

# Технология и организация строительного производства

УДК 693.54

## ДАВЛЕНИЕ ФИБРОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОПАЛУБОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

Г.А. Пикус, И.В. Манжосов

## PRESSURE OF FIBER CONCRETE MIXTURES ON THE VERTICAL FORMWORK SYSTEMS

G.A. Pikous, I.V. Manzhosov

Приведены методики исследования давления и реологических параметров сталефибробетонных смесей. Предложена математическая зависимость, позволяющая определить горизонтальное давление бетонных и фибробетонных смесей на вертикальную опалубку.

*Ключевые слова:* давление бетона, фибробетонная смесь, расчет опалубки.

Techniques for the analysis of pressure and rheological parameters of steel fiber concrete mixtures are given in the article. The mathematical dependence, which makes it possible to determine the horizontal pressure of concrete and fiber concrete mixtures on a vertical formwork is considered.

*Keywords:* pressure of concrete, fiber concrete mixture, the calculation of the formwork.

Опыт строительства свидетельствует, что монолитные конструкции – один из самых дорогих видов железобетонных конструктивных решений зданий. При этом основные затраты (как по стоимости, так и по трудоемкости) ложатся на армирующие и опалубочные работы. В этих условиях застройщик ищет любые пути снижения себестоимости возводимых объектов. Одним из них является замена стержневой и проволочной арматуры дисперсной (стальной фиброй), которая при определенных условиях позволяет получить значительный экономический эффект [1].

По нашему мнению, развить успех от применения фибровой арматуры можно путем учета давления, оказываемого фибробетонной смесью на стенки вертикальных опалубочных систем. Для решения данной задачи нами были выполнены три этапа исследований<sup>1</sup>.

На первом этапе был выбран параметр удобоукладываемости сталефибробетонной смеси и оценено его значение. Так, если для обычных бетонных смесей оценка удобоукладываемости наиболее часто выполняется по осадке конуса и жесткости, то для сталефибробетонных смесей такие

параметры непригодны. Непригодность параметра «осадка конуса» объясняется тем, что стальная фибра создает в бетонной смеси объемный каркас, который препятствует статическому смещению компонентов смеси друг относительно друга. Параметр «жесткость» также не является универсальным, так как при разных вязкостях смеси можно получить одно и то же значение жесткости [2]. Удобоукладываемость можно охарактеризовать по параметру вязкости. Однако этот параметр больше подходит для ньютоновских жидкостей. Бетонные смеси относятся к структурированным системам, вязкость которых изменяется даже при постоянной температуре в несколько раз в зависимости от значения внешних сил, действующих на систему. В настоящее время специально разработанные в НИИЖБ приборы для измерения вязкости позволяют исследовать бетонные смеси, растворы и цементное тесто. Но они не подходят для изучения сталефибробетонных смесей из-за наличия стальной фибры, которая препятствует внедрению измерительного прибора. Причем при измерении будет фиксироваться вязкость бетонной матрицы, нежели сталефибробетонной смеси в целом.

Оптимальным параметром здесь может стать безразмерный коэффициент

$$k = \operatorname{tg} \varphi + \tau_0, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения сталефибробе-

<sup>1</sup> На разных этапах исследований в работе принимали участие аспирант кафедры «Технология строительного производства» Казанцева И.С. и магистр этой же кафедры Кириянов П.П.

Результаты исследования безразмерного коэффициента  $k$ 

Содержание добавки Д, %	Коэффициент армирования $\mu$ , %	$\varphi$ , °	$\tau_0$ , кг/см <sup>2</sup>	$k$
0	0	55,8	0,0102	1,484
	0,75	57,5	0,0125	1,584
	1,5	59,7	0,0150	1,728
1,75	0	41,9	0,0112	0,911
	0,75	44,5	0,0113	0,994
	1,5	45,5	0,0122	1,031

тонной смеси, °;  $\tau_0$  – удельное сцепление сталефибробетонной смеси, кг/см<sup>2</sup>.

Физический смысл коэффициента  $k$  – значение напряжения сдвигу сталефибробетонной смеси при единичной величине нормальных напряжений.

Эксперименты проводились на сталефибробетонной смеси следующего состава на 1 м<sup>3</sup>: цемент – 420 кг, песок – 620 кг, щебень (фракция 5–20) – 1190 кг, вода – 212 л (В/Ц = 0,5). Фибра – резанная из стального листа, длиной 40 мм, условным диаметром 0,6 мм, производства ООО НПО «Магнитогорск Фибра-Строй». В качестве добавки использовался суперпластификатор С-3 в объеме 1,75 % от массы цемента.

