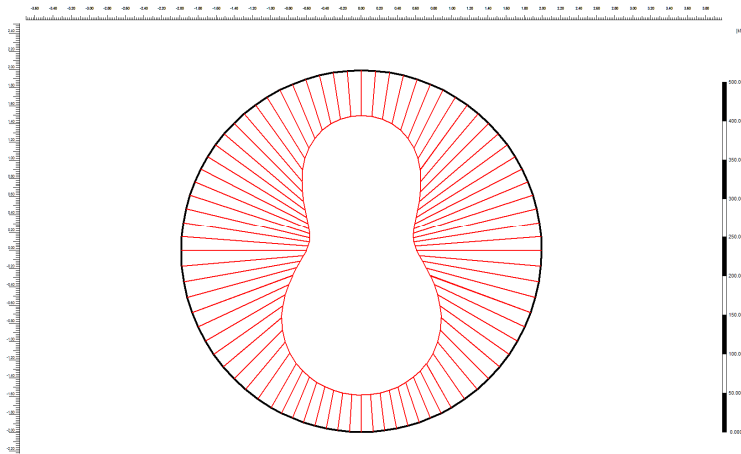


Рис. 8. Эпюра продольных усилий ($N_{\max} = 164,28$ кН)
Fig. 8. The diagram of axial forces ($N_{\max} = 164,28$ kN)

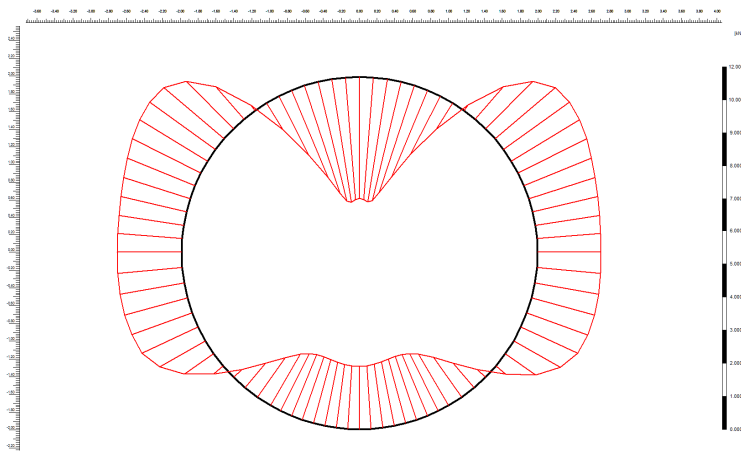


Рис. 9. Эпюра изгибающих моментов ($M_{\max} = 3,78$ кН·м)
Fig. 9. The diagram of bending moments ($M_{\max} = 3,78$ kN·m)

По результатам расчета были получены следующие данные:

- максимальное перемещение $u_{\max} = 20,71$ мм;
- максимальное продольное усилие $N_{\max} = 164,28$ кН;
- максимальный изгибающий момент $M_{\max} = 3,78$ кН·м.

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния тоннельной обделки с грунтом засыпки из песка, укрепленного цементом, приведены на рис. 10–12.

Максимальное перемещение – 8,71 мм; максимальное продольное усилие – 203,76 кН; максимальный изгибающий момент – 0,891 кН·м.

Анализ представленных эпюр показывает, что использование фиброармированного грунта взамен неармированного приводит к уменьшению деформаций тоннельной оболочки на 29 %, изгибающего момента – на 42 % и к увеличению продольной силы на 9,7 %.

В результате расчетов было выявлено, что использование цементогрунта взамен песка ведет к следующему:

- деформация оболочки уменьшается на 70 %;
- изгибающий момент уменьшается на 86 %;
- продольные усилия увеличиваются на 27 %.

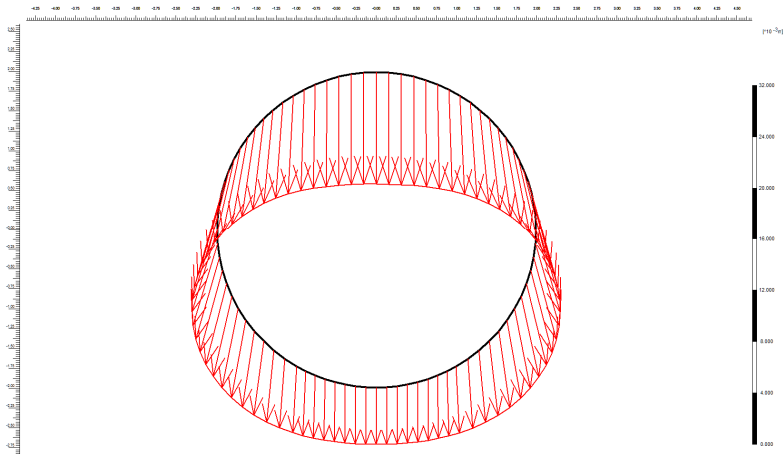


Рис. 10. Эпюра перемещений оболочки ($u_{\max} = 8,71$ мм)
Fig. 10. The diagram of shell displacements ($u_{\max} = 8,71$ mm)

