

Кузнецов Михаил Сергеевич,

к.т.н.

Уральский федеральный университет,

Нижнетагильский технологический институт (филиал) УрФУ,

Россия, Нижний Тагил

ПРОБЛЕМА ОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИБРЫ В СТАЛЕФИБРОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Аннотация. Автор анализирует исследования сталефибробетона как одного из самых популярных строительных материалов последних десятилетий. Для исследования проблемы однородности бетонной смеси и распределения фибры в ней, автор провел ряд экспериментов (с разным процентным содержанием фибры в матрице), которые описываются в статье и провел анализ итоговых данных, представленных в таблице и выводах. Автор обосновывает необходимость учета консистенции смеси для различных механизмов, приспособлений и их реальные технологические параметры.

Ключевые слова: сталефибробетон, матрица, фибра, однородность распределения фибры, прочность, трещиностойкость.

Сталефибробетон стал в последние десятилетия одним из основных строительных материалов. Такие качества сталефибробетона, как трещиностойкость, повышенная вязкость разрушения, повышенная прочность на растяжение и изгиб гарантировали этому строительному материалу массовое применение в различных сферах: в монолитных и сборных конструкциях, в различных сооружениях гидротехнического и транспортного назначения [1].

Проблема распределения дисперсной арматуры и ее однородность – это параметр, на который оказывает влияние ряд факторов (качество цемента, качество и количество фибры, состав смеси и т.п.), имеет значительное влияние, ибо неравномерность распределения фибры

приводит к существенному снижению главных свойств сталефибробетона и к снижению его эффективности. Чтобы определить степень однородности бетонной смеси при уплотнении был проведен ряд исследований и экспериментов: сталефибробетонную смесь (изначально взвешенную) укладывали в прибор (прикрепленный прижимными механизмами к виброплощадке) и подвергали уплотнению (по требованиям ГОСТ 10181) [2]. После окончания процесса вибрирования поверхность смеси выравняли, снимали верхнее кольцо, собирали сталефибробетонную смесь на сито (№0,63 стандартного набора). Остатки щебня и фибры (отмытые на сите) просушивали при температуре 150°C полтора часа. Затем постоянным магнитом фибру собирали и взвешивали с точностью до 0,1 г.

Абсолютной степенью однородности сталефибробетонной смеси считали отношение $O_{ср}$ разности между ожидаемым расчетным количеством фибры m_p и фактическим ее содержанием в кольце m_f к ожидаемому расчетному количеству фибры (выраженное в процентах) по формуле:

$$O_{ср} = \frac{(m_p - m_f) \cdot 100\%}{m_p}, \quad (1)$$

где $O_{ср}$ – разность между ожидаемым расчетным количеством фибры и фактическим ее содержанием;

m_p – ожидаемое расчетное количество фибры;

m_f – фактическое содержание фибры.

Определив абсолютную степень однородности, находили относительную степень однородности сталефибробетонной смеси, т.е. степень однородности смеси каждого кольца по отношению к нижнему. Неоднородной (расслаиваемой) считали ту сталефибробетонную смесь, степень однородности которой отличалась более, чем на 10% от расчетной. Результаты испытания приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1. Исследование однородности бетонной смеси

№ п/п	№ кольца	Высота цилиндра, см	Объем цилиндра, см ³	Объем колес, см ³ *	Масса бетонной смеси в приборе, кг	Объемная масса бетонной смеси, кг/л	Ожидаемая расчетная масса фибры в цилиндре, г	Фактическая масса фибры, г	Степень однородности смеси в цилиндре, %	Степень однородности смеси кольца по отношению к нижнему, %
1	1	6,0	4028,5	136	9,22	2,38	161,7	175,7	+8,70	+7,13
	2	5,9		5,5			159,1	157,3	-1,13	-4,23
	3	5,8		134			156,4	161,0	+4,80	0
				2,8						
				132						
				0,2						
Итого:							477,2	494,0	+4,19	
2	1	6,0	4028,5	136	9,38	2,43	161,7	153,3	-5,19	-6,23
	2	5,9		5,5			159,1	148,5	-6,60	-9,17
	3	5,8		134			156,4	161,5	+4,50	0
				2,8						
				132						
				0,2						
Итого:							477,2	463,3	+2,93	
3	1	6,0	4028,5	136	9,30	2,41	161,7	175,6	+8,60	+8,43
	2	5,9		5,5			159,1	169,9	+6,8	+5,13
	3	5,8		134			156,4	161,6	+3,30	0
				2,8						
				132						
				0,2						
Итого:							477,2	507,1	+6,13	

По результатам экспериментов, отраженным в таблице 1, можно сделать вывод, что приготовленные в обычных смесителях сталефибробетонные смеси с содержанием фибры до 1,5% с В/Ц до 0,5 обладают достаточной однородностью. В проведенных исследованиях степень однородности смеси в цилиндре не превышала 6%, хотя степень однородности в целом по кольцам находилась в пределах 7-9%.

