

Технология устройства полов на основе цементных растворов с модифицированными базальтовыми микроволокнами

Т.К. Сапрыкина

Оренбургский государственный университет

Аннотация: В статье представлен опыт и технология устройства полов производственных зданий на основе цементного раствора, содержащего модифицированную базальтовую микрофибру. Приведено конструктивное решение пола с покрытием, модифицированным базальтовой микрофиброй. Указаны технологические операции, произведенные на объекте. Предложен состав модифицированной растворной смеси, характеризующийся улучшенными физико-механическими характеристиками. Установлено, что предварительное механическое разделение микроволокон в суспензии с водой и пластификатором способствует более равномерному распределению фибр в объеме растворной смеси. Приведена схема организации рабочего места при укладке фиброармированной цементной растворной смеси в конструкцию покрытия пола. Установлено, что при введении модифицированных базальтовых микроволокон в цементную смесь снижаются усадочные деформации раствора, что способствует увеличению трещиностойкости цементного покрытия. Определены физико-механические характеристики модифицированного покрытия, такие как истираемость, прочность на сжатие и на растяжение при изгибе. Отмечено улучшение физико-механических характеристик модифицированного цементного раствора, что позволяет применять разработанные составы и технологию при устройстве полов в зданиях с повышенными механическими воздействиями.

Ключевые слова: монолитное покрытие, технология устройства, дисперсное армирование, бетон, модифицированная базальтовая микрофибра, фиброармированное покрытие, растворная смесь, полы производственных зданий.

В современной строительной практике монолитные напольные покрытия, выполненные на основе фиброармированных бетонов и растворов, демонстрируют устойчивую тенденцию к широкому распространению [1]. Ключевым фактором, обусловившим существенный прогресс в технологии дисперсно-армированных цементных композитов, является внедрение инновационных видов армирующих волокон [2].

Согласно результатам исследований [3], полы из сталефибробетона характеризуются улучшенными физико-механическими показателями, такими как истираемость, прочность на растяжение при изгибе, трещиностойкость и ударостойкость. Это обусловило накопленный опыт

применения различных видов стальных фибр при формировании подстилающих слоев и финишных покрытий в зданиях производственного назначения. Таким образом, применение дисперсно-армированных композитов при устройстве полов наилучшим образом реализуется в зданиях с повышенными эксплуатационными воздействиями на покрытие пола [4].

Известно также, что базальтовые армирующие волокна являются высокомодульными по отношению к матрице бетона. А, следовательно, также способны повысить прочность бетона на растяжение при изгибе [5]. Следует отметить, что максимальная эффективность свойств базальтовых волокон проявляется в снижении усадочных деформаций, оптимизации реологических параметров и улучшения технологичности бетонных и растворных смесей. Кроме того, применение дисперсного армирования позволяет отказаться от части арматурных работ, что в целом снижает трудоемкость устройства конструкций на их основе [6].

В течение последних двадцати лет наблюдается значительный прогресс в строительном материаловедении, обусловленный синергетическим эффектом применения нанотехнологий и принципов дисперсного армирования цементных матриц. Это открывает возможности для получения композитов с принципиально новыми, уникальными свойствами [7, 8].

Например, базальтовые или углеродные микроволокна, покрытые углеродными наночастицами (фуллероидами, нанотрубками и т.п.). Данные микроволокна выполняют функцию дисперсного заполнителя в цементных композитах, при этом поверхностная модификация углеродными наноматериалами способствует значительному уплотнению микроструктуры бетонов и растворов, а также улучшению их эксплуатационных характеристик [9].

Автором разработано новое технологическое решение устройства стяжек и покрытий полов на основе цементного раствора, дисперсно-

армированного базальтовой микрофиброй, поверхность которой покрыта углеродными наночастицами.

Анализ технологии устройства фиброармированных отделочных покрытий выявил, что ключевым аспектом успешного формирования структуры является обеспечение равномерной пространственной ориентации и распределения микроармирующих волокон в объеме растворной смеси [10].

Технология устройства монолитных покрытий цементных полов с добавкой модифицированной базальтовой микрофибры (далее МБМ) реализована автором на следующих объектах:

- реализация технологии по формированию износостойкого монолитного напольного покрытия на объекте промышленного назначения – гаражном комплексе Октябрьского РЭС ОАО «Оренбургэнерго», расположенного в пос. Октябрьский, г. Оренбург;
- комплекс работ по устройству технологического слоя пола (выравнивающей стяжки) в рамках проекта возведения многоэтажного жилого здания (трехэтажный дом) в Ленинском районе г. Оренбурга.

