

**Напряженно-деформированное состояние
сталефибробетонных промышленных полов**

Володин А.Ю.

(Научный руководитель – Рак Н.А.)

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Полом называется строительная конструкция, на которой осуществляется весь производственный процесс и жизнедеятельность людей и от состояния которой зависит качество производимой продукции или здоровье людей. Расходы на устройство пола доходят до 20 % стоимости возведения одноэтажных зданий, а расход бетона на полы – до 40-50 % общего расхода бетона. В связи с этим при выборе конструкции пола, помимо удовлетворения технологических и экологических требований, следует уделять особое внимание снижению материалоемкости, уменьшению трудоемкости и повышению долговечности конструкции пола. Одним из наиболее эффективных направлений в решении этой проблемы является применение полов из дисперсно-армированного бетона.

Дисперсно-армированные бетоны являются одним из перспективных конструкционных материалов. Такие бетоны представляют одну из разновидностей обширного класса композитных материалов, которые в настоящее время все более широко применяются в различных отраслях промышленности. Дисперсное армирование осуществляется волокнами-фибрами, равномерно рассредоточенными в объеме бетонной матрицы. Для этого используются различные виды металлических и неметаллических волокон минерального или органического происхождения. Отсюда следует название – фиброармированный бетон или, в зависимости от вида используемых волокон, – сталефибробетон, стеклофибробетон и т.д.

Конструктивная идея сталефибробетона состоит в армировании бетонной матрицы хаотически расположенными стальными волокнами (фибрами). В случае отсутствия стальной фибры микротрещины, по мере их накопления, превращаются в макротрещины и приводят к разрушению бетона или потере таких свойств, как водонепроницаемость, морозостойкость, стойкость к агрессивным воздействиям и т.д. Если же в бетоне присутствуют стальные волокна, то

появляющиеся микротрещины перекрываются ими, а хаотическое распределение волокон позволяет перекрывать микротрещины, развивающиеся в любых направлениях.

Как и в традиционно армированных структурах, упрочнение волокнами основывается на предположении, что материал бетонной матрицы передает волокнам приложенную нагрузку посредством касательных сил, действующих по поверхности раздела, и, если модуль волокна больше модуля матрицы, то основную долю приложенных напряжений воспринимают волокна, а общая прочность композиции пропорциональна их объемному содержанию.

Методами дисперсного армирования предусматриваются возможности получения направленной и произвольной (свободной) ориентации волокон в объеме бетона. Направленная ориентация реализуется главным образом при использовании непрерывных нитей, жгутов, различного рода тканых и нетканых сеток, разреженных тканей и других аналогичных материалов. Подобный вид ориентации может быть также осуществлен при армировании бетона короткими волокнами, в частности стальными фибрами при формовании изделий, например, в магнитном поле.

При расчете промышленные полы из сталефибробетона рассматриваются как бесконечные плиты на упругом основании. Модель упругого основания выбирается проектировщиком: модель Винклера, модель Пастернака, модель упругого полупространства и др.

В моей диссертации на соискание степени магистра технических наук сталефибробетонные плиты на упругом основании рассчитаны согласно методам, приведенным в четырех источниках: [3], [4], [5], [6].

Методы расчета, приведенные в [3] и [5], основаны на упругом расчете. Усилия в плитах определяются статическим расчетом согласно принятой модели упругого основания. При определении несущей способности плит в расчет вводятся увеличенные значения прочности бетона на сжатие и растяжение. Увеличение прочностей обусловлено введением в бетон стальных фибр.

Метод, предлагаемый в [6], основан на пластическом расчете. Метод применим к плитам, обладающим достаточной вязкостью, т.е. содержащим количество стальной фибровой арматуры, способное обеспечить адекватную работу плиты в стадии после образования трещин.

Метод, описанный в [4], учитывает нелинейную работу плиты введением в расчет пластического момента сопротивления сечения. Фибровое армирование учитывается аналогично [5].

Результаты теоретических расчетов сравнивались с результатами испытаний сталефибробетонных плит на упругом основании, проведенных за рубежом: в университете Thames Polytechnic (Лондон, Великобритания), в университете Брешии (Италия). Испытанные образцы представляли собой сталефибробетонные плиты размерами $3000 \times 3000 \times 150$ мм. Упругое основание Винклера моделировалось неопреновыми прокладками (рисунок 1). Коэффициенты постели основания изменялись в пределах от $0,005 \text{ Н/мм}^3$ до $0,05 \text{ Н/мм}^3$. Нагрузка на плиты передавалась через площадку размером 100×100 мм.

