

## Выбор безопасной глубины заложения железобетонного футляра при бестраншейной прокладке коллектора

*Н.Г. Лобачева, Е.А. Муравьева, А.В. Манько*

*Московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** В статье приводятся результаты исследования, направленные на выбор безопасной глубины заложения подземного коллектора. В научной и нормативной литературе нет конкретных рекомендаций по глубине заложения футляров при проходке через действующие автомагистрали. Есть только рекомендации, касающиеся проходки футляра коллектора через железнодорожные насыпи. Цель данного исследования: научно обоснованные рекомендации по применению железобетонных труб в качестве футляров коллекторов. Решение задач для достижения поставленной цели будет производиться при помощи численного эксперимента - методом конечных элементов.

**Ключевые слова:** железобетонный футляр, подземный коллектор, безопасная глубина, математическое моделирование, конструкции футляров, автомагистраль, закрытый способ работ, бестраншейная прокладка, метод конечных элементов, мульда оседания.

В соответствии с нормативной литературой (СП 265.1325800.2016, СТО НОСТРОЙ 2.16.65-2012), все коллекторы, пройденные под действующими автомагистралями, обязаны иметь защитные футляры, которые должны воспринимать нагрузку от балластного слоя и дорожной одежды автомагистрали, а также движущихся автомобилей [1]. При этом применяют металлические и железобетонные футляры. В данной статье речь пойдет о железобетонных футлярах.

В соответствии с ГОСТ 20054-82 и ГОСТ 6482-2011, заводы железобетонных изделий выпускают футляры (железобетонные сегменты) с внешним диаметром от 390 мм до 1840 мм. Толщина стенки составляет от 45 до 120 мм. При этом футляры по ГОСТ 20054-82 стенки железобетонного футляра толще, чем по ГОСТ 6482-2011. В связи с этим в дальнейшем проводить численный эксперимент будем с трубами по стандарту 2011 года.

Численный эксперимент, результаты которого приведены в статье, были основаны на результатах полученной матрицы планирования эксперимента [2].

Метод планирования эксперимента [3] - это один из разделов теории вероятности [4]. По матрице полного факторного эксперимента  $2^3$  была построена таблица с исходными характеристиками для численного эксперимента методом конечных элементов (далее МКЭ). Данная таблица 1 приведена ниже.

Таблица № 1

Исходные данные моделирования железобетонного футляра

Номер эксперимента	Внутренний диаметр трубы футляра, мм	Толщина стенки, мм	Длина одного звена, мм	Глубина заложения футляра, м
I	500	55	2500	2
II	600	60	2500	4
III	1000	100	3000	6
IV	1600	120	3000	8
V	400	50	2500	10
VI	800	80	2500	12
VII	1200	110	1000	14
VIII	1400	110	1000	16

Для бестраншейной проходки железобетонных футляров в основном применяют следующие технологии: микротоннелирование, бурошнековое бурение, продавливание [5,6]. Для железобетонных футляров наиболее часто применимой технологией является микротоннелирование, в том числе с применением фибробетона [7,8]. Следующим по популярности проходки футляров идет метод бурошнекового бурения [9].

При всех эти методы проходки футляров в двухмерной постановке численного эксперимента суть любой из применяемых технологий сводится к уборке породы по всей площади поперечного сечения железобетонного сегмента футляра. Поэтому в дальнейшем эксперименте особенности технологии учитываться не будут. В качестве расчетной модели грунтового массива применялась модель Мора-Кулона, а для моделирования железобетонного футляра – модель Гука.

Численный эксперимент проводился Швейцарской программой ZSOIL, реализующей метод конечных элементов. Программа была создана давно и на сегодняшний момент активно используется в России и в остальном мире при расчетах различных сооружений. Но первоначально программа задумывалась для решения различных геотехнических задач [10].