Исследования выполнялись на стандартной лабораторной установке для испытания грунтов на одноплоскостной сдвиг. С целью учета масштабного фактора стандартные кольца установки были заменены на увеличенные диаметром 118 мм и глубиной 30 мм для нижнего кольца и 65 мм – для верхнего. Предельное перемещение сдвигаемого кольца принято 4 мм.

Результаты экспериментальных исследований разных составов смесей приведены в табл. 1, откуда видна четкая корреляционная связь между входными параметрами и откликом  $k$ .

Полученные значения были аппроксимированы функциями:

– для смесей без добавки  $k = 0,1629\mu + 1,4765$  (сходимость 0,9893);

– для смесей с добавкой  $k = 0,0798\mu + 0,9189$  (сходимость 0,9509).

На втором этапе исследований было определено влияние составов смесей на величину их горизонтального давления. Для этого была разработана и изготовлена лабораторная установка в виде призмы сечением 250×250 мм и высотой 280 мм, имеющая 5 жестких стальных стенок (4 – боковые, 1 – днище). Одна из боковых стенок не доходит до днища на 50 мм, а в незаполненное пространство установлена шарнирно опертая по концам стальная пластина, деформации которой фиксируются индикатором часового типа (рис. 1).

Уложенная в куб бетонная смесь уплотнялась глубинным вибратором и пригружалась сверху нагрузкой в 160 кг в течение двух минут (за 4 приема по 40 кг), моделируя таким образом уклад-

ку в конструкцию вышележащих слоев бетонной смеси общей высотой 1,3 м со скоростью роста смеси около 30 м/ч.

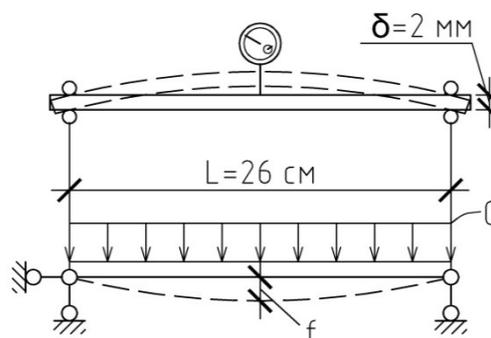


Рис. 1. Расчетная схема пластины

Регистрируемые значения деформаций пластины  $f$  преобразовывались в давление бетонной смеси  $P$  по схеме однопролетной шарнирно опертой балки длиной  $L=26$  см, высотой  $h=5$  см и толщиной  $\delta=2$  мм по формуле

$$P = \frac{384}{5} \frac{f}{L^4 h} EI, \quad (2)$$

где  $EI$  – жесткость деформируемой пластины.

Графики изменения давления смесей в зависимости от их состава и толщины уложенных слоев приведены на рис. 2. Для анализа полученных результатов на графики наложена линия гидростатического давления, которое согласно [3] является расчетной для некоторых условий бетонирования.

Видно, что для смесей уложенных толщиной, не превышающей длину вибронаконечника вибратора (280 мм), значение фактического давления меньше гидростатического на 2,1...18,7 %. Дальнейшая укладка слоев бетона лишь увеличивает данное расхождение (при высоте слоев 1,3 м – на 60,8...78,5 %).

Значительное влияние на давление оказывает состав смеси. Так, увеличение процента армирования фиброй с 0 до 1,5 % приводит к снижению давления при высоте слоев 1,3 м на 12,3...23,1 %. Напротив, увеличение содержания пластифицирующей добавки увеличивает давление на 40,2...59,8 %.

На третьем этапе была получена математическая зависимость, описывающая характер измене-

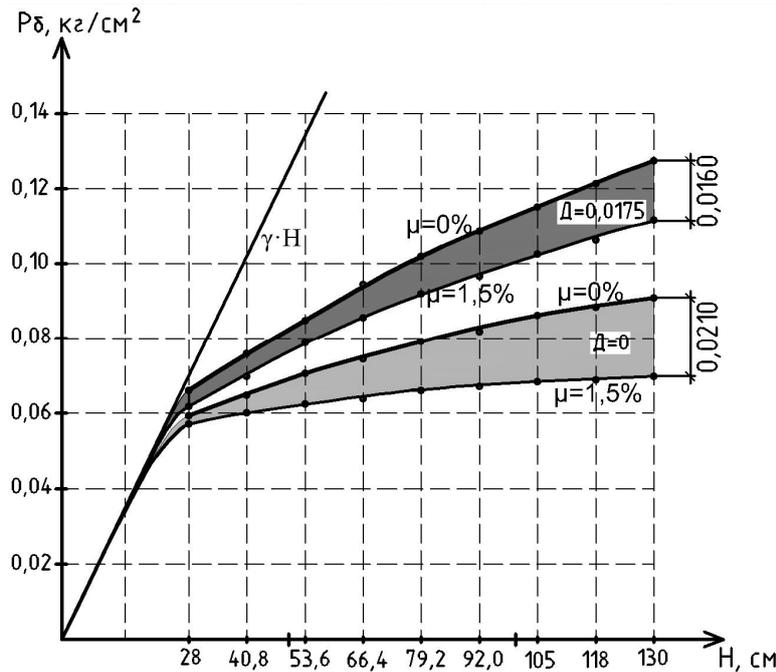


Рис. 2. Изменение давления смесей на вертикальные стенки

ния давления сталефибробетонных смесей на вертикальные опалубки.

