

Разработка составов долговечных цементных композитов для люков смотровых колодцев

УДК 624.137

DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2025-13-4-C0021>

Номер статьи: C0021

Смирнова Ольга Михайловна

кандидат техн. наук, доцент,

Петербургский государственный университет путей сообщений Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия.

smirnovaolgam@rambler.ru

Статья получена: 04.11.2025. Одобрена: 04.12.2025. Опубликована онлайн: 25.12.2025. © РИОР

Аннотация. Разработаны составы фибробетонов для изготовления крышек люков смотровых колодцев, которые удовлетворяют требованиям нормативных документов. Определены предел прочности при сжатии, предел прочности на растяжение при изгибе, соответствующий при первой микротреции, удельная работа разрушения, деформационное упрочнение после образования первой микротреции, величина прогиба.

Ключевые слова: фибробетон, удельная работа разрушений, диаграмма деформирования, прочность на растяжение при изгибе

Engineering of compositions of durable cement fiber composites for manholes

Smirnova Olga Mikhailovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Saint Petersburg, Russia

smirnovaolgam@rambler.ru

Abstract. Fiber-reinforced concrete compositions have been developed for the manufacture of manhole covers for inspection wells that meet the requirements of regulatory documents. The compressive strength, the bending tensile strength corresponding to the first microcrack, the specific work of destruction, deformation hardening after the formation of the first microcrack, and the deflection value are determined.

Keywords: fiber-reinforced concrete, specific work of destruction, deformation diagram, flexural tensile strength

Обзор литературы и обоснование актуальности исследования

Люки смотровых колодцев и дождеприемники ливнесточных колодцев, как правило, изготавливают из серого или высокопрочного чугуна. Серые и высокопрочные чугуны используются в конструкциях, работающих на статическую нагрузку (колонны, фундаментальные плиты под фермы, балки, канализационные трубы, люки, задвижки). Следует отметить, что ГОСТ 3634 требует изготавливать конструкции, а именно крышки люков смотровых колодцев типов ЛМ (легкий малогабаритный) и Л (легкий) с минимальной номинальной нагрузкой не менее 15 кН. Такие люки разрешается использовать для

пешеходных зон. Для автостоянок номинальная нагрузка на такие конструкции составляет от 125 кН, для проезжей части от 250 кН.

Отсутствие расширенных требований в нормативных документах к выбору исходных компонентов для изготовления люков на основе композиционных материалов гидратационного твердения обуславливает необходимость проведения исследований в данном направлении.

Чугунные крышки необходимо менять: за первые 3 месяца 2024 года Водоканал заменил почти 400 поврежденных крышек люков¹. Кроме материального ущерба, открытый люк представляет опасность для пешеходов. Аналогичная ситуация существует и в других регионах России, отмечается значительное количество полученных травм от падений в открытые люки. Эта проблема требует решений, одним из которых может быть замена чугуна на композиционный материал с требуемыми свойствами, имеющий в своем составе цементный бетон, полимерную микрофибрю, чугунный ободок с прутьями, при необходимости стальную проволоку для армирования.

Анализ зарубежных информационных источников также подтверждает опыт использования цементных композитов в конструкциях люков для зон с высокими нагрузками, в том числе крышек люков. В европейской системе стандартов нормативные документы на материалы крышек люков были обновлены в 2015 году. Значительно расширен список материалов, которые можно использовать для получения крышек люков. Согласно EN-124 на основе цементного бетона можно изготавливать крышки люков, как для пешеходных зон, так и для зон с высочайшими нагрузками, например аэродромов. Согласно европейскому стандарту EN-124-4 «Крышки люков на основе армированного бетона» крышки можно изготавливать на основе армированного цементного бетона шести групп:

- A15 — для пешеходной зоны и велосипедных дорожек;
- B125 — для пешеходной зоны и парковок;
- C250 — для автодорог с небольшой нагрузкой;
- D400 — для автодорог с большой нагрузкой;
- E600 и F900 — для аэродромов.

Также в EN-124-4 отмечается, что необходимо разрабатывать новые цементные составы, которые могут быть объектами интеллектуальной собственности.

На сегодняшний день бетоны, дисперсноармированные микро- или макрофиброй на полимерной основе (далее фибробетоны), являются эффективными строительными материалами и начинают достаточно широко использоваться в транспортном и подземном строительстве, ремонте и усиlenии железобетонных конструкций [1-3]. Результаты экспериментальных работ по подбору вида и расхода полимерной фибры и цементного камня показывают повышение прочности на растяжение, ударной прочности, морозостойкости и истираемости фибробетона [4-6]. Таким образом, полученные результаты, доказывают возможность получения новых композиционных материалов с высокими эксплуатационными свойствами. Это позволяет использовать их в конструкциях люков и дождеприемников, которые нормативный документ EN-124-4 относит к группам A15 и B125.

