

УДК 691.32
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ФИБРОБЕТОНА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОДУЛЬНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ФИБРЫ

А.А. ЛЕОНОВИЧ, Г.В. ДУБРОВСКАЯ
Научный руководитель И.А. ЛЕОНОВИЧ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Важнейшей характеристикой упругих свойств, определяющей жесткость материала, является модуль продольной упругости E .

Известны математические зависимости для определения начального модуля упругости бетона, наиболее полная систематизация которых, дана д-р техн. наук, проф. Блещиком Н.П. Для прогнозирования упругих свойств фибробетона мы рассмотрели те структурные модели, которые содержали две фазы: матрицу из цементного камня и заполнителя. Модуль упругости бетона в этих моделях зависел только от упругих свойств и содержания входящих элементов при соблюдении простых зависимостей, присущих упругой деформации, при идеальном сцеплении между фазами. Классическими структурными моделями модуля упругости бетона являются модель с параллельными связями составных частей (модель Войта) и модель с последовательными связями (модель Реусса). Остальные модели (Хирш-Другила, Поповича, Конто, Хашин-Хоббса), в основном, опираются на первые две в разной комбинации. В обзор моделей, данный Блещиком Н. П., следует добавить модель Ицковича С.М., который рассматривал элементарный кубический объем матрицы, содержащей кубический композитный элемент.

Оценивалась возможность применения названных моделей для фибробетонов, в которых одной фазой является матрица из мелкозернистого бетона, а второй фазой – дисперсно распределенное волокно (фибра). Исследование моделей, показало разный характер изменения функции модуля упругости. Более реальные зависимости получились для высокомодульной фибры (сталь, стекло). Чрезмерно быстрое убывание модуля упругости фибробетона происходило для низкомодульной полипропиленовой фибры.

При разработке модели упругих свойств фибробетона мы учитывали вытянутую форму волокна, геометрический параметр которого (ℓ/d) изменяется в широких пределах, от единиц до сотен. В качестве элементарного был взят цилиндрический объем (рис. 1), в котором единичное волокно окружено бетонной матрицей. Объемное содержание фибры $\mu_{0\sigma}$ для цилиндрической модели равно:

$$\mu_{0\sigma} = \frac{V_f}{V_c} = \frac{\pi d^2 \cdot \ell \cdot 4}{4 \cdot \pi D^2 \cdot \ell} = \frac{d^2}{D^2} \quad (1)$$

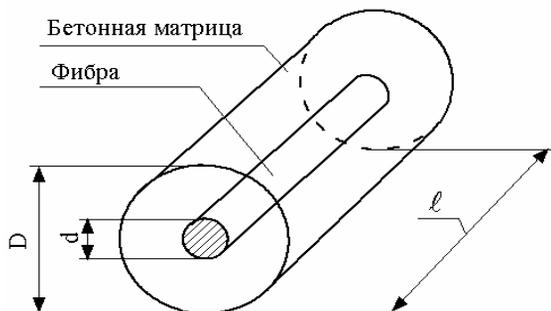


Рис. 1. Элементарный объем фибробетона

По отношению к нагрузке элементарный объем фибробетона может располагаться в двух крайних вариантах: когда слой бетонной матрицы и слой волокна расположены параллельно (вдоль нагрузки) и последовательно (поперек нагрузки). Другие варианты расположения будут промежуточными. Для схемы с параллельными связями функция модуля упругости будет иметь вид:

$$E^I = E_f \cdot \mu_{\text{пов}} + E_c \cdot (1 - \mu_{\text{пов}}) = E_c + \mu_{\text{об}} \cdot (E_f - E_c), \quad (2)$$

где E_c , E_f – модули упругости соответственно бетонной матрицы и фибры; $\mu_{\text{пов}}$ – поверхностное содержание фибры в плоскости поперечного сечения элементарного цилиндра:

$$\mu_{\text{пов}} = \frac{A_f}{A_c} = \frac{\pi d^2 \cdot 4}{4 \cdot \pi D^2} = \frac{d^2}{D^2} = \mu_{\text{об}}. \quad (3)$$

Для схемы с последовательными связями функция модуля упругости будет выглядеть следующим образом:

$$E^{II} = \frac{E_c \cdot E_f}{E_f + \mu_{\text{пог}} \cdot (E_c - E_f)} = \frac{E_c}{1 - \sqrt{\mu_{\text{об}}} \cdot \left(1 - \frac{E_c}{E_f}\right)}, \quad (4)$$

где $\mu_{\text{пог}}$ – погонное содержание фибры в плоскости сечения по длине элементарного цилиндра:

$$\mu_{\text{пог}} = \frac{d}{D} = \sqrt{\mu_{\text{об}}}. \quad (5)$$

Совместное деформирование элементов можно выразить внедрением элемента с параллельными связями (E^I) в поперечное нагружение (формула

6); или внедрением элемента с последовательными связями (E^{II}) в продольное нагружение (формула 7):

$$E_{fc}^{\text{I}} = \frac{E_c}{1 - \sqrt{\mu_{06}} \cdot (1 - \frac{E_c}{E^{\text{I}}})} = \frac{E_c}{1 - \sqrt{\mu_{06}} \cdot (1 - E_c / (E_c + \mu_{06} \cdot (E_f - E_c)))} \quad (6)$$

$$E_{fc}^{\text{II}} = E_c + \mu_{06} \cdot (E^{\text{II}} - E_c) = E_c + \mu_{06} \cdot (\frac{E_c}{1 - \sqrt{\mu_{06}} \cdot (1 - E_c / E_f)} - E_c) \quad (7)$$

Сопоставление результатов расчета модуля упругости фибробетона E_{fc} по формулам (6) и (7) показали незначительное расхождение по значениям, что позволило усреднить результаты:

$$E_{fc} = \frac{1}{2} \cdot (E_{fc}^{\text{I}} + E_{fc}^{\text{II}}) \quad (8)$$

Характер изменения начального модуля упругости фибробетона в зависимости от содержания фибры по формуле (8) показан на рис. 2.

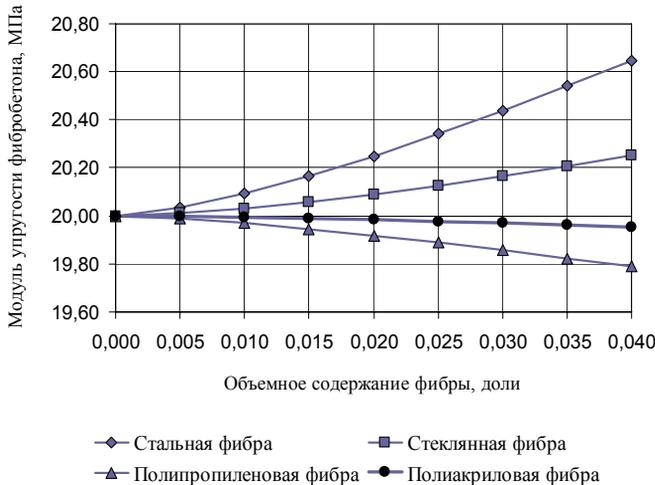


Рис. 2. Графики зависимости начального модуля упругости фибробетона на песке от вида и объемного содержания фибры

Предложенная нами модель наиболее близка к моделям Реусса и Хашин-Хоббса для высокомодульной фибры. Для средне- и низко модульной фибры авторская модель показала аналогичный характер изменения модуля упругости фибробетона, что отличает ее от ранее названных моделей.