

УДК 691.32:620.191.33

**В. А. Перфилов, О. П. Сидельникова, Д. А. Букин, Д. С. Пряничников**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ БУРОВЫХ ШЛАМОВ ДЛЯ БЕТОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

Рассмотрены технологии и разработаны составы бетонов с использованием буровых шламов, полимерной фибры и суперпластификаторов. Предложена технология приготовления бетонной смеси, основанная на предварительном перемешивании сухих компонентов в аппарате магнитного вихревого слоя. Отходы бурения скважин в виде шлама применялись в составе смеси для регулирования ее реологических свойств, а также для уменьшения расхода дорогостоящего суперпластификатора и утилизации промышленных отходов бурения. Введение в бетонную смесь полимерных фибровых волокон способствовало увеличению плотности, прочности и трещиностойкости благодаря армированию макроструктуры фибробетона. Полимерные волокна не уступают по прочности базальтовой фибре и отличаются высокой коррозионной стойкостью по отношению к отходам нефтегазовой отрасли.

**Ключевые слова:** буровые шламы, полимерная фибра, суперпластификатор, фибробетон, линейно-индукционные аппараты, прочность, морозостойкость.

### **Введение**

В процессе бурения скважин как на суше, так и на море образуется огромное количество бурового шлама, полученного в результате очистки бурового раствора. Анализируя химический и минералогический состав указанных отходов, установлена возможность их применения при производстве строительных материалов и изделий [1—4], в том числе сухих строительных смесей и бетонов [5].

В процессе строительства железобетонных оснований, фундаментов и других конструкций ответственных нефтегазовых сооружений (нефтегазохранилища, опоры надземных трубопроводов, обетонированные трубы, морские гравитационные нефтегазодобывающие платформы, газораспределительные пункты, нефтегазоперерабатывающие заводы и многие другие) необходимо применять высокопрочные, трещиностойкие, водостойкие и морозоустойчивые бетоны, обладающие длительными сроками службы [6—8]. Для получения бетонов с указанными свойствами, эксплуатируемыми в различных климатических районах, применяют многофункциональные модифицирующие добавки и фибровые макрополнители [9—11].

### **Основная часть**

При использовании комплексных модификаторов в составе бетонной смеси применяют современные технологические приемы, позволяющие небольшие объемы микродобавок и макрополнителей перемешивать, а иногда и дополнительно диспергировать, для получения сравнительно однородной смеси [12]. В результате использования данных технологий значительно улучшаются физико-механические свойства получаемого бетона и повышается срок его службы в конструкции.

Известны сухие строительные смеси, состоящие из цемента, песка, пластификатора и бокситового шлака, а также микрокремнезема. Приготовление

таких смесей осуществлялось после предварительного дробления шламового отхода по стандартной технологии путем перемешивания в обычном смесителе гравитационного действия. Однако приготовленные по этой технологии смеси не отличались высокими показателями прочности, трещиностойкости и долговечности.

В целях повышения плотности и однородности растворных и бетонных смесей наиболее эффективной может считаться технология приготовления путем механоактивации сухих компонентов смеси [13—15].

Для повышения активации процессов перемешивания и диспергирования цемента и кварцевого песка наиболее эффективным является аппарат вихревого слоя, например линейный индукционный вращатель («ЛИВ») или электромагнитный аппарат вихревого слоя [15], в рабочей камере которого создается переменное магнитное поле (рис. 1).



Рис. 1. Лабораторный линейно-индукционный вращатель «ЛИВ» с рабочей камерой

Находящиеся в объеме индукционного аппарата «ЛИВ» ферромагнитные тела (металлические стержни диаметром 1...1,5 мм и длиной 8...15 мм) под электромагнитным воздействием задаваемой частоты совершают, соударяясь между собой и с частицами обрабатываемого материала, вибрационные движения, способствующие интенсивному перемешиванию и диспергированию. В результате кратковременного (30...240 с) вихревого электромагнитного и механического воздействий ферромагнитных рабочих тел происходит интенсивная гомогенизация и тонкое измельчение смеси.

Для снижения водопотребности смеси перед началом работы аппарата вихревого слоя необходимо вводить пластифицирующие добавки, которые адсорбируются на поверхности твердых частиц смеси, препятствуя их срастанию и увеличивая смачивающий эффект за счет уменьшения сил поверхностного натяжения воды.

Благодаря использованию электромагнитной и сопутствующей ей механической обработки значительно изменяются физико-химические свойства полученной сухой цементно-песчаной смеси. В частности, повышается реакционная

способность цемента за счет его более тонкого измельчения в смеси с тонкомолотым песком. Это приводит к упрочнению структуры затвердевшего мелкозернистого бетона при снижении расхода дорогостоящего вяжущего.

