

Мелкозернистый бетон для строительства железобетонного корпуса резервуара на морской гравитационной платформе

В.А. Перфилов, И.Т. Кузнецов, В.Н. Харченко

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: В статье в качестве объекта исследований выбран плавучий завод сжиженного природного газа, располагаемый на морской гравитационной платформе в Мурманской области. Представлены результаты по разработке и подбору оптимальных составов бетонов с применением фибровых наполнителей и модифицирующих добавок. Выполнен комплекс работ по определению влияния базальтовых фибровых волокон, а также пластифицирующих добавок на структуру и прочность мелкозернистых фибробетонов. Показаны их преимущества и предложены к применению в конструкциях корпусов резервуаров и других объектов на морской гравитационной платформе.

Ключевые слова: фибробетон, резервуары газохранилищ, гравитационная платформа, фибра базальтовая, суперпластификатор.

В настоящее время актуальным является строительство заводов по переработке сжиженного природного газа (СПГ), а также систем его хранения и отгрузке [1,2]. В качестве объекта строительства выбран завод по производству, хранению и отгрузке (СПГ) стабильного газового конденсата (СГТ), располагаемый на морской плавучей гравитационной платформе по проекту «Арктик СПГ 2». Объем СПГ, который может быть содержимым одного основания гравитационного типа (ОГТ), равен 229000 м³. Хранение СПГ осуществляется с использованием двух одинаковых резервуаров мембранного типа, каждый из которых вмещает 114500 м³. Изготовление трех ОГТ ведется в Центре строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС), построенном в районе с. Белокаменка, Кольский район Мурманской области.

Для изготовления железобетонного корпуса изолированного резервуара мембранного типа [3], располагаемого на морской гравитационной платформе, необходимо использовать высокоэффективные тяжелые бетоны, обладающие высокой плотностью и прочностью, большой морозо- и

водостойкостью, коррозионной стойкостью к внешним агрессивным воздействиям.

Для достижения этих параметров наиболее пригодными являются фибробетоны с различным видом стальных, базальтовых, полимерных или стеклянных волокон [4-6]. Применение в качестве наполнителей фибровых элементов позволяет значительно увеличить прочность бетона на действие растягивающих нагрузок. Также использование фибр способствует пространственному армированию железобетонной конструкции, что позволит отказаться от некоторого количества применяемых дорогостоящих металлических арматурных каркасов [7,8]. В то же время, значительно возрастают показатели трещиностойкости и, в конечном итоге, увеличивается долговечность бетона в конструкции резервуаров.

В данном случае при строительстве резервуаров СПГ на морской гравитационной платформе целесообразно применять мелкозернистые фибробетоны с использованием базальтовых наполнителей. Эти наполнители способствуют значительному упрочнению структуры бетона и улучшают другие физико-механические свойства, а также отличаются высокой стойкостью по отношению к воде, морозу и химически агрессивным факторам, в особенности, к щелочной среде. Также указанные фибровые наполнители, наряду с хорошей адгезией к вяжущему (цементу), высоким модулем упругости, характеризуются сравнительно невысокой массой и стоимостью по сравнению с металлическими фибровыми волокнами.

Для получения мелкозернистых фибробетонов с указанными свойствами был осуществлен подбор оптимальных составов смесей.

В качестве основного связующего компонента применялся портландцемент ПЦ 500-Д0 Оскольского цементного завода.

В качестве пространственно упрочняющего компонента бетона применялись фибровые волокна диаметром 12-15 мкм и длиной 8-10 мм в количестве 1,4 кг/м³ смеси.

Упрочнение макроструктуры фибробетона происходит за счет хорошей адгезии волокон к частицам цементного вяжущего и образования в процессе твердения достаточно крупных «армированных» минеральных новообразований в бетоне.

Помимо упрочнения макроструктуры фибробетона необходимо увеличить прочность микроструктуры цементного камня за счет использования модифицирующих добавок [9,10]. Для этого был применен известный сравнительно недорогой суперпластификатор «СП-3». Применение данного суперпластификатора дало возможность значительно увеличить подвижность бетонной смеси при сравнительно небольших значениях водоцементного отношения, что, в конечном итоге, способствовало получению затвердевшего бетона повышенной плотности, прочности и морозостойкости.

На основании подобранного состава фибробетонной смеси можно сделать предварительное заключение о том, что применение базальтовых фибровых наполнителей на макроуровне и модифицирующих добавок в виде суперпластификатора, способствующего формированию микроструктуры, в случае рационально подобранной технологии распределения компонентов смеси, приведет к уплотнению всей структуры бетона, улучшению его физико-механических характеристик.

Для получения бетона с улучшенными свойствами необходимо использовать эффективные технологические приемы приготовления смеси.

Эффективное перемешивание суперпластификаторе в воде затворения осуществлялось с помощью ультразвукового диспергатора с частотой 22 кГц в течение 2 минут.

Сухие компоненты смеси из цемента, кварцевого песка и заполнителей из фибровых волокон перемешивались в обычном смесителе принудительного действия в течение 3-4 минут.

После получения предварительно раздельно перемешанных компонентов смеси производилось их совместное смешивание в бетоносмесителе в течение 4-5 минут до образования однородной смеси.

Для определения физико-механических свойств фибробетона из приготовленной смеси изготавливались стандартные образцы в виде балочек размером 4×4×16 см. В результате, для проведения испытаний были отобраны 3 оптимальных состава фибробетонной смеси. Перед проведением испытаний образцы подвергались твердению в естественных условиях в течение 28 суток.

По окончании твердения и набора бетоном максимальной прочности, были проведены испытания образцов по показателям прочности на сжатие и изгиб, а также испытания на морозостойкость.