Полученная ранее зависимость изменения давления смеси от высоты уложенных слоев представлена в виде обобщенного графика (рис. 3). На графике отчетливо видно два участка:

– первый участок связан со свойством бетонных смесей увеличивать свою подвижность при воздействии внешних сил (вибрировании) и определяется глубиной уплотняемого слоя ( $P_{\delta,1}$ );

– второй участок определяется высотой вышеуложенных слоев смеси и связан с равномерным нарастанием горизонтального давления при увеличении нормального давления на нижележащий слой ( $P_{\delta,2}$ ).

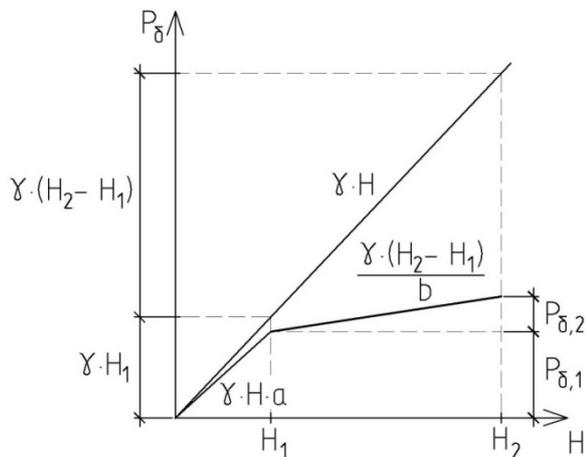


Рис. 3. Обобщенный график изменения давления

Характер распределения горизонтального давления сталефибробетонных смесей можно описать следующей формулой:

$$P_{\delta} = \gamma H_1 a + \gamma \frac{H_2 - H_1}{b}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – плотность сталефибробетона, кг/м<sup>3</sup>;  $H_1$  – толщина уплотняемого слоя смеси, м;  $H_2$  – высота вышележащих слоев смеси, м;  $a$  и  $b$  – безразмерные коэффициенты, зависящие от реологических характеристик смеси и определяющие отклонение горизонтального давления смеси от гидростатического.

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  определены по формулам:

$$a = \frac{P_{\delta,1}}{\gamma H_1}, \quad b = \gamma \frac{H_2 - H_1}{P_{\delta,2}}.$$

Результаты вычислений представлены в табл. 2. Так как в качестве реологической характеристики смеси принят коэффициент  $k$ , то можно предполагать, что коэффициенты  $a$  и  $b$  зависят от  $k$ .

Таблица 2  
Величины коэффициентов  $a$  и  $b$

Д, %	μ, %	$k$	$a$	$b$
0	0	1,484	0,850	8,12
	0,75	1,584	0,831	12,56
	1,50	1,728	0,817	20,08
1,75	0	0,911	0,979	4,33
	0,75	0,994	0,893	4,68
	1,50	1,031	0,884	5,12

Полученные результаты были аппроксимированы степенными функциями:

$$a = 4,195k^4 - 23,36k^3 + 48,14k^2 - 43,56k + 15,4 \quad (\text{сходимость } 0,9966),$$

$$b = 61,4k^3 - 204k^2 + 226k - 78,7 \quad (\text{сходимость } 0,9970).$$

Погрешность вычисленных величин давлений  $P_6$  по формуле (3) не превышает 2,5 % от экспериментальных значений.

### Выводы

Анализ экспериментальных данных позволил получить математические зависимости для вычисления давления бетонных, в том числе фибробетонных смесей на вертикальные опалубочные системы. Благодаря этому можно получить существенную экономию материалов при производстве опалубочных работ за счет обоснованного снижения излишних запасов по нагрузке от бетонной

смеси (до 80 %), относительно указанных в существующей нормативной документации.

### Литература

1. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф.Н. Рабинович. – М.: АСВ, 2004. – 560 с.
2. Красный, И.М. Прибор для определения вязкости бетонной смеси / И.М. Красный, В.К. Власов // Бетон и железобетон. – 1984. – № 10. – С. 13, 14.
3. ГОСТ Р 52085–2003. Опалубка. Общие технические условия.

*Поступила в редакцию 28 августа 2012 г.*