Общая площадь устройства напольного покрытия в гаражном помещении составила 1170 м². Конструктивное решение пола, детально представленное на рис. 1, предусматривало укладку слоя покрытия толщиной 40 мм, выполненного из цементного композита, модифицированного базальтовой микрофиброй. Покрытие укладывалось на бетонный подстилающий слой толщиной 200 мм.

Характеристики полученной растворной смеси соответствуют марке подвижности Пк4, средней плотности 2223-2231 кг/м³. При этом ее водоудерживающая способность составляет не менее 96%, а расслаиваемость не превышает 5%.

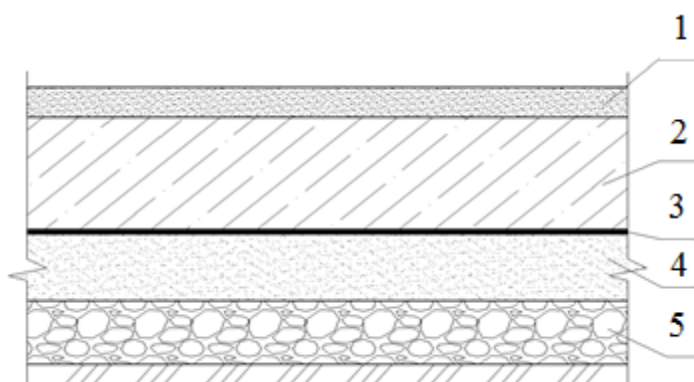


Рис.1. - Конструкция пола гаража

1 – монолитное цементно-песчаное покрытие с МБМ $t=40$ мм; 2 – бетонный подстилающий слой $t=200$ мм; 3 – гидроизоляция; 4 – песок $t=100$ мм;
5 – гравий $t=100$ мм

Состав модифицированной растворной смеси приведен в таблице № 1.

Таблица № 1

Рекомендуемый состав цементно-песчаного раствора
(расход материалов на 1 м^3 растворной смеси)

Цемент, кг	Песок, кг	Вода		Суперпласти- фикатор		МБМ	
		л	В/Ц	л	% от Ц	кг	% от Ц
442	1682	185	0,42	14,17	1	4,4	1

Материалы, использованные при устройстве полов, указаны в таблице № 2.

На объекте были последовательно реализованы следующие технологические этапы:

1. Определение высотных отметок пола посредством лазерного нивелирования;
2. Подготовка и механическое уплотнение грунтового основания;
3. Формирование несущего слоя из песчано-гравийной смеси;

4. Монтаж гидроизоляционного барьера;
5. Устройство бетонного подстилающего слоя;
6. Формирование монолитного цементно-песчаного покрытия, дисперсно армированного модифицированной базальтовой микрофиброй.

Таблица № 2

Материалы для исследования

Наименование материала	Марка, характеристика
Портландцемент	ЦЕМ I 42,5Н производства «Южно-Уральская горно-перерабатывающая компания»
Песок	модуль крупности $M_k = 2,81$, истинная плотность $\rho_{ист.} = 2500 \text{ кг/м}^3$, насыпная плотность $\rho_n = 1480 \text{ кг/м}^3$, содержание пылеватых и глинистых частиц 2,9 %, содержание глины в комках - 0,41 %
Пластифицирующая добавка	суперпластификатор «Штайнберг GROS-63МС» (ТУ 5745-008-69867132-2011)
Армирующие волокна	модифицированные базальтовые микроволокна производства ООО «НТЦ Прикладных нанотехнологий» (ТУ 5761-014-13800624-2004). Средний диаметр микроволокон $d = 8-10 \text{ мкм}$, длина $l = 500 \text{ мкм}$.