Для численного эксперимента была выбрана схема расчета с однородным песчаным массивом, который моделирует балластный слой автомобильной дороги. Физико-механические характеристики песчаного слоя следующие: модуль деформации -  $18000 \text{ кН/м}^2$ , плотность -  $18 \text{ кН/м}^3$ , угол внутреннего трения -  $36$ , коэффициент сцепления -  $0 \text{ кН/м}^2$ , коэффициент Пуассона -  $0,42$ .

При анализе всех расчетов можно сделать вывод о том, что деформация железобетонного футляра, независимо от его диаметра и глубины залегания, будет одинаковой (рис. 1).

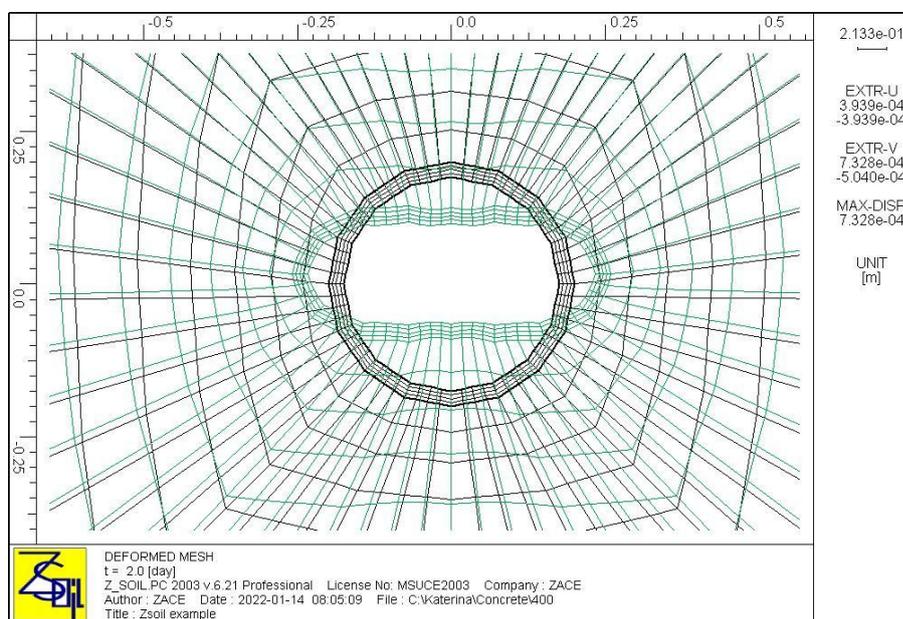


Рис. 1. – Результаты расчета железобетонного футляра по деформациям

На рис. 1 масштаб для наглядности увеличен 10:1, чтобы было лучше видна картина деформации. На самом деле максимальная деформация железобетонного футляра составила  $0,7 \text{ мм}$ .

Первый численный эксперимент был проведен с железобетонным футляром с внутренним диаметром 500, эксперимент №I. На рис. 2 даны результаты абсолютных перемещений в массиве и конструкции футляра. Величина мульды оседания автомагистрали составила  $3,9 \cdot 10^{-5}$  м, а величина максимальных смещений в районе лотка составляет 0,4 мм. Эти величины не влияют на работоспособность конструкций автомагистрали.