Также следует отметить, что одним из преимуществ использования крышек люков на основе цементных композитов в пешеходной зоне является возможность создания декоративной поверхности, соответствующей выбранным архитектурным решениям.

В данной работе ставится цель разработать состав долговечного цементного композита для изготовления крышек люков смотровых колодцев типов ЛМ и Л. Выше рассмотрены основные технические требования к крышкам люков согласной действующим нормативным документам. Необходимо обосновать выбор композиционного материала с

¹ Глуз А. Водоканал заменил почти 400 поврежденных крышек люков с начала 2024 года // Вечерний Санкт-Петербург. 28.03.2024. URL: <https://vecherka-spb.ru/2024/03/28/vodokanal-zamenil-pochti-400-povrezhdennikh-krishek-lyukov-s-nachala-2024-goda>

требуемыми свойствами, имеющий в своем составе цементный бетон, полимерную микрофибру, установить корреляционные зависимости между составом фибробетона и значениями предела прочности на сжатие, на растяжение при изгибе, относительной деформации на растяжение при изгибе.

Результаты исследования

Для исследования свойств разработанных композитов, были приготовлены составы с расплывом конуса 130-186 мм (Таблица 1). Расплыв конуса определялся по ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения прочности при изгибе и сжатии». Образцы-балочки размером 4×4×16 см были изготовлены для испытания на прочность при изгибе и сжатии. Образцы твердели при $t=20^{\circ}\text{C}$ и 100% влажности воздуха и в возрасте 28 суток были испытаны на растяжение при изгибе и сжатие согласно ГОСТ 310.4-81. Исследование по определению механических свойств выполнено с помощью сервогидравлической системы MTS 816. Оборудование позволяет проводить испытания образцов на сжатие и на трехточечный изгиб. Три образца были испытаны для каждого состава в возрасте 28 дней. Расчет удельной работы разрушения был выполнен по ГОСТ 23020-78 как отношение площади под кривой деформирования к объему образца. Деформационное упрочнение после образования первой микротрешины определялось как разница между прочностью, соответствующей разрушению образца и прочностью, соответствующей первой микротрещине. Результаты испытаний образцов в виде диаграмм деформирования представлены на Рис. 1-2.

Таблица 1
Составы и свойства цементных фиброкомпозитов по объему

<i>Состав</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
ЦЕМ I 42.5	44,92	44,2
Указанный молотый кварцевый песок	10,63	10,65
Кварцевый песок фракции 0,06-2 мм	5,47	5,45
Песок речной с модулем крупности 1,9	-	-
Суперпластификатор MC PowerFlow 7951(5)	3,3	3,3
Добавка Петролафс	-	-
Полипропиленовое волокно	4,4	5,5
Вода	31,28	30,9
Плотность в возрасте 28 суток, кг/м ³	2120	2070
Предел прочности при сжатии, МПа	79,6	68,1
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа (при первой микротрещине)	7,93	5,81
Удельная работа разрушения, Дж/м ³	22200,4	23176,9
Деформационное упрочнение после образования первой микротрешины, МПа	0	0,64
Величина прогиба, мм	1,15	1,17