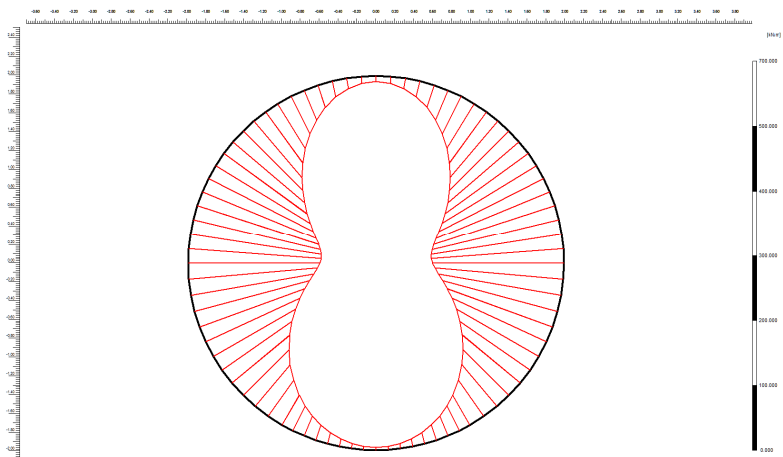


Рис. 11. Эпюра продольных усилий ($N_{\max} = 203,76$ кН)
Fig. 11. The diagram of axial forces ($N_{\max} = 203,76$ kN)

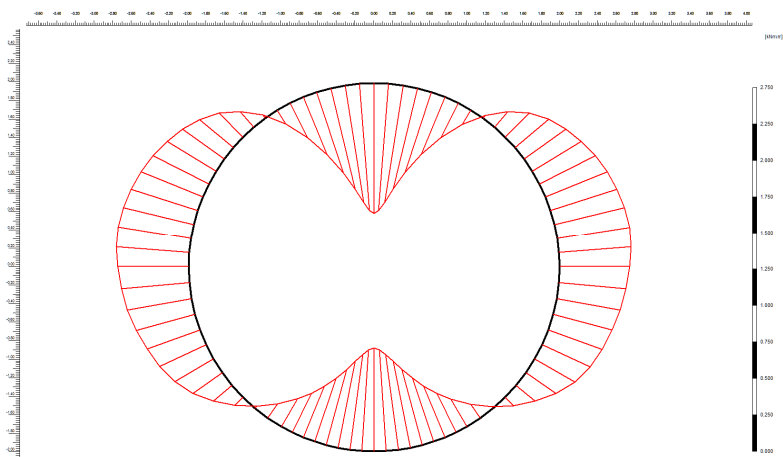


Рис. 12. Эпюра изгибающих моментов ($M_{\max} = 0,891$ кН·м)
Fig. 12. The diagram of bending moments ($M_{\max} = 0,891$ kN·m)

На основании полученных результатов были рассчитаны нормальные напряжения в металлической гофрированной оболочке. Результаты расчета представлены на рис. 13–15.

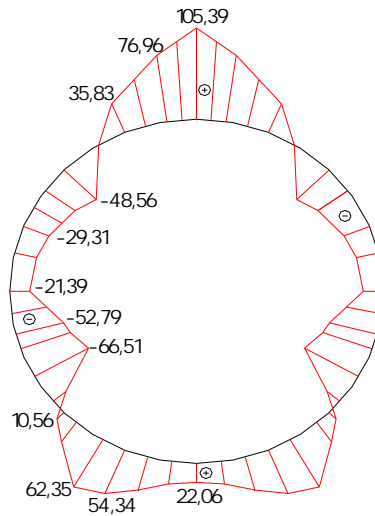


Рис. 13. Эпюра нормальных напряжений при засыпке из песка ($\sigma_{\max} = 105,39$ МПа)
Fig. 13. The diagram of normal stresses with a sand backfill ($\sigma_{\max} = 105,39$ МПа)

