

Бетон для строительства подводных нефтегазовых сооружений

В.А. Перфилов, В.В. Габова, С.В. Лукьяница
Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Приведены результаты разработки составов и технологии их приготовления для применения в конструкциях морских гравитационных нефтегазодобывающих платформ и подводных нефтегазопроводов. Обоснована эффективность применения базальтовых фибровых волокон, пластифицирующей добавки «Sika ViscoCrete 5-800» и сажевых отходов теплоэлектростанций при изготовлении мелкозернистых бетонов. В результате проведенных экспериментов определены прочностные характеристики фибробетонов в зависимости от количества вводимого суперпластификатора и сажевых отходов при использовании равноподвижных смесей. Показано увеличение показателей прочности на сжатие и изгиб образцов, модифицированных базальтовой фиброй, суперпластификатором и производственными отходами, что способствует увеличению эксплуатационных характеристик нефтегазовых морских сооружений за счет повышения параметров морозостойкости и водонепроницаемости материалов конструкций.

Ключевые слова: нефтегазовые сооружения, фибробетонная смесь, суперпластификатор, базальтовая фибра, сажевые отходы, прочность.

В настоящее время большими темпами развивается нефтегазодобыча на море. Для строительства морских нефтегазовых сооружений проектируются конструкции, работающие в агрессивных условиях воздействия воды, льда, течений и других факторов. Добыча полезных ископаемых в таких экстремальных условиях требует более тщательного подбора материалов, имеющих высокую механическую прочность, а также морозостойкость, водонепроницаемость и долговечность.

Наиболее распространенным материалом, применяемым в подводных нефтегазовых сооружениях, является железобетон. В частности, массивные гравитационные морские платформы имеют железобетонное основание, которое на большие глубины погружено в агрессивную соленую воду. При прокладке подводных нефтегазопроводов на морское дно для предотвращения всплытия наружная поверхность трубы покрывается тонким слоем мелкозернистого бетона, который также должен обладать высокой прочностью и водонепроницаемостью.

Поэтому для строительства указанных и других подводных нефтегазовых сооружений необходимо использование плотных, прочных, морозостойких и водонепроницаемых железобетонных конструкций, стойких к агрессивной морской воде.

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяет бетон с использованием макроупрочнителей в виде различных фибровых волокон [1-3], а также введением модифицирующих добавок, упрочняющих микроструктуру бетона. Применение металлической фибры в бетоны [4-6] не может быть оправданным ввиду наличия агрессивной морской среды. Поэтому наибольшую эффективность может показать использование базальтовой фибры, обладающей высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Фибровые волокна способствуют макроупрочнению материала конструкции, тем самым снижают расход металлической арматуры, позволяют уменьшить толщину конструкции и сократить трудоемкость ее изготовления [7,8]. Однако введение базальтовых фибровых волокон способствует некоторому ухудшению подвижности бетонной смеси, что необходимо компенсировать применением пластифицирующих добавок.

Технология возведения оснований железобетонных гравитационных морских нефтегазодобывающих платформ включает подачу бетона в опалубку с применением бетононасосов с телескопической цилиндрической распределительной стрелой диаметром около 200 мм. Для транспортировки бетонной смеси на большие расстояния в ограниченном пространстве бетоновода используются подвижные или литые бетонные смеси с осадкой конуса до 12 см. При этом для получения бетонов заданной проектной прочности значения водоцементного отношения не должны превышать 0,5-0,6. Поэтому приготовление подвижных бетонных смесей без использования высокоэффективных пластифицирующих добавок невозможно.

Для достижения поставленной задачи в ходе проведенных исследований были разработаны составы мелкозернистых бетонных смесей и технологии их приготовления для последующего применения в подводных морских нефтегазовых сооружениях. Подбор составов фибробетонных смесей с модифицирующими добавками производился с помощью компьютерного моделирования [9].

Экспериментальные исследования производили с применением фибровых базальтовых волокон длиной 12 мм и диаметром 10 мкм в соответствии с требованиями ТУ 5769-004-80104765-2008. В ходе проведенных ранее экспериментальных исследованиях был определен наиболее оптимальный расход базальтового заполнителя в бетонной смеси равный 1,4 кг/м³.