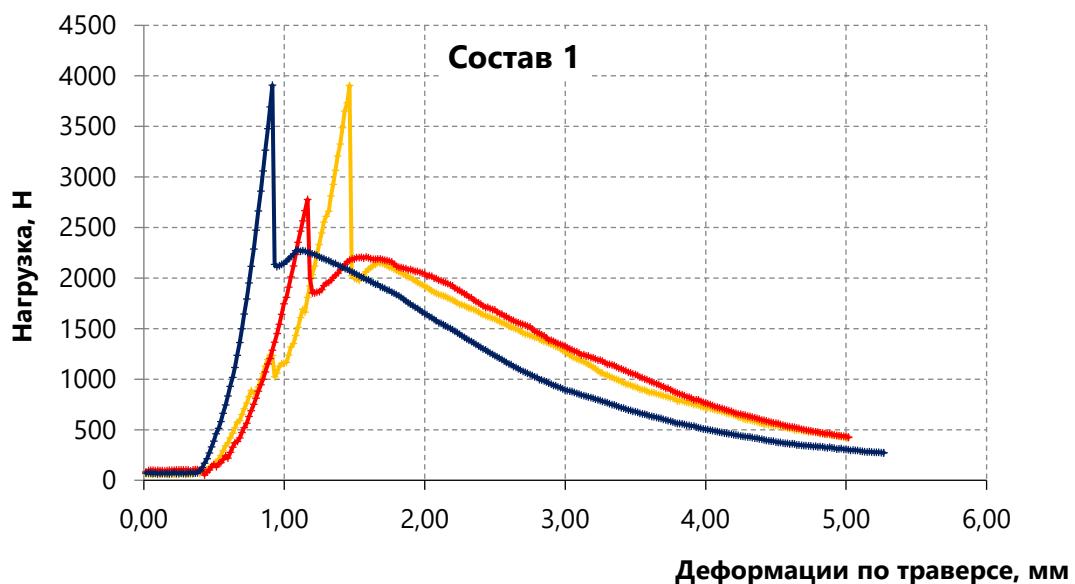


Рис. 1. Кривые деформирования трех образцов цементного композита с расходом полипропиленовой микрофибры в количестве 4.4% по объему

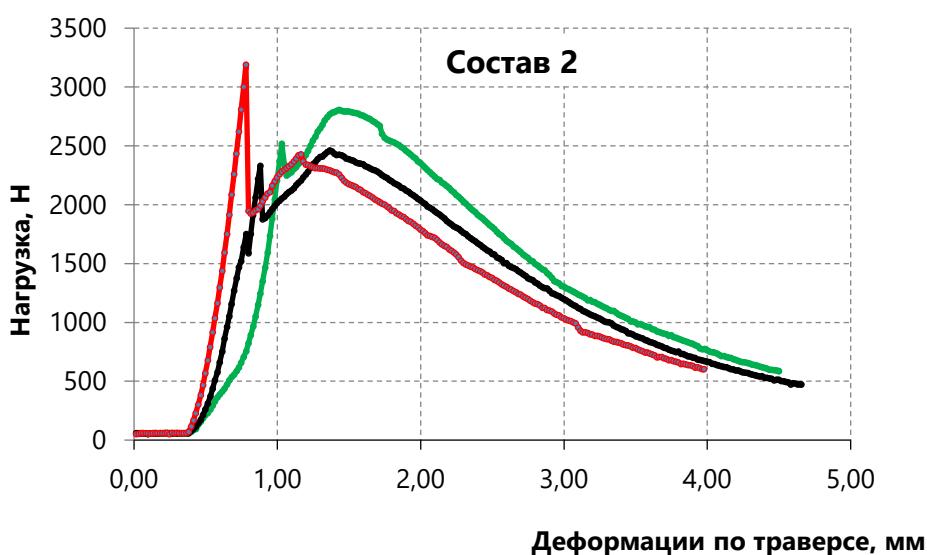


Рис. 2. Кривые деформирования трех образцов цементного композита с расходом полипропиленовой микрофибры в количестве 5.5% по объему

Результаты исследования разработанных фиброкомпозитов показывают, что по прочностным характеристикам они соответствуют требованиям нормативных документов для применения в конструкциях люков смотровых колодцев.

Высокая относительная деформация до 5% является результатом последовательного образования множественных, плотно расположенных микротрещин при возрастающем растягивающем напряжении. Такое поведение при растяжении достигается выполнением ряда микромеханических условий для образования микротрещин, их распространения и перекрывания фиброй [7-10]. Учитывая высокую деформационную способность композита, его можно применять не только в качестве основного материала в конструкциях, но и в качестве тонких упрочняющих слоев для ремонта и усиления существующих конструкций [11-13]. Наличие таких свойств фиброкомпозитов позволяет снижать материалоемкость и одновременно повышать надежность строительных конструкций или отдельных их элементов, работающих при растягивающем нагружении с различной скоростью, а также

использовать для ремонта бетонных конструкций благодаря технологичности нанесения свежеприготовленной растворной смеси.