Для реализации процесса наиболее эффективной является величина магнитной индукции, равная  $0,1 \dots 0,2$  Тл, а время, затрачиваемое на технологию обработки смеси в рабочей камере аппарата, не превышает  $3 \dots 4$  мин в зависимости от вида материала и заданной удельной поверхности частиц.

Например, известна технология электромагнитной обработки бетона с использованием в качестве наполнителей металлических фибровых волокон, которые использовались в виде ферромагнитных частиц в агрегатах вихревого действия.

Однако после перемешивания сухой смеси в указанных линейно-индукционных аппаратах дальнейшее перемешивание всех составляющих смеси с водой осуществлялось в стандартном смесителе гравитационного действия. При этом полученные после магнитной обработки адсорбционные связи цемента с фибровыми волокнами в процессе перемешивания в смесителе частично разрушались, что в конечном итоге отрицательным образом сказывалось на механических свойствах затвердевшего бетона. Поэтому данная проблема требует дальнейших научных исследований.

#### **Экспериментальные исследования**

Для развития данного направления при приготовлении растворов и бетонных смесей был произведен подбор составов и установлены технологические параметры установки по механоактивации сухих смесей в линейно-индукционном вращателе.

Основным вяжущим компонентом бетонной смеси был выбран портландцемент ЗАО «Осколцемент» марки ЦЕМ I 42,5 Н.

В качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок, имеющий модуль крупности 2,1.

Для регулирования реологических свойств смеси, а также для снижения ее водопотребности применяли суперпластифицирующую добавку «СП-3».

С целью увеличения показателей прочности бетона на растяжение при изгибе, а также для уменьшения усадки и повышения трещиностойкости бетона в смесь вводили фибровые наполнители, которые способствуют уплотнению макроструктуры бетонов.

Для разрабатываемых бетонов были использованы фибровые волокна из полипропиленовой фибры (рис. 2) [16—18].

Диаметр полимерных волокон составляет  $20 \dots 50$  мкм, длина находится в пределах  $3 \dots 18$  мм, предел прочности на разрыв — не менее 350 МПа, а модуль упругости достигает 3000 МПа.

Выбор указанного происхождения фибровых волокон связан с их высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред, в частности нефтяных масел и других вредных веществ, встречающихся в процессе эксплуатации нефтегазового сооружения. По плотности и прочности указанные полимерные волокна не уступают широко используемым базальтовым наполнителям.

Отходы бурения скважин в виде шлама применялись в составе смеси для регулирования ее реологических свойств, а также для уменьшения расхода дорогостоящего суперпластификатора и утилизации промышленных отходов бурения.



Рис. 2. Фибра полипропиленовая, выпускаемая ООО «Си Айрлайд» по ТУ 2272-006-13429727-2007

Перед использованием в бетонной смеси буровые шламы подвергали сушке в специальной камере при температуре до 150 °С в течение 24 ч для удаления физически связанной воды.

Затем производилось измельчение высушенного кускового бурового шлама в порошок до размера частиц не более 0,6 мм.

Шламовые отходы вводились в бетонную смесь вместе с суперпластификатором «СП-3» в соотношении 1 : 1.

Количественные соотношения компонентов в виде модификаторов и макронаполнителей представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Расходы модифицирующих добавок и фибровых полимерных волокон*

Составляющее смеси	Расход, % от массы цемента		
	1	2	3
1. Суперпластификатор «СП-3»	0,4	0,5	0,6
2. Буровые шламовые отходы	0,4	0,5	0,6
3. Полимерная фибра, кг/м <sup>3</sup>	1,0	1,2	1,4

Смешивание компонентов смеси осуществлялось по приведенной ниже технологии.

Первоначально приготавливалась сухая смесь цемента и кварцевого песка в соотношении 1 : 3 с добавлением полимерной фибры и шлама в электроиндукционном аппарате с показателем частоты 50 Гц и параметром индуктивности 0,25 Тл в течение 2 мин.

Затем в приготовленную и активированную сухую смесь вводили воду затворения, в которой растворяли суперпластифицирующую добавку «СП-3». Перемешивание производили в течение 3...4 мин до получения однородной гомогенизированной массы.

Для определения реологических и прочностных характеристик фибробетонов изготавливали стандартные образцы в виде балочек размером 40 × 40 × 160 мм (рис. 3). При этом коэффициент линейного температурного расширения фиксировали на третьи сутки после изготовления бетона. После

окончательного набора прочности образцов в возрасте 28 сут были произведены испытания, результаты которых представлены в табл. 2.