Связующим компонентом бетонной смеси был портландцемент марки ПЦ М500 Д0-Н производства ЗАО «Осколцемент».

В качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок Оленьевского и Орловского карьеров с модулем крупности 2,2.

Для увеличения смачиваемости (подвижности) бетонной смеси без повышения расхода воды затворения были использованы суперпластификаторы. Предварительно были исследованы свойства нескольких видов суперпластификаторов с учетом их стоимости и доступности [10]. Наилучшие показатели по подвижности фибробетонной смеси и прочности затвердевших бетонов были получены в результате применения добавок «Полипласт СП-3» и «Sika ViscoCrete 5-800».

Дополнительно в состав фибробетонной смеси вводили сажевые отходы теплостанций, размер частиц которых не превышал 5 мкм. Введение этой добавки способствовало увеличению подвижности смеси при снижении количества воды затворения, а также экономии дорогостоящих суперпластифицирующих добавок.

Экспериментальные исследования по определению оптимальных составов фибробетонных смесей проводили на основе цементно-песчаной смеси состава Ц: П=1:2 с последующим изготовлением стандартных образцов размером 40x40x160 мм.

Технология приготовления фибробетонной смеси с учетом специфических свойств некоторых компонентов осуществлялась в следующей последовательности.

Предварительно взвешенные компоненты сухой смеси, включающей портландцемент, кварцевый песок и базальтовую фибру, перемешивались в лабораторной бетономешалке в течение 2-3 минут.

Сухой порошок сажевых отходов вводили в воду затворения вместе с суперпластифицирующей добавкой и подвергали обработке с частотой до 26 кГц в ультразвуковом диспергаторе. В результате полученный практически однородный активный раствор подавался в бетоносмеситель с перемешанными сухими компонентами. Длительность перемешивания смеси составляла 1-3 минуты.

Изготовление стандартных образцов производилось на лабораторной виброплощадке. Образцы разных составов подбирались по принципу равной подвижности. По окончании формования образцы хранились во влажной среде при температуре 22-25 °С и влажности 90-100 %.

По истечении 28 суток проводились испытания образцов на сжатие и изгиб с использованием гидравлического пресса.

В результате проведенных экспериментальных исследований определены оптимальные сочетания расходов суперпластификатора «Sika ViscoCrete 5-800» и сажевых отходов для получения фибробетонов с максимальной прочностью (см. табл.).

Анализ результатов испытаний показал, что максимальной прочностью на сжатие и изгиб обладают фибробетоны, имеющие в своем составе 0,5 %

суперпластифицирующей добавки «Sika ViscoCrete 5-800» и 0,5 % сажевых отходов от массы цемента.

Таблица

Влияние суперпластификаторов и сажевых отходов на свойства фибробетона

№ состава	Суперпластификатор «Sika ViscoCrete 5-800», % от массы цемента	Сажевые отходы, % от массы цемента	Распływ стандартного конуса, мм	Прочность, МПа	
				изгиб	сжатие
1	0	0	107	2,5	40,6
2	0.25	0,75	106	3,6	45,1
3	0.3	0,7	106	4,8	51,2
4	0.35	0,65	107	5,2	57,4
5	0.5	0,5	108	5,8	62,7
6	0,75	0,25	109	5,7	62,1
7	1,0	0	110	5,6	60,4

Показатели прочности образцов фибробетона с указанными количествами добавок по сравнению с образцами бетона, не имеющими добавок, при испытании на сжатие увеличились на 54 %, а на изгиб – более чем в 2 раза.

Микроструктура полученных образцов фибробетона с использованием суперпластификатора и сажевых отходов характеризуется высокой плотностью и прочностью за счет более плотного скрепления зерен цемента, фибровых волокон и мелкого заполнителя.

Были проведены дополнительные испытания полученных образцов фибробетона на морозостойкость и водонепроницаемость. По результатам экспериментов на морозостойкость с помощью прибора «Бетон-фрост» оптимальный состав фибробетона показал 400 циклов попеременного замораживания и оттаивания. При этом марка фибробетона по водонепроницаемости, определенная прибором «АГАМА-2Р», составила W12.