Подобранные составы смеси и полученные в результате испытаний свойства затвердевшего фибробетона представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Составы фибробетонной смеси

Предлагаемые подобранные составы	Расход компонентов, масс. %:		
	1	2	3
Цемент	30	32	34
Мелкий заполнитель (кварцевый песок)	54	55	56
Наполнитель из базальтовой фибры	0,07	0,09	0,11
Суперпластификатор «СП-3»	0,12	0,16	0,18
Вода затворения	15,81	12,75	9,71

Таблица 2

Свойства фибробетона

Номер состава	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Показатель морозостойкости
1	50,34	6,0	300
2	55,08	6,8	365
3	56,16	7,1	400
Сравниваемый контрольный состав [11]	38-40,5	6,5-7,2	295-315

В результате анализа полученных данных испытаний образцов установлено, что применение в качестве наполнителя фибровых волокон и суперпластифицирующей добавки, приготовленной с помощью ультразвукового диспергатора, способствовало возрастанию предела прочности на сжатие на 22 - 35 % (составы 1-3), а предела прочности на изгиб – на 30 – 37 % (составы 1-3) по сравнению с контрольным составом [11].

Испытания на морозостойкость также показали повышение количества циклов попеременного замораживания и оттаивания образцов из предлагаемых составов фибробетонной смеси. В частности, марка по морозостойкости у разработанных составов составляет 300 – 400 циклов, а морозостойкость сравниваемых образцов не превышает 300 циклов. Параметр водонепроницаемости достиг марки W 12, что является достаточно высоким показателем для гидротехнических сооружений.

Таким образом, полученные экспериментальные данные по прочности и морозостойкости подобранных составов мелкозернистых фибробетонов показали, что использование фибровых волокон способствует улучшению физико-механических свойств бетонов. Более того, за счет фибрового армирования значительно снижаются расходы на арматурные сетки и

каркасы, используемые в конструкции корпуса резервуаров и других сооружений гравитационной морской платформы, что способствует снижению трудовых и финансовых затрат на строительство.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на повышение прочностных и иных характеристик бетонов за счет совершенствования их структуры на наноуровне.

Литература

1. Федорова Е.Б.. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011 – 159 с.
2. Ханухов Х.М., Четвертухин Н.В., Алипов А.В., Симонов И.И., Коломыцев А.В., Чернобров А.Р.. Инновационные решения систем хранения сжиженного природного газа. // Научно-технический сборник – Вестник газовой науки, 2020 № 1(42) С.103-109. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n12y2022/8045.
3. Иванцова С.Г. Анализ технических решений при изготовлении и строительстве мембранных изотермических резервуаров сжиженного природного газа. // Журнал «Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья», 2018 № 2. С. 44-48.
4. Перфилов В.А. Мелкозернистые фибробетоны. Монография. Министерство образования и науки Российской Федерации. Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. 126 с.
5. Перфилов В.А., Габова В.В., Лукьяница С.В. Бетон для строительства подводных нефтегазовых сооружений // Инженерный вестник Дона. - 2020. - № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673.

6. 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
7. Working with steel fiber reinforced concrete // Concrete Construction. – 1985. –Vol. 30. – pp. 5 -10.
8. Bentur A., Mindess S. Fiber reinforced cementitious composites. Elsevier Applied Science. London & New York, 1990. pp. 348—351.
9. Мащенко К.Г. Модификаторы – шаг к повышению качества бетонов и растворов. // Строительные материалы, 2004 - № 6. –с.62-63.
10. Юдович М.Е., Пономарев А.Н., Гареев С.И. Поверхностно-активные свойства модифицированных пластификаторов. // Строительные материалы, 2008 - № 3. –с.44-45.
11. Кондрашов Г.М., Гольдштейн Б.М., Леонченко В.А. Бетонная смесь // Патент на изобретение №2288198, бюллетень «Изобретения. Полезные модели» № 33, опубл. 27.11.2006 г. 4 с.

References

1. Fedorova E.B. Sovremennoe sostoyanie i razvitie mirovoj industrii szhizhennogo prirodno go gaza [The current state and development of the global liquefied natural gas industry]. RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina, 2011, 159 p.
 2. Hanuhov H.M., SHetvertuhin N.V., Alipov A.V., Simonov I.I., Kolomycev A.V., SHernobrov A.R.. Nauchno-tekhnicheskij sbornik. Vestnik gazovoj nauki, 2020 № 1(42), pp.103-109.
 3. Ivancova S.G. ZHurnal «Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodno go syr'ya», 2018, № 2. pp. 44-48.
-



4. 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.
5. Perfilov V.A., Gabova V.V., Luk'yanica S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673.
6. Mailyan, L.R., Nalimova, A.V., Mailyan, A.L., Ajvazyan, E.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/714
7. Working with steel fiber reinforced concrete. Concrete Construction. 1985. Vol. 30. pp. 5 -10.
8. Bentur A., Mindess S. Elsevier Applied Science. London & New York, 1990. pp. 348—351.
9. Mashchenko K.G. Stroitel'nye materialy, 2004 № 6. p.62-63.
10. Yudovich M.E., Ponomarev A.N., Gareev S.I. Stroitel'nye materialy, 2008 № 3. pp.44-45.
11. Kondrashov G. M, Gol'dshtejn B. M., Leonchenko V. A. Betonnaya smes' [Concrete mix]. Patent na izobretenie № 2288198, byulleten' «Izobreteniya. Poleznye modeli» № 33, opubl. 27.11.2006 g. 4p.

Дата поступления: 30.09.2024

Дата публикации: 8.11.2024