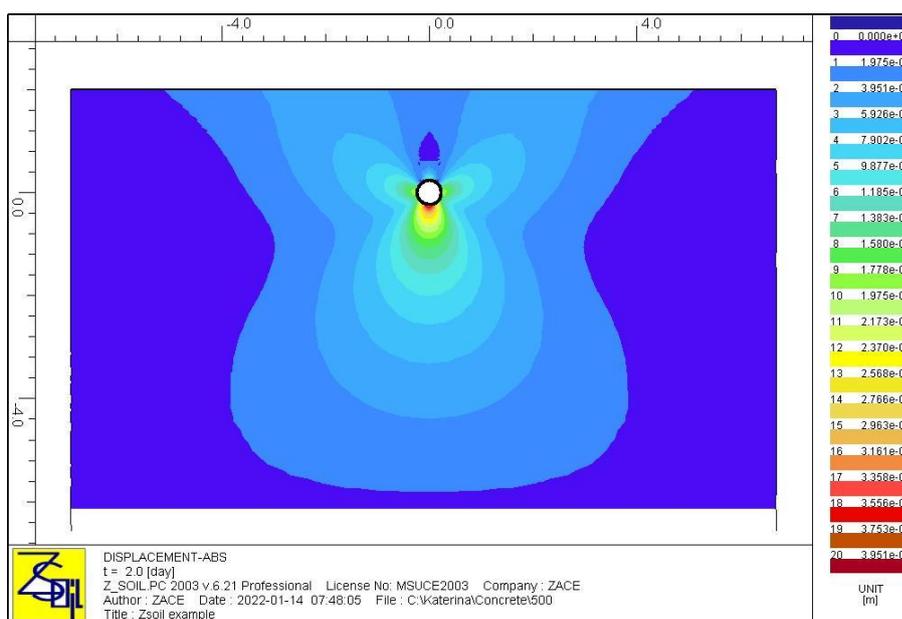


Рис. 2. – Перемещения в массиве при эксперименте № I

Далее был произведен расчет № VIII потому, что в данном эксперименте железобетонный футляр имеет внутренний диаметр 1400 мм, близкий к максимальному (1600 мм) и глубина максимальна для таких конструкций. Результаты проведенного исследования приведены на рис. 3. Мульда оседания отсутствует потому, что перемещения не доходят до поверхности, а затухают на расстоянии 8 м от шельге свода. Максимальные перемещения будут под лотком футляра и составляют 4 мм, в своде – 2,1 мм.

Остальные результаты приведены в таблице 2.

По анализу результатов очевидно, что начиная с глубины 4 метра, зона влияния от проходки футляров не влияет на дорожное полотно и возможно глубина 4 метра может считаться безопасной для железобетонных футляров.