Рис. 3. Образцы бетона с применением полипропиленовой фибры

Т а б л и ц а 2

*Физико-механические свойства разработанных составов бетонов*

Подвижность раствора, см	Плотность раствора, кг/м <sup>3</sup>	Линейное расширение, %	Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность бетона, МПа	
				Изгиб	Сжатие
2...3	2264	1,0	2200	7,3	61,5
2...3	2289	1,1	2280	8,5	72,4
4...5	2290	1,2	2274	7,6	67,6

### **Выводы**

Анализ результатов испытаний показал, что образцы, изготовленные по технологии с применением электромагнитной индукции, имели увеличение показателей прочности на 45...50 % по сравнению с контрольными образцами тех же составов, изготовленными по стандартной технологии.

Наилучшие показатели прочности были получены у состава 2, в котором расход полимерной фибры не должен превышать 1,2 кг/м<sup>3</sup>, а расход суперпластификатора и буровых шламовых отходов является оптимальным при дозировке 0,5 % от массы цемента.

Таким образом, применение в составе мелкозернистого бетона суперпластифицирующей добавки, буровых шламовых отходов и полипропиленовой фибры в указанных количествах способствовало повышению однородности и плотности смеси и, соответственно, увеличению прочностных характеристик затвердевшего бетона.

Учитывая высокие показатели пределов прочности образцов при изгибе (до 8,5 МПа), предлагаемые составы фибробетонной смеси, имеющие высокие параметры трещиностойкости, могут быть использованы в тонкостенных конструкциях объектов нефтегазовой отрасли.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность кафедре «Технология строительного производства» ИАиС ВолгГТУ за предоставление лабораторного оборудования в виде лабораторного линейного индукционного вращателя («ЛИВ») для проведения исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Орешкин Д. В., Чеботаев А. Н., Перфилов В. А.* Disposal of drilling sludge in the production of building materials // *Procedia Engineering*. Vol. 111. XXIV R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP) (TFoCE 2015) : proceedings / Ed. by S. Jemiolo, M. Gajewski, M. Krzeminski. Elsevier publishing, 2015. Pp. 607—611.
2. *Перфилов В. А., Тищенко М. А., Джабраилов Ю. Г.* Утилизация отходов бурения в строительные материалы // *Инженер. вестн. Дона*. 2025. № 7. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n7y2025/10226](http://ivdon.ru/magazine/archive/n7y2025/10226).
3. *Борисов А. А.* О возможности использования дисперсных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах // *Строительные материалы*. 2004. № 8. С. 39—39.
4. *Xiao J., Lu D., Ying J.* Durability of recycled aggregate concrete: an overview // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2013. Vol. 11. Iss. 12. Pp. 347—359.
5. *Гурьева В. А., Белова Т. К.* Свойства цементных растворов, дисперсно-армированных модифицированным микроволокном // *Вестн. Оренбург. гос. ун-та*. 2015. № 13. С. 124—127.
6. *Ushakov V. V.* Report on the research work “Study of frost resistance of road fiber cements.” Moscow : Progress center llc., 2016. P. 10.
7. *Sadovskaya E. A., Leonovich S. N.* Optimization of composition of nanofiber concrete in terms of fracture toughness by matrix modification // *Nauka i Tehnika = Science and Technique*. 2021. Vol. 21. Iss. 6. Pp. 499—503. DOI: 10.21122/2227-1031-2022-21-6-499-503.
8. Влияние различных видов фибры на физико-механические свойства центрифугированного бетона / *Е. М. Щербань, С. А. Стельмах, М. П. Нажуев, А. С. Насевич, В. Е. Гераськина, А. У. Пошев* // *Вестн. Евразийской науки*. 2018. № 6. 10 с.
9. *Seydibeyoglu M. O., Mohanty A. K., Misra M.* Fiber technology for fiber-reinforced composites // *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*. Cambridge : Woodhead Publishing, 2017. 336 p. DOI: 10.1016/C2015-0-05497-1.
10. *Седых С. А.* Фибробетон перспективы современного строительства // *Colloquium-journal*. 2023. № 14(173). С. 16—21.
11. *Kazhimkanuly D., Chernavin V.* Experimental study on physical-mechanical characteristics of steel fiber reinforced concrete with worn rope fibers // *Technobius*. 2023. Vol. 3. Iss. 1. 5 p. DOI: 10.54355/tbus/3.1.2023.0035.
12. *Ляшенко Д. А., Перфилов В. А.* Наномодифицированная цементная композиция // *Вестн. МГСУ*. 2024. № 19(7). С. 1116—1124. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1116-1124.
13. *Пименов С. И., Ибрагимов Р. А.* Влияние механической активации цементной суспензии на физико-технические свойства цементных композиций // *Фундаментальные основы строительного материаловедения : сб. докл. Междунар. онлайн-конгр. Белгород : Белгор. гос. технол. ун-т, 2017. С. 797—805.*
14. *Ибрагимов Р. А., Королев Е. В.* Интенсификация процессов гидратации при механоактивации вяжущего // *Фундаментальные основы строительного материаловедения : сб. докл. Междунар. онлайн-конгр. Белгород : Белгор. гос. технол. ун-т, 2017. С. 806—808.*
15. Эффективность активации минеральных вяжущих в аппаратах вихревого слоя / *Р. А. Ибрагимов, Е. В. Королев, Р. А. Каюмов, Т. Р. Дебердеев, В. В. Лексин, А. Спринце* // *Инженер.-строит. журн.* 2018. № 6(82). С. 191—198.
16. *Hajmohammadian Baghba M., Hashemi S. A. H., Kalbasi Anaraki K., Hashemi E. S.* Influence of polypropylene-fiber on the mechanical properties of self-compacting-concrete with recycled aggregates // *Magazine of Civil Engineering* 2020. Vol. 99. Iss. 7. Art. no. 9905. 14 p.
17. *Dehong Wang, Yanzhong Ju, Hao Shen, Libin Xu.* Mechanical properties of high performance concrete reinforced with basalt fiber and polypropylene fiber // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 197. Pp. 464—473.
18. *Abed F., Alhafiz A. R.* Effect of basalt fibers on the flexural behavior of concrete beams reinforced with CFRP bars // *Composite Structures*. 2019. Vol. 215. Pp. 23—34. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.02.050.