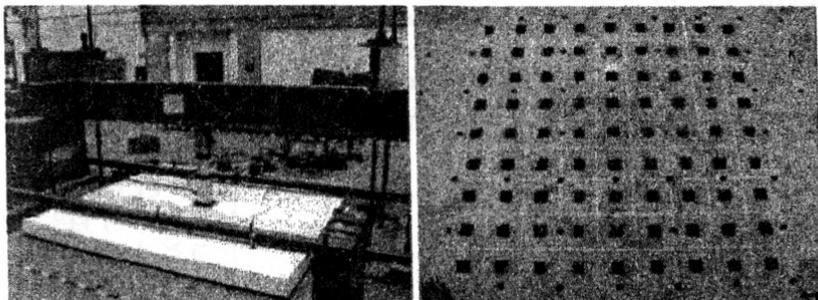


Рисунок 1. Общий вид испытательного стенда (слева) и неопреновые прокладки, моделирующие упругое основание Винклера (справа) (университет Брешии)

Предельная нагрузка фиксировалась в момент достижения трещинами края плиты. В стадии разрушения происходит изменение расчётной схемы плиты: вместо схемы бесконечной гибкой плиты, с нагрузкой, действующей на достаточном удалении от края, происходит переход к полу- и четвертьбесконечной схеме, с образованием «консольных» участков и возникновением отрицательных изгибающих моментов вблизи трещин (рисунок 2).

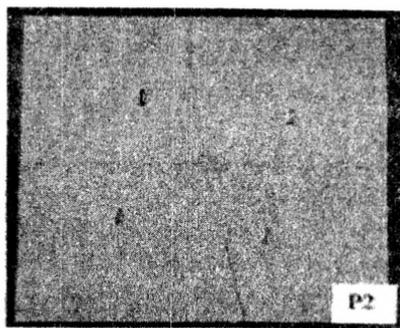
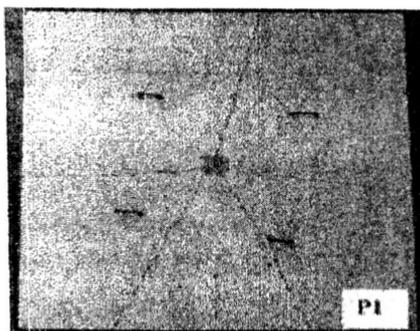


Рисунок 2. Картина образования трещин в сталефибробетонных плитах от действия сосредоточенной нагрузки

Результаты испытаний и теоретического расчета двух образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные и теоретические результаты

№ образца	Теоретическое значение разрушающей нагрузки				Экспериментальное значение разрушающей нагрузки	Расхождение результатов			
	по СП 52-104-2006 "Сталефибробетонные конструкции"	по Рекомендациям Р1.03.054-2009	по TR 34	по СП 29.13330.2011 "Полы"		по СП 52-104-2006 "Сталефибробетонные конструкции"	по Рекомендациям Р1.03.054-2009	по TR 34	по СП 29.13330.2011 "Полы"
	кН	кН	кН	кН	кН	%	%	%	%
1	34,51	87,30	161,81	127,20	147,00	-42,51	-40,61	10,07	-13,47
2	94,39	93,17	191,95	142,26	154,00	-38,71	-39,50	24,64	-7,62

Расчет по источникам [3] и [5] дал заниженные результаты. На мой взгляд, это произошло потому, что упругий расчет применим к сталефибробетонным плитам лишь до момента образования трещин. После этого момента наступает стадия нелинейной работы материала, отличающаяся от работы бетона или железобетона. Технический отчет [6] предлагает иную методику расчета сталефибро-

бетонных полов, нелинейную. Влияние фибрового армирования учитывается введением коэффициента прочности $R_{e,3}$, зависящего от типа фибры и ее содержания в бетоне-матрице, а предел прочности определяется как функция максимальных положительного и отрицательного изгибающих моментов в плите пола.

Я считаю, что существующие методы расчета сталефибробетонных конструкций требуют дальнейшего уточнения и совершенствования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов-Посадов М.И., Маликова, Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1973.
2. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография – М.: Издательство АСВ, 2004. – 560 с.
3. Рекомендации по проектированию и изготовлению строительных сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением стальной фибры БМЗ Р1.03.054-2009.
4. СП 29.13330.2011. Полы. Актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88.
5. СП 52-104-2006. Сталефибробетонные конструкции.
6. Concrete Society Report TR34 – Concrete industrial ground floors, Third Edition, 2003.