Таким образом, в процессе проведенных научных исследований установлено, что введение суперпластифицирующей добавки в сочетании с

сажевыми отходами способствует улучшению физико-механических свойств фибробетона, а также увеличению эксплуатационных характеристик нефтегазовых морских сооружений за счет повышения параметров морозостойкости и водонепроницаемости материалов конструкций.

Литература

1. Маилян, Л.Р., Налимова, А.В., Маилян, А.Л., Айвазян, Э.С. Челночная технология изготовления фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/714
2. Маилян, Л.Р., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Расчетная оценка прочностных и деформативных характеристик и диаграмм деформирования фибробетонов с агрегированным распределением волокон // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1760
3. Маилян, Л.Р., Маилян, А.Л., Макарычев, К.В. Конструктивные пено- и фибропенобетоны на воде с пониженной температурой затворения // Инженерный вестник Дона, 2012, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/736
4. Working with steel fiber reinforced concrete // Concrete Construction. – 1985. –Vol. 30. – pp. 5 -10.
5. Bentur A, Mindess S. Fiber reinforced cementitious composites. Elsevier Applied Science. London & New York, 1990. pp. 348—351.
6. Антропова Е.А., Дробышевский Б.А., Бялик Б.Ф., Мазур В.Н. Способ приготовления модифицированной сталефибробетонной смеси и модифицированная сталефибробетонная смесь // Патент на изобретение № 2214986, опубл. 27.10.2003 г.
7. Вахмистров А.И., Морозов В.И., Пухаренко Ю.В., Дмитриев А.Н., Магдеев У.Х. Эффективные фиброармированные материалы и изделия для

строительства. // Промышленное и гражданское строительство, 2007. - № 10. –с.43-44.

8. Перфилов В.А. Мелкозернистые фибробетоны. Монография. Министерство образования и науки Российской Федерации. Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. 126 с.

9. Перфилов В.А., Митяев С.П. Расчет фибробетона с нанодобавкой // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009612195, от 29.4.2009 г.

10. Перфилов В.А., Зубова М.О. Влияние суперпластификаторов на свойства фибробетонов / Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Серия: Политематическая - 2015. № 1 (37). С.11.

References

1. Mailyan, L.R., Nalimova, A.V., Mailyan, A.L., Ajvazyan, E`S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/714

2. Mailyan, L.R., Mailyan A.L., Ajvazyan E`S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1760

3. Mailyan, L.R., Mailyan, A.L., Makary`chev, K.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/736

4. Working with steel fiber reinforced concrete. Concrete Construction, 1985, Vol. 30. pp. 5 -10.

5. Bentur A., Mindess S. Elsevier Applied Science. London & New York, 1990. pp. 348—351.

6. Antropova E.A., Droby`shevskij B.A., Byalik B.F., Mazur V.N. Sposob prigotovleniya modifitsirovannoj stalefibrobetonnoj smesi i modifitsirovannaya stalefibrobetonnaya smes` [Method of preparation of modified steel-fiber concrete



mixture and modified steel-fiber concrete mixture]. Patent na izobretenie № 2214986, opubl. 27.10.2003 g.

7. Vaxmistrov A.I., Morozov V.I., Puxarenko Yu.V., Dmitriev A.N., Magdeev U.X. Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo, 2007, № 10. pp. 43-44.

8. Perfilov V.A. Melkozernisty`e fibrobetony` [Fine-Grained fiber concrete]. Monografiya. Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii. Volgogradskij gosudarstvenny`j arxitekturno-stroitel`ny`j universitet. Volgograd: VolgGASU, 2015. 126 p.

9. Perfilov V.A., Mityaev S.P. Raschet fibrobetona s nanodobavkoj [Calculation of fiber concrete with nano-additive]. Svidetel`stvo o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM № 2009612195, ot 29.4.2009 g.

10. Perfilov V.A., Zubova M.O. Internet-Vestnik VolgGASU. Seriya: Politematichekaya, 2015. № 1 (37). p.11.