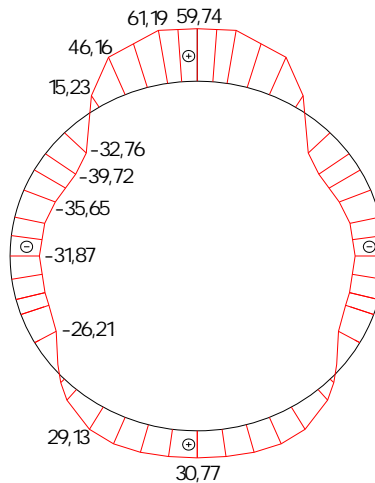


Рис. 14. Эпюра нормальных напряжений при засыпке из фибропеска ($\sigma_{\max} = 61,19$ МПа)
Fig. 14. The diagram of normal stresses with the backfill of fiber reinforced sand ($\sigma_{\max} = 61,19$ МПа)

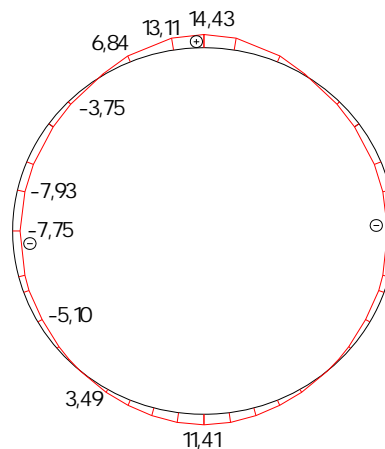


Рис. 15. Эпюра напряжений при засыпке из цементогрунта ($\sigma_{\max} = 14,43$ МПа)
Fig. 15. The diagram of stresses with the backfill from sand reinforced cement ($\sigma_{\max} = 14,43$ МПа)

Анализ этих эпюр показывает, что нормальные напряжения в металлической оболочке при использовании засыпки из фиброармированного грунта значительно меньше, чем для неармированного, но использование цементогрунта в качестве грунта засыпки еще более эффективно.

Выводы

1. Наибольшее снижение деформаций и нормальных напряжений в металлической гофрированной оболочке пешеходного тоннеля происходит при применении в качестве обратной засыпки песка, укрепленного цементом. Нормальные напряжения уменьшились на 86 %, а вертикальные деформации – на 70 %. Однако такой вид укрепления грунта приводит к значительному снижению коэффициента фильтрации обратной засыпки, что несколько ограничивает область использования данного метода.

2. Применение фиброармированного грунта позволяет улучшить прочностные и деформационные характеристики грунта засыпки металлической гофрированной тоннельной обделки, что приводит к значительному уменьшению напряжений и деформаций в ней. Напряжения уменьшаются на 42 %, а деформации – на 29 %. Использование в качестве арматуры полипропиленовой фибры не приводит к уменьшению водопроницаемости засыпки и поэтому не ограничивает применение данного вида укрепления грунтов.

3. Результаты расчетов показали, что улучшение прочностных и деформационных характеристик грунтов засыпки тоннеля позволяет уменьшить нормальные напряжения и деформации в металлической оболочке пешеходного тоннеля и дает возможность использовать более тонкие гофрированные листы, что снижает стоимость строительства.

Библиографический список

1. Моисеева О.В., Клевко В.И. Анализ аварийных случаев с участием пешеходов в г. Перми // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 4. – С. 134–143.

2. Моисеева О.В., Клевко В.И. Учет безопасности движения пешеходов и стоимости строительства при выборе рационального типа пешеходного перехода // Мир науки и инноваций. – 2015. – Т. 8, № 2 (2). – С. 90–93.

3. Половникова А.Э., Клевко В.И. Выбор рационального типа пешеходных переходов с учетом безопасности движения пешеходов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2012. – Т. 2. – С. 356–361.

4. Moiseeva O.V., Klevko V.I. Choice of rational type of crosswalk with regard to the safety for pedestrians and the cost of construction // SWorldJournal. – 2015. – Vol. J21504, № 2 (9). – P. 3–5.

5. Моисеева О.В., Клевко В.И. Применение сборных металлических гофрированных конструкций для возведения пешеходного тоннеля // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 12 (56). – С. 409–411.

6. Klevko V.I., Shangina Y.M. The impact of the use fiber reinforced sand as backfilling on the value of act // SWorldJournal. – 2016. – Vol. 4, № 116 (10). – P. 16–21.

7. Пономарев А.Б., Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г. Применение фиброармированного песка в качестве основания зданий и сооружений // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2013. – № 30. – С. 101–107.

8. Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г., Пономарев А.Б. Исследование прочностных характеристик песка, армированного дискретными волокнами полипропилена // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 44–55.

9. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Лабораторные исследования прочностных характеристик фиброармированного песка различной степени водонасыщения // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 6 (47). – С. 127–132.

10. Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г. Оценка прочности фиброармированного песка по результатам испытаний на трехосное сжатие // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2012. – № 2. – С. 37–44.

11. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G. Research of fiber reinforced sand by triaxial testing // Инновационные процессы в исследовательской и образовательной деятельности. – 2013. – Т. 1. – С. 79–81.

12. Шапиро Д.М., Тютин А.П. Численный упругопластический расчет дорожных водопропускных труб // Строительная механика и конструкции. – 2015. – Т. 2, № 11. – С. 66–71.

13. Новодзинский А.Л., Клевко В.И. Учет влияния толщины гофрированного элемента на прочность и устойчивость металлической водопропускной трубы // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 81–94.

14. Kovalchuk V.V. The effect of corrugated elements thickness on the deflected mode of corrugated metal structures // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 3 (57). – Р. 199–207.

15. Федорова В.С., Ловцов А.Д. Взаимодействие гофрированной металлической трубы с упругой средой посредством трения Кулона // Ученые заметки Тихоокеан. гос. ун-та. – 2013. – Т. 4, № 4. – С. 1662–1669.

16. Десятых Г.В., Сивцов А.А. Метод расчета водопропускных труб из металлических гофрированных структур // Вестник Урал. гос. ун-та путей сообщ. – 2012. – № 4 (16). – С. 76–81.

17. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 1. Обзор и анализ зарубежных статических экспериментальных исследований [Электронный ресурс] / И.Г. Овчинников [и др.] // Наукоедение. – 2013. – № 6 (19). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN613.pdf> (дата обращения: 10.11.2016).

18. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 2. Обзор отечественных экспериментальных исследований. Сопоставление результатов эксперимента с результатами расчетов по разным методикам [Электронный ресурс] / В.С. Беляев [и др.] // Наукоедение. – 2013. – № 6 (19). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/190TVN613.pdf> (дата обращения: 10.11.2016).

19. Беляев В.С. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 3. Отечественные экспериментальные исследования. Динамические испытания // Наукоедение. – 2014. – № 1 (20). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN114.pdf> (дата обращения: 10.11.2016).

References

1. Moiseeva O.V., Kleveko V.I. Analiz avarijnyh sluchaev s uchastiem peshehodov v g. Permi [Analysis of accident cases involving pedestrians in Perm]. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*, 2015, no. 4, pp. 134–143.
2. Moiseeva O.V., Kleveko V.I. Uchet bezopasnosti dvizhenija peshehodov i stoimosti stroitel'stva pri vybore racional'nogo tipa peshehodnogo perehoda [Choice of a rational type of pedestrian crossing with safety for pedestrians and construction costs]. *World Science and Innovation*, 2015, vol. 8, no. 2 (2), pp. 90–93.
3. Polovnikova A.E., Kleveko V.I. Vybore racional'nogo tipa peshehodnyh perehodov s uchetom bezopasnosti dvizhenija peshehodov [Choice of a rational type of pedestrian crossings with regard to the safety of pedestrian traffic]. *Modernization and research in the transport sector*, 2012, vol. 2, pp. 356–361.
4. Moiseeva O.V., Kleveko V.I. Choice of rational type of crosswalk with regard to the safety for pedestrians and the cost of construction. *SWorldJournal*, 2015, vol. J21504, no. 2 (9), pp. 3–5.
5. Moiseeva O.V., Kleveko V.I. Primenenie sbornyh metallicheskih gofrirovannyh konstrukcij dlja vozvedenija peshehodnogo tonnelja [Using the prefabricated corrugated metal structures for the construction of pedestrian tunnel]. *Modern scientific researches and innovations*, 2015, no. 12 (56), pp. 409–411.
6. Kleveko V.I., Shangina Y.M. The impact of the use fiber reinforced sand as backfilling on the value of act. *SWorldJournal*, 2016, vol. 04, no. j116 (10), pp. 16–21.
7. Ponomarev A.B., Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G. Issledovanie prochnostnyh karakteristik peska, armirovannogo diskretnymi voloknami polipropilena [Application of fibroreinforced sand as the foundation of buildings and constructions]. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, 2013, no. 30, pp. 101–107.
8. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G., Ponomarev A.B. Issledovanie prochnostnyh karakteristik peska, armirovannogo diskretnymi voloknami polipropilena [Strength research of sand reinforced by discrete polypropylene fibres]. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*, 2012, no. 1, pp. 44–55.
9. Ponomarev A.B., Kuznetsova A.S. Laboratornye issledovanija prochnostnyh karakteristik fibroarmirovannogo peska razlichnoj stepeni vodonasyshhenija [Laboratory testing of the strength characteristics of fiber reinforced sand with various water]. *Bulletin of Civil Engineers*, 2014, no. 6 (47), pp. 127–132.
10. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G. Ocenka prochnosti fibroarmirovannogo peska po rezul'tatam ispytaniy na trehosnoe szhatie [Strength evaluation of fiber reinforced sand by triaxial test]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*, 2012, no. 2, pp. 37–44.
11. Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G. Research of fiber reinforced sand by triaxial testing. *Innovacionnye processy v issledovatel'skoj i obrazovatel'noj dejatel'nosti*, 2013, Vol. 1, pp. 79–81.
12. Shapiro D.M., Tjutin A.P. Chislennyj uprugoplasticheskiy raschjot dorozhnyh vodopropusknyh trub [Numerical elastic-plastic calculation of road pipe culverts]. *Stroitel'naja mehanika i konstrukcii*, 2015, vol. 2, no. 11, pp. 66–71.
13. Novodzinsky A.L., Kleveko V.I. Uchet vlijanija tolshhiny gofrirovannogo jelementa na prochnost' i ustojchivost' metallicheskoj vodopropusknoj trubyy [The account influence of a thickness of the goffered element on durability and stability of a metal water throughput pipe].

Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture, 2012, no. 1, pp. 81–94.

14. Kovalchuk V.V. The effect of corrugated elements thickness on the deflected mode of corrugated metal structures. *Nauka ta progres transportu*, 2015, no. 3 (57), pp. 199–207.

15. Fedorova V.S., Lovcov A.D. Vzaimodejstvie gofirovannoj metallicheskoj truby s uprugoj sredoj posredstvom trenija Kulona [Interaction of corrugated metal pipe with elastic medium through Coulomb friction]. *Uchenye zametki TOGU*, 2013, Vol. 4, no. 4, pp. 1662–1669.

16. Desjatyh G.V., Sivcov A.A. Metod rascheta vodopropusknyh trub iz metallicheskih gofirovannyh struktur [Method for estimating pipe culverts of metallic corrugated structures]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija*, 2012, no. 4 (16), pp. 76–81.

17. Ovchinnikov I.G., Belyaev V.S., Yakovlev L.S., Osokin I.A. Analiz jeksperimental'nyh issledovanij povedenija metallicheskih gofirovannyh konstrukcij pod vozdejstviem staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok s uchetom ih sovmestnoj raboty s okruzhajushhim gruntom. Chast' 1. Obzor i analiz zarubezhnyh staticheskikh jeksperimental'nyh issledovanij [Analysis of the experimental research of the behavior of metal corrugated structures under static and dynamic loads with account of their interaction with the surrounding soil. Part 1. Review and analysis of foreign static experimental studies]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2013, no. 6 (19), available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN613.pdf>

18. Beljaev V.S., Yakovlev L.S., Ovchinnikov I.G., Osokin I.A. Analiz jeksperimental'nyh issledovanij povedenija metallicheskih gofirovannyh konstrukcij pod vozdejstviem staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok s uchetom ih sovmestnoj raboty s okruzhajushhim gruntom. Chast' 2. Obzor otechestvennyh jeksperimental'nyh issledovanij. Sopostavlenie rezul'tatov jeksperimenta s rezul'tatami raschetov po raznym metodikam [Analysis of the experimental research of the behavior of metal corrugated structures under static and dynamic loads with account of their collaboration with the surrounding soil. Part 2. Domestic experimental studies. Comparison of experimental results with the results of different methods]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2013, no. 6 (19), available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/190TVN613.pdf>

19. Beljaev V.S., Yakovlev L.S., Ovchinnikov I.G., Osokin I.A. Analiz jeksperimental'nyh issledovanij povedenija metallicheskih gofirovannyh konstrukcij pod vozdejstviem staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok s uchetom ih sovmestnoj raboty s okruzhajushhim gruntom. Chast' 3. Otechestvennye jeksperimental'nye issledovanija. Dinamicheskie ispytaniya [Analysis of the experimental research of the behavior of metal corrugated structures under static and dynamic loads with account of their collaboration with the surrounding soil. Part 3. Domestic experimental studies. Dynamic tests]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2014, no. 1 (20), available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN114.pdf>.