Список литературы

1. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволочной фиброй, Academia. // Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 143-147.
2. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Анализ поведения фибробетона, армированного различными видами фибры, под нагрузкой // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году. Сборник научных трудов РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук. Москва, 2022. С. 358-363.
3. Uterov Y.B., Akhmetov D.A., Root Y.N., Yermuhanbet M.A. Reinforcement of self-compacting concrete with polypropylene fiber. // Bull. Civ. Eng. 2019. № 6. pp. 220-227
4. Smirnova O. M., Belentsov Y. A., Kharitonov A. M., Influence of polyolefin fibers on the strength and deformability properties of road pavement concrete // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2018.DOI: 10.1016/j.jtte.2017.12.004
5. Heravi A.A., Smirnova O., Mechtcherine V. Effect of strain rate and fiber type on tensile behavior of high-strength strain-hardening cement-based composites (HS-SHCC). // RILEM Bookseries. 2018. Т. 15. С. 266-274.
6. Смирнова О.М., Харитонов А.М. Прочностные и деформативные свойства фибробетона с макрофиброй на основе полиолефинов. // Строительные материалы. 2018. № 12. С. 44-49.
7. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И., Кострикин М.П. Совершенствование метода определения величины сцепления армирующих волокон с матрицей в фибробетоне. // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году. Сборник научных трудов РААСН: в 2 томах. Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). Москва, 2021. С. 208-216.
8. Ахметов Д.А., Пухаренко Ю.В., Роот Е.Н., Ахажанов С.Б. Влияние мелкодисперсных наполнителей из техногенных отходов и низкомодульного фиброволокна на удобоукладываемость самоуплотняющихся бетонов. // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 5 (88). С. 102-108.
9. Murali, G. et. al. Impact Resistance of Functionally Layered Two-Stage Fibrous Concrete. // Fibers. 2021. 9(12), 88.
10. Lesovik, V. et. al. 3D-Printed Mortars with Combined Steel and Polypropylene Fibers. // Fibers. 2021. 9(12), 79.
11. Lusis, V. et. al. Experimental Investigation and Modelling of the Layered Concrete with Different Concentration of Short Fibers in the Layers. // Fibers. 2021. 9(12), 76.
12. Enfedaque, A., Alberti, M. G., Gálvez, J. C., & Proaño, J. S.. Assessment of the Post-Cracking Fatigue Behavior of Steel and Polyolefin Fiber-Reinforced Concrete. // Materials. 2021. 14(22), 7087.
13. Abousnina, R. et. al. Mechanical Properties of Macro Polypropylene Fibre-Reinforced Concrete. // Polymers. 2021. 13(23), 4112.

References

1. Pukharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Diagrams of deformation of cement composites reinforced with steel wire fiber, Academia. // Architecture and construction. 2018. No. 2. pp. 143-147.
2. Pukharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Analysis of the behavior of fiber reinforced concrete reinforced with various types of fiber under load // Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Natural Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2021. Collection of scientific papers of the Russian Academy of Sciences. Russian Academy of Architecture and Building Sciences. Moscow, 2022. pp. 358-363.
3. Utegov Y.B., Akhmetov D.A., Root Y.N., Yermuhanbet M.A. Reinforcement of self-compacting concrete with polypropylene fiber. // Bull. Civ. Eng. 2019. № 6. pp. 220-227
4. Smirnova O. M., Belentsov Y. A., Kharitonov A. M., Influence of polyolefin fibers on the strength and deformability properties of road pavement concrete // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2018. DOI: 10.1016/j.jtte.2017.12.004
5. Heravi A.A., Smirnova O., Mechtcherine V. Effect of strain rate and fiber type on tensile behavior of high-strength strain-hardening cement-based composites (HS-SHCC). // RILEM Bookseries. 2018. T. 15. C. 266-274.
6. Smirnova O. M., Belentsov Y. A., Kharitonov A. M., Influence of polyolefin fibers on the strength and deformability properties of road pavement concrete / Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2018. (indexed in Scopus) DOI.org/10.1016/j.jtte.2017.12.004
7. Pukharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I., Kostrikin M.P. Improvement of the method for determining the adhesion of reinforcing fibers to the matrix in fiber-reinforced concrete. In the collection: Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Natural Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2020. Collection of scientific papers of the Russian Academy of Natural Sciences: in 2 volumes. The Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN). Moscow, 2021. pp. 208-216.
8. Akhmetov D.A., Pukharenko Yu.V., Root E.N., Akhazhanov S.B. The effect of fine fillers from man-made waste and low-modulus fibroblast on the workability of self-compacting concretes. Bulletin of Civil Engineers. 2021. No. 5 (88). pp. 102-108.
9. Murali, G. et. al. Impact Resistance of Functionally Layered Two-Stage Fibrous Concrete. // Fibers. 2021. 9(12), 88.
10. Lesovik, V. et. al. 3D-Printed Mortars with Combined Steel and Polypropylene Fibers. // Fibers. 2021. 9(12), 79.
11. Lusis, V. et. al. Experimental Investigation and Modelling of the Layered Concrete with Different Concentration of Short Fibers in the Layers. // Fibers. 2021. 9(12), 76.
12. Enfedaque, A., Alberti, M. G., Gálvez, J. C., & Proaño, J. S.. Assessment of the Post-Cracking Fatigue Behavior of Steel and Polyolefin Fiber-Reinforced Concrete. // Materials. 2021. 14(22), 7087.
13. Abousnina, R. et. al. Mechanical Properties of Macro Polypropylene Fibre-Reinforced Concrete. // Polymers. 2021. 13(23), 4112.