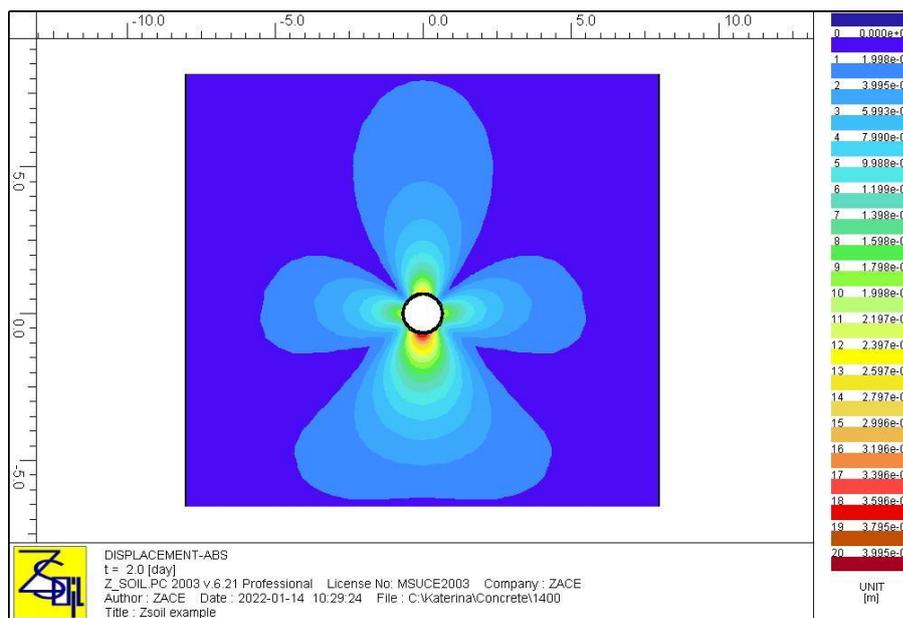


Рис. 3. – Перемещения в массиве при эксперименте № VIII

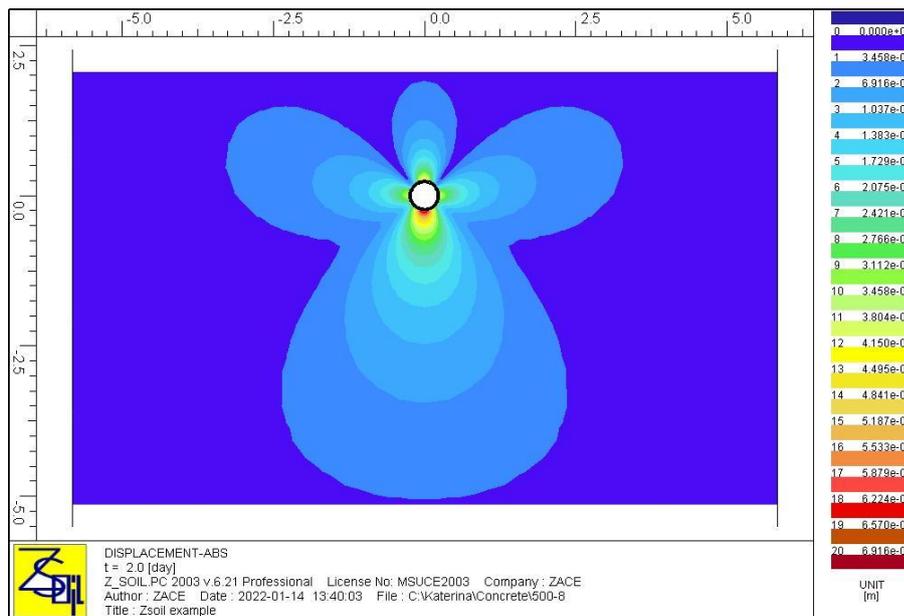
Таблица № 2

Результаты проведенного численного эксперимента

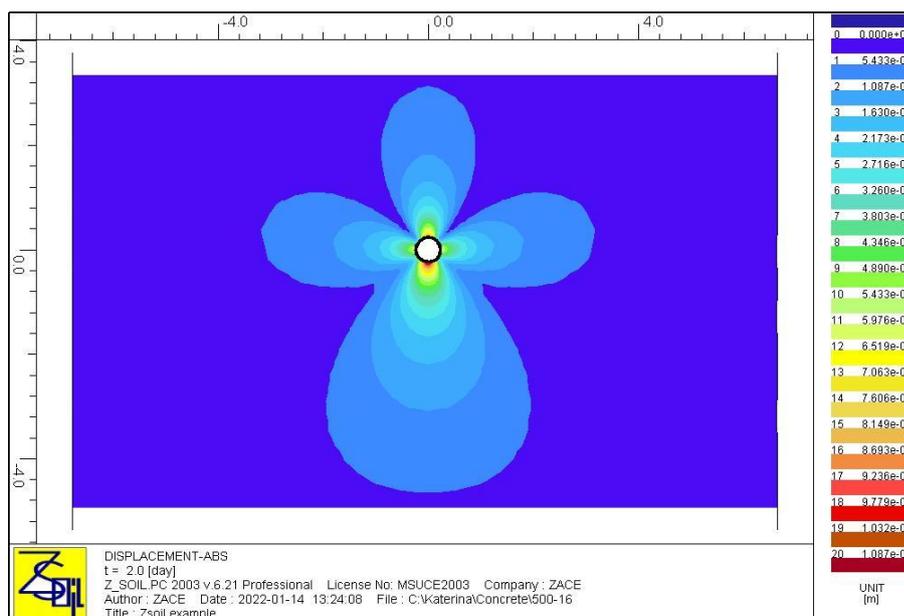
Номер эксперимента	Глубина заложения футляра, м	Мульда оседания, мм	Максимальные перемещения в грунте, мм	Размер зоны влияния вверх от шельги, м
I	2	0,039	0,4	2,0
II	4	0	0,65	3,8
III	6	0	1,41	3,7
IV	8	0	3,19	4,2
V	10	0	0,72	2,8
VI	12	0	1,59	3,1
VII	14	0	2,89	6,0
VIII	16	0	4,0	6,8

Для проверки этого вывода была сделана еще серия численных экспериментов с железобетонными футлярами со внутренним диаметром 500 мм и 1600 мм для глубин 2, 8 и 16 метров. Сначала проверялся численным моделированием футляр внутренним диаметром 500 мм для глубин 8 и 16 м потому, что для глубины 2 м результат был получен в первой серии эксперимента.