При устройстве цементного покрытия применялась разработанная автором технология приготовления модифицированной растворной смеси с предварительным разделением базальтовых микроволокон механическим методом [11]. Автором установлено, что предварительная обработка модифицированных микроволокон в суспензии, включающей часть объема воды затворения и суперпластификатор, способствует повышению прочностных характеристик цементного камня и улучшению его структурной однородности. Применение предложенной технологии привело к существенному снижению коэффициента вариации прочности: вариация прочности при сжатии уменьшилась с 12,3% до 6,5%, а прочности при изгибе – с 10,7% до 5,8%. Эти результаты подтверждают достижение более высокой

однородности качественных показателей раствора и оптимального распределения модифицированных базальтовых микроволокон (МБМ) по сравнению с традиционными методами приготовления. Предварительное разделение волокон проводится с помощью ультразвука, либо путем создания высоких градиентов скоростей компонентов в суспензии воды с микроволокнами.

Приготовление цементного раствора, модифицированного базальтовой микрофиброй, осуществлялось посредством турбулентного смесителя СБ-133А. Его компонентная структура представлена неподвижным цилиндрическим корпусом, лопастным ротором в нижней секции, электродвигателем и клиноременной передачей. Основные технические характеристики смесителя СБ-133А представлены в таблице № 3.

Таблица №3

Технические характеристики турбулентного смесителя СБ-133А

Характеристика	Значение
Вместимость по загрузке, л	100
Объем готового замеса, л	80
Частота вращения ротора, об/мин	500
Наибольшая крупность фракций заполнителя, мм	40
Мощность электродвигателя, кВт	4,0
Напряжение, В	380

Технологическая последовательность ввода компонентов растворной смеси включала: загрузку сухих компонентов (цемент, песок), введение первой порции воды затворения (70%), последующее добавление модифицированной базальтовой микрофибры, предварительно гомогенизированной в суспензии с суперпластификатором, дозирование остаточного объема воды затворения.

Модифицированная цементная растворная смесь доставлялась к месту укладки и распределялась механическим путем при помощи растворонасоса (рис. 2). Распределение смеси на поверхности производится последовательными продольными полосами (захватками) шириной 1,5–2 м, ограниченными заранее установленными маячными рейками, с соблюдением порядка укладки через одну.

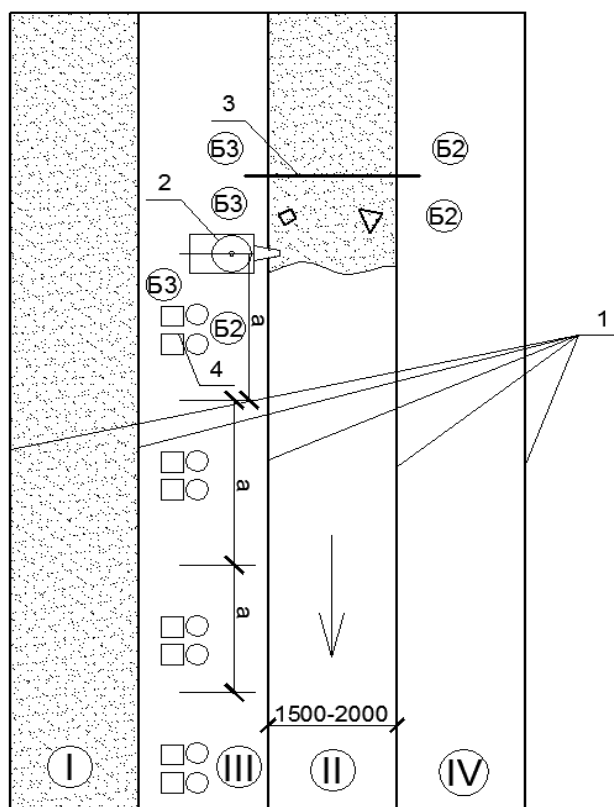


Рис. 2. - Организация рабочего места при укладке дисперсно-армированной растворной смеси механизированным способом

1 – маячные рейки; 2 – растворосмеситель; 3 – приемный бункер растворонасоса; 4 – растворонасос; 5 – растворовод; 6 – виброрейка;

7 - материалы для приготовления цементной растворной смеси;

I, II, III, IV - последовательность укладки растворной смеси в полосы;

а - расстояние между стоянками комплекта машин растворосмеситель-растворонасос; Б2, Б3, Б4 – бетонщики

Сразу после укладки готовое цементное покрытие подвергалось влажностному уходу на протяжении двух недель. Параллельно с

технологическими операциями по укладке растворной смеси формировались образцы-балки для оценки кинетики усадочных деформаций.