Основные параметры механизмов и приспособлений формовочного цеха определяются в значительной мере консистенцией бетонной смеси [4]. Несоответствие пластической прочности смеси усилиям, возникающим при формировании, распалубке, отделке, транспортировании, пропаривании вызывает дефекты в изделиях, увеличивает трудоемкость их изготовления и монтажа. При назначении консистенции смеси необходимо учитывать реальные технологические параметры механизмов [5], приспособлений и их соответствие технологическим свойствам бетонной смеси с целью получения бетонных изделий заданных свойств и формы при наименьших затратах.

Была разработана система показателей механических свойств структурированных дисперсных систем, необходимых для полного описания этих свойств: модулей упругости, вязкости, граничных напряжений (деформация до разрушения структуры, после разрушения структуры), пределов текучести, прочности структуры. Таким образом, качество сталефибробетонной смеси можно выразить через ее подвижность, жесткость, степень уплотнения, упруго-пластические и физико-механические характеристики. Жесткость смеси в ходе исследований определялась по методике, изложенной в ГОСТ 10181, где точность определения жесткости сталефибробетонной смеси составляет $\pm 10\%$. Результаты исследований представлены в таблице 1.

С технологической точки зрения свойства, характеризующие бетонную смесь [6], могут быть определены понятиями реологии и физико-химической механики. Сталефибробетонная смесь [7] как реологическое тело относится к грубодисперсным гетерогенным системам и состоит трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. 75-80% общего объема бетонной смеси занято твердой фазой (заполнители, вяжущее, арматура), 20-25% - жидкой фазой (вода) и от нескольких долей процента до нескольких процентов занято газообразной фазой (воздух) [8].

Подводя итоги, отметим, что однородность распределения фибры в сталефибробетоне играет значительную роль [9,10] для улучшения таких качественных характеристик данного строительного материала, как прочность, пластичность, трещиностойкость и др. Неоднородность распределения фибры снизит качественный потенциал сталефибробетона через уменьшение трещиностойкости, долговечности и общей прочности возводимого сооружения или конструкции. Сталефибробетон в последние десятилетия увеличивает свою популярность и ареал использования. При учете значимого фактора однородности распределения фибры появляется возможность расширить границы использования этого строительного материала и точнее выполнять технические задания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хегай А.О., Кирилин Н.М., Хегай Т.С., Хегай О.Н. Экспериментальные исследования деформативных свойств сталефибробетона повышенных классов / Вестник гражданских инженеров. 2020. № 6(83). С. 77-82. – DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-6-77-82.
2. ГОСТ 10181-81. Смеси бетонные. Методы испытаний.
3. Кузнецов М.С. Совершенствование методики расчета сталефибробетонных безнапорных водопропускных труб, изготовленных методом центрифугирования. Диссертация на соискание степени канд. техн. наук: 05.23.01 Екатеринбург. 2007. 166 с. РГБ ОД, 61:07-5/2285
4. Московский С.В., Носков А.С., Руднов В.С., Алехин В.Н. Влияние дисперсного армирования на деформационно-прочностные свойства бетона // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2016. №3 (30). С. 67-71.

5. Моргун Л.В., Нагорский В.В., Моргун В.Н. Влияние энергетического потенциала фибры на структуру и свойства пенобетонов, изготавливаемых по одностадийной технологии // Строительные материалы. 2025. №5. С.68–72. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2025-835-5-68-72>
6. Wang, Yu. Mechanical Properties and Development of Steel Fiber, Polypropylene Fiber and Steel-Polypropylene Fiber Concrete Structures / Highlights in Science, Engineering and Technology. 2023. Vol. 75. P. 234-239. DOI 10.54097/x0x1qz54.
7. Пухаренко, Ю.В., Аубакирова И.У. Наномодифицированный сталефибробетон для мостовых конструкций // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. Т. 3. № 4. С. 13-20.
8. Татарина Р. Е. Сталефибробетон: особенности применения / Наука, образование и культура. 2017. №9 (24). С.15-17.
9. Щербина А.Ю., Весова Л.М. Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса /Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Ч.1. Волгоград: ВолгГТУ. 2021. С. 245-249.
10. Чеботарев, Е. А. Дунаенко А. В., Акбердиев А. М., Покивцова Я. А. Сталефибробетон как материал для строительных конструкций // Современные методы и инновации в науке: Сборник статей XXVI всероссийской (национальной) научной конференции, Санкт-Петербург. Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ. 2024. С. 29-30.