Результаты моделирования представлены на рис.4.



(a)

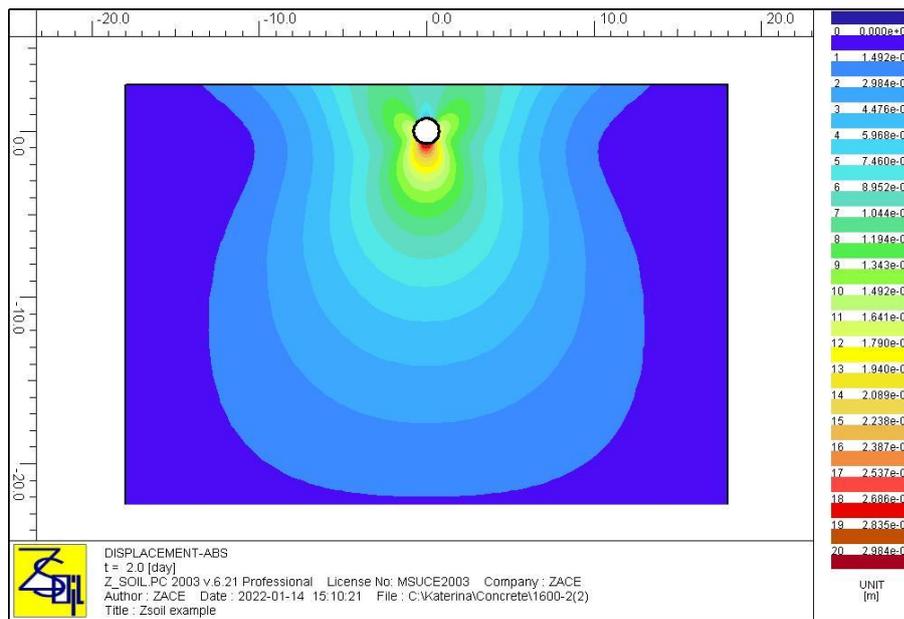


(б)

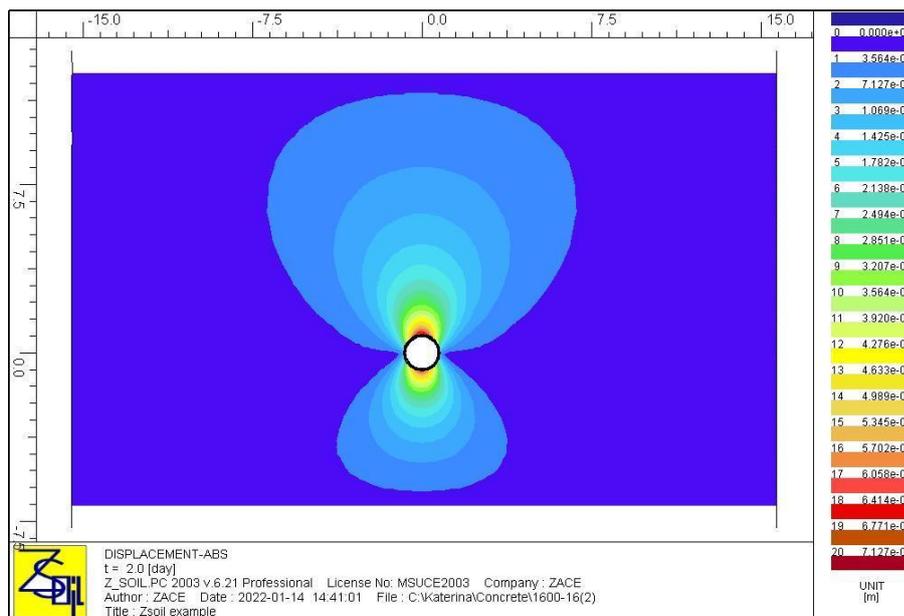
Рис. 4. – Перемещения в массиве при эксперименте с футляром 500 мм:

(а) – глубина 8 м; (б) – глубина 16 м.