Эффективность модификации базальтовыми микроволокнами подтверждается снижением усадочных деформаций цементно-песчаного раствора на 56,2 %. Так, для раствора контрольного состава конечная величина деформации усадки составила $\varepsilon = 1,26$ мм/м, а модифицированного микроволокнами $\varepsilon = 0,53$ мм/м при содержании их в количестве 1 % от массы цемента.

Таким образом, доказано, что введение модифицированных микроволокон в состав цементной смеси является эффективным инструментом для минимизации усадочных деформаций раствора, что критически важно для улучшения эксплуатационной трещиностойкости напольного покрытия.

Физико-механические характеристики модифицированного цементного раствора определялись на кубических образцах размером 70,7x70,7x70,7 мм. Результаты испытаний образцов на истираемость графически представлены на рис. 3.

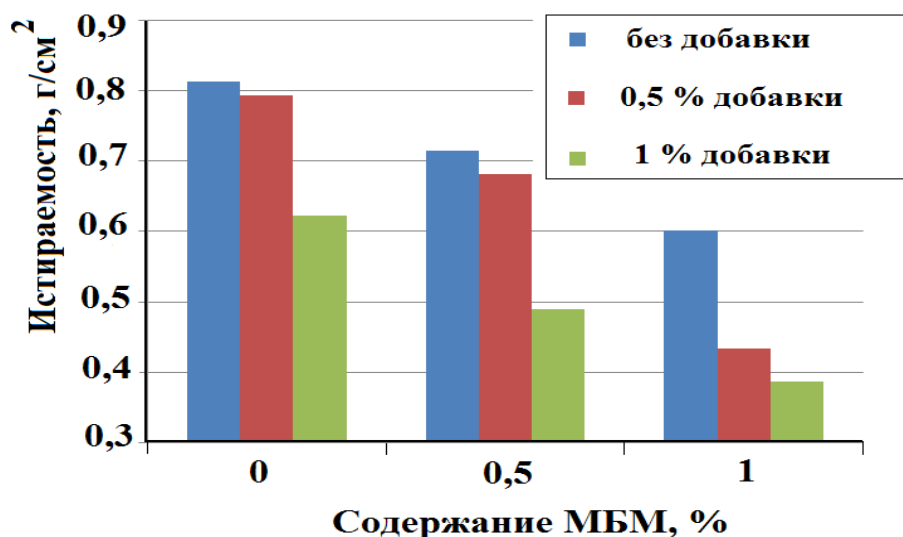


Рис. 3. - Результаты цементных испытаний образцов на истираемость с различным содержанием пластифицирующей добавки и МБМ

Истираемость модифицированного цементно-песчаного раствора, содержащего оптимальную концентрацию модифицированных базальтовых микроволокон (МБМ), составляет $0,4 \text{ г/см}^2$. В соответствии с требованиями СП 29.13330.2011, данный показатель позволяет классифицировать материал как износоустойчивый, что делает его пригодным для формирования покрытий полов в производственных помещениях, подверженных высоким механическим нагрузкам.

С целью определения фактических прочностных показателей после набора проектной прочности, были выбурены образцы цементного раствора. Установлено, что композит, армированный модифицированной базальтовой микрофиброй, характеризуется улучшенными прочностными свойствами. Так, прочность исследованных образцов на сжатие составила 38 МПа, а изгибная прочность – 7,6 МПа, что удовлетворяет требованиям СП 29.13330.2011.

После годичного периода эксплуатации состояние покрытия пола оценивается как удовлетворительное. При визуальном контроле не зафиксировано дефектов в виде макротрещин в конструкции и нарушения сцепления (расслоения) покрытия с основанием.

Таким образом, технология устройства покрытий полов на основе фиброармированных растворов является актуальным направлением, связанным с повышением эксплуатационной надежности стяжек и покрытий полов в зданиях с повышенными механическими воздействиями на конструкцию пола.

Согласно проведенным исследованиям и производственной апробации, имеется ряд преимуществ введения базальтовых волокон с поверхностью, модифицированной углеродными наночастицами. При условии предварительного разделения микроволокон и равномерного их распределения в объеме растворной смеси можно достичь существенного

повышения физико-механических характеристик цементного покрытия, а также повышения трещиностойкости, что значительно повышает долговечность конструкции. Кроме того, отсутствие арматурных работ позволяет снизить трудоемкость устройства цементного покрытия и снизить приведенные затраты на производство работ.