© *Перфилов В. А., Сидельникова О. П., Букин Д. А., Пряничников Д. С., 2026*

*Поступила в редакцию  
04.12.2025*

*Ссылка для цитирования:*

*Перфилов В. А., Сидельникова О. П., Букин Д. А., Пряничников Д. С.* Применение буровых шламов для бетонирования объектов нефтегазовой отрасли // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 1(102). С. 134—140. DOI: 10.35211/18154360\_2026\_1\_134.

*Об авторах:*

**Перфилов Владимир Александрович** — д-р техн. наук, проф., зав. каф. морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; vladimirperfilov@mail.ru

**Сидельникова Ольга Петровна** — д-р техн. наук, проф. каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; sidelnikova-volg@mail.ru

**Букин Дмитрий Андреевич** — магистрант каф. морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; caf\_ngs@mail.ru

**Пряничников Денис Сергеевич** — магистрант каф. морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; mtr507@mail.ru

**Vladimir A. Perfilov, Olga P. Sidelnikova, Dmitry A. Bukin, Denis S. Pryanichnikov**

**Volgograd State Technical University**

## THE USE OF DRILLING MUD FOR CONCRETING OIL AND GAS INDUSTRY FACILITIES

Technologies are considered and concrete compositions using drilling mud, polymer fiber and superplasticizers are developed. A technology for the preparation of a concrete mixture based on the preliminary mixing of dry components in a magnetic vortex layer apparatus is proposed. Drilling waste in the form of sludge was used in the mixture to regulate its rheological properties, as well as to reduce the consumption of expensive superplasticizer and the disposal of industrial drilling waste. The introduction of polymer fiber fibers into the concrete mix contributed to an increase in density, strength and crack resistance due to reinforcement of the macrostructure of fibrocrete. Polymer fibers are not inferior in strength to basalt fiber and are highly corrosion resistant to waste from the oil and gas industry.

**Key words:** drilling mud, polymer fiber, superplasticizer, fiber concrete, linear induction devices, strength, frost resistance.

*For citation:*

Perfilov V. A., Sidelnikova O. P., Bukin D. A., Pryanichnikov D. S. [The use of drilling mud for concreting oil and gas industry facilities]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 1, pp. 134—140. DOI: 10.35211/18154360\_2026\_1\_134.

*About authors:*

**Vladimir A. Perfilov** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; vladimirperfilov@mail.ru

**Olga P. Sidelnikova** — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; sidelnikova-volg@mail.ru

**Dmitry A. Bukin** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; caf\_ngs@mail.ru

**Denis S. Pryanichnikov** — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; mtr507@mail.ru