При глубине 8 м максимальные перемещения в массиве составят 0,7 мм, зона влияния 2,05 м от шельги свода. Для глубины футляра 16 м максимальные перемещения составят 1,1 мм, а зона влияния – 3,3 м.



(a)



(б)

Рис. 5. – Перемещения в массиве при эксперименте с футляром 1600 мм:

(а) – глубина 2 м; (б) – глубина 16 м.

В третьей серии численного эксперимента проверяется футляр самого большого внутреннего диаметра – 1600 мм для глубин 2 и 16 м, т.к. для глубины 8 м результаты имеются в первой серии расчетов. Результаты исследования представлены на рис. 5.

При глубине 2 м максимальные перемещения в массиве составят 3 мм, зона влияния выходит на поверхность и максимальная деформация дорожного полотна составит 1,34 мм, что допустимо. Для глубины 16 м максимальные перемещения составят 0,75 мм, а зона влияния составит 12 м. На рис. 6 представлены результаты 2-ой и 3-ей серий в виде графиков. По оси абсцисс указаны глубины заложения футляра (синяя линия – Ø500 мм, красная линия – Ø1600 мм). По оси ординат – зона влияния от шельги свода вглубь массива по вертикали.

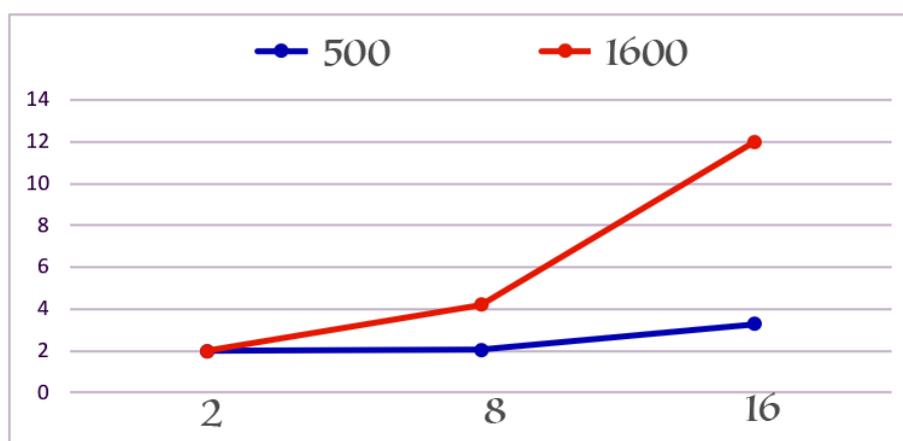


Рис. 6. – Перемещения в массиве при эксперименте с футлярами с внутренним диаметром 500 мм и 1600 мм

Анализируя полученный график (рис.6), а также полученные иные результаты, представленные в таблице 2, можно сделать следующие выводы:

- при глубине заложения 2 м все футляры имеют зону влияния, выходящую на дневную поверхность;
- при глубине заложения 4 и более метров, у футляров, независимо от их диаметра, зона влияния не выходит на поверхность;
- в пределах глубины заложения от 4 до 8 метров, зона влияния составляет от 2 до 4 метров соответственно, следовательно в указанном интервале можно применять железобетонные футляры любого диаметра без предварительного расчета;

- при глубине заложения от 8 до 16 метров, зона влияния растёт по мере увеличения диаметра и это важно учитывать, например, при прокладке нескольких параллельных футляров;
- начиная с глубины 4 метра, если необходимо, то можно проходить железобетонные футляры бестраншейной технологией без предварительного моделирования напряженно-деформированного состояния массива.
- Данные рекомендации носят справочный характер на тот случай, если при проходке проектного железобетонного футляра происходят форс-мажорные обстоятельства, требующие возведения без проекта.