Литература

1. Белькова Н.А., Крюков Э.И., Ткачёва Д.А. Разработка составов фибробетона для устройства полов и стяжек // Химия, физика и механика материалов. 2019. № 3. С. 4–13.
2. Ключев С.В. К вопросу фибрового армирования бетонов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века 2018. №3-4. С. 42 –47.
3. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкция. М.: Издательство АСВ. 2011. 642 с.
4. Park J-J, Yoo D-Y, Kim S. Kim S-W. Benefits of synthetic fibers on the residual mechanical performance of UHPFRC after exposure to ISO standard fire. Construction and Building Materials. 2019. 104 p.
5. Ибэ Е.Е., Шibaева Г.Н., Артемьев Н.А. и др. Дисперсно-армированные бетоны на основе базальтового волокна // Инженерный вестник Дона. 2021. №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_34__1_Ibe_Shibaeva.pdf_067ff7f5d1.pdf
6. Кострикин М.П. Дисперсно армированные бетоны с применением синтетической макрофибры. Дис. ... канд. техн. наук. 2.1.5. СПб. 2022. 191 с.
7. Althoe F., Zaid O., Serbanoiu A.A. Properties of ultra-perfomance selfcompacting fiber-reinforced concrete modified with nanomaterials. Nanotechnology reviews. 2023. №1. URL: doi.org/10.1515/ntrev-2023-0118

8. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 6. С. 25-33.

9. Сарайкина, К.А. Наноструктурирование цементного камня при дисперсном армировании базальтовым волокном // Строительные материалы. 2015. № 2. С. 34-38.

10. Белова Т.К., Гурьева В.А., Турчанинов В.И. Исследование влияния дисперсного армирования модифицированным базальтовым микроволокном на прочностные свойства цементного раствора // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2883/

11. Белова Т.К., Гурьева В.А., Сулейманов Р.Д. Оренбургский государственный университет. Способ приготовления дисперсно-армированного строительного раствора для монолитных полов. Патент РФ №2617812 РФ. МПК C04B 40/00. № 2016100623. Заявл. 11.01.2016. Оpubл. 27.04.2017. Бюл. №12. URL: elibrary.ru/download/elibrary_38263383_97799661.pdf.

References

1. Bel'kova N.A., Kryukov E.I., Tkachyova D.A. Himiya, fizika i mekhanika materialov. 2019. № 3. Pp. 4–13.

2. Klyuev S.V. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2018. №3-4. Pp. 42 –47.

3. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstrukciya [Composites based on dispersion-reinforced concrete. Theory and design issues, technology, design]. M.: Izdatel'stvo ASV. 2011. 642 p.

4. Park J-J, Yoo D-Y, Kim S. Kim S-W. Benefits of synthetic fibers on the residual mechanical performance of UHPFRC after exposure to ISO standard fire. *Construction and Building Materials*. 2019. 104 p.
5. Ibe E.E., SHibaeva G.N., Artem'ev N.A. i dr. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2021. №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_34__1_Ibe_Shibaeva.pdf_067ff7f5d1.pdf
6. Kostrikin M.P. Dispersno armirovannye betony s primeneniem sinteticheskoy makrofibroy [Dispersed reinforced concretes using synthetic macrofiber]. Dis. ... kand. tekhn. nauk. 2.1.5. Spb. 2022. 191 p.
7. Althoey F., Zaid O., Serbanoiu A.A. *Nanotechnology reviews*. 2023. №1. URL: doi.org/10.1515/ntrev-2023-0118
8. Ponomarev A.N. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2009. № 6. Pp. 25-33.
9. Sarajkina, K.A. *Stroitel'nye materialy*. 2015. № 2. Pp. 34-38.
10. Belova T.K., Gur'eva V.A., Turchaninov V.I. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2015. № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2015/2883/
11. Belova T.K., Gur'eva V.A., Sulejmanov R.D. Orenburgskij gosudarstvennyj universitet. Sposob prigotovleniya dispersno-armirovannogo stroitel'nogo rastvora dlya monolitnyh polov [Method of preparing dispersed reinforced mortar for cast-in-situ floors]. Patent RF №2617812 RF. MPK S04V 40/00. № 2016100623. Zayavl. 11.01.2016. Opubl. 27.04.2017. Byul. №12. URL: elibrary.ru/download/elibrary_38263383_97799661.pdf.

Дата поступления: 6.12.2025

Дата публикации: 6.01.2026