

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ФИБРОБЕТОНА

М.И. Жаворонков<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент

Д.А. Пантелеев<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

<sup>2</sup>ФГБУ НИИСФ РААСН

<sup>1</sup>(Россия, г. Санкт-Петербург)

<sup>2</sup>(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-9-1-218-222

*Статья публикуется по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками СПбГАСУ (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет») в 2023 году.*

***Аннотация.** В статье рассматриваются результаты испытаний модуля упругости мелкозернистого фибробетона, армированного базальтовой, стальной и полипропиленовой фиброй. В исследовании используется применялся стандартный метод испытаний модуля упругости, регламентируемый положениями ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона». Результаты испытаний показали, что введение фибрового армирования в состав бетона приводит к существенному снижению его средней плотности получаемого фибробетона, и пропорциональному снижению его модуля упругости. С целью повышения средней плотности фибробетона до уровня неармированного бетона применялось вакуумирование фибробетонных смесей.*

***Ключевые слова:** фибробетон, модуль упругости, средняя плотность, вакуумирование фибробетонной смеси.*

Фибробетон – композиционный материал, представляющий собой бетонную матрицу, чаще всего изготовленную на основе цементного вяжущего, по всему объему которой равномерно распределены дискретные волокна.

Композиционный материал или композит – природный или искусственный материал, изготовленный из двух и более разнородных компонентов с четкой границей раздела, свойства которого не являются простой суперпозицией свойств исходных компонентов.

Для дисперсного армирования бетона в настоящее время могут применяться различные виды металлических, минеральных и синтетических волокон, которые можно классифицировать на низкокомодульные и высококомодульные. Такая классификация связана с модулем упругости этих волокон: если он ниже модуля упругости бетона, то волокна считаются низкокомодуль-

ми, а если выше, то высококомодульными [1-2].

В соответствии с данными выше определениями фибробетона и композита получается, что дисперсное армирование бетона высококомодульными волокнами должно способствовать повышению модуля упругости получаемого фибробетона.

В ходе литературного обзора было найдено несколько работ, посвященных оценке степени влияния параметров дисперсного армирования на модуль упругости фибробетона.

И.А. Леонович и А.А. Леонович в своей научной статье описывают результаты определения модуля упругости фибробетона расчетным путем, и показывают, что он повышается пропорционально расходу стальных и стеклянных волокон и снижается при введении полипропиленовых волокон [3]. Похожие результаты приведены

и в другой работе И.А. Леонович, А.С. Игнатенкова и А.А. Савостеенко [4].

Е.М. Щербань, С.А. Стельмах, М.Г. Холодняк и др. в своей научной работе результаты испытаний модуля упругости фибробетонных образцов и делают вывод, что модуль упругости фибробетонных образцов увеличивается по сравнению с бетонными образцами, а характер разрушения при этом переходит из хрупкого в вязкопластичный [5].

В.И. Клещевникова, А.С. Логвинова и С.В. Беляева в своей работе также приводят данные о повышении модуля упругости фибробетона при введении высокомолекулярных волокон [6].

Панин А.Н. в своей научной работе приводит уравнение, в соответствии с которым модуль упругости сталефибробетона связан прямой зависимостью с расходом стальных волокон [7]. В.Д. Харлаб и Д.А. Смирнов в своей работе также приводят такие уравнения [8].

Е.Е. Ибе и А. В. Шугурова в своей работе также приводят данные о повышенном модуле упругости фибробетона [9].

Из приведенного литературного обзора видно, что существует достаточно много научных работ, посвященных оценке степени влияния параметров дисперсного армирования на модуль упругости, однако результаты его экспериментального определения немногочисленны, чем и объясняется актуальность данного направления.

Авторами данного исследования была предпринята попытка произвести испытания модуля упругости бетона и фибробетона. В качестве матрицы был выбран мелкозернистый бетон, класса по прочности В20. Расход цемента составил  $450 \text{ кг/м}^3$ , расход песка составил  $1670 \text{ кг/м}^3$ , расход воды составил  $315 \text{ л/м}^3$ . Для приготовления фибробетонной смеси был использован кварцевый песок с модулем крупности  $M_{кр}=2,34$  и бездобавочный портландцемент класса ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108. Для дисперсного армирования применялась базальтовая фибра длиной 12 мм диаметром 18 мкм, синтетическая полипропиленовая фибра «Fibrin XT» длиной 12 мм и диаметром 0,025 мм, стальная проволочная фибра круглого се-

чения волнового профиля диаметром 0,3 мм и длиной 22 мм. Перемешивание фибробетонной смеси производилось в лабораторном двухвальном смесителе. Уплотнение смеси осуществлялось на лабораторной виброплощадке. Твердение образцов происходило в шкафу нормального твердения в течении 28 суток при температуре  $18 \pm 2^\circ\text{C}$  и влажности более 95%. Испытания проводились в соответствии с положениями ГОСТ 24452-80 «Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона».

В результате проведения испытаний было установлено, что модуль упругости сталефибробетона повышается при