### Литература

1. Курганский М.Н., Павлов С.В., Гапонов В.В. Надежность строительных конструкций тоннелей инженерных коммуникаций в Москве с учетом воздействия динамических нагрузок // Метро и тоннели, 2011, №4, С. 34-37.
2. Муравьева Е.А., Манько А.В. Методология численного эксперимента прокладки коллекторов под автомагистралями закрытым способом // Инженерный вестник Дона, 2021, №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/7011](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/7011).
3. Спирин Н.А., Лавров В.В., Зайнуллин Л.А., Бондин А.Р., Бурькин А.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург: ООО «УИНЦ», 2015, 290 с.
4. Антонова А.С., Аксенов К.А. Многокритериальное принятие решений в условиях риска на основе интеграции мультиагентного, имитационного, эволюционного моделирования и численных методов // Инженерный вестник Дона. 2012. №4 (часть 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466).

5. Кузахметова Э.К., Шмелев В.А., Титов Е.Ю., Кириллова Н.Ю., Заикина Л.Л. Методические рекомендации по способам бестраншейной прокладки труб дорожных водопропускных. М: ФГБУ «Информавтодор», 2021, 96 с.

6. Кашкинбаев И. З., Кашкинбаев Т.И. Бестраншейные технологии прокладки и реновации трубопроводов: монография. – Алматы: Нур-Принт, 2016. 198 с.

7. Shepelevich M., Puzan A. Studying crack resistance of reinforced concrete – fibre-glass composite pressure pipes for microtunneling // Contemporary issues of concrete and reinforced concrete, 2019, №11, pp. 76-88.

8. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995).

9. Allouche E. N., Ariaratnam S.T., Lueke J.S. Horizontal directional drilling: a profile of an emerging underground construction industry // Journal of Construction Engineering and Management, 126(1). United States, 2000. pp. 68-76.

10. Король Е.А., Харькин Ю.А. К вопросу о выборе программного комплекса для моделирования напряженно-деформированного состояния трехслойных железобетонных элементов и конструкций с монолитной связью слоев // Вестник МГСУ, 2010, №3, С. 156-163.

### References

1. Kurganskiy M.N., Pavlov S.V., Gaponov V.V. Metro I Tunnel. 2011. №4. pp. 34-37.

2. Muraveva E.A., Manko A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/7011](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/7011).

3. Spirin N.A., Lavrov V.V., Zaynullin L.A., Bondin A.R., Burykin A.A. Metody planirovaniya I obrabotki rezultatov eksperimenta [Methods of planning



and processing of engineering experiment results]. Ekaterinburg: UINC, LLC. 2015, p. 290.

4. Antonova A.S., Aksenov K.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №4 (part 2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466).

5. Kuzahmetova Ye.K., Shmelev V.A., Titov E.Yu, Kirillova N.Yu, Zaikina L.L. Metodicheskie rekomendacii po sposobam bestransheynoy prokladki trub dorozhnyh vodopropusknyh [Methodological recommendations on methods of trenchless laying of pipes of road culverts]. Moscow: FGBU Informavtodor. 2021. P. 96.

6. Kashkinbaev I. Z., Kashkinbaev T.I. Bestranshejnye tehnologii prokladki i renovacii truboprovodov [Trenchless pipeline laying and renovation technologies]: monografija. Almaty: Nur-Print, 2016. p.198.

7. Shepelevich M., Puzan A. Contemporary issues of concrete and reinforced concrete, 2019, №11, pp. 76-88.

8. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armeyskov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995).

9. Allouche E. N., Ariaratnam S.T., Lueke J.S. Journal of Construction Engineering and Management, 126(1). United States, 2000. pp. 68-76.

10. Korol E.A., Kharkin Y.A. Vestnik MGSU. 2010. №3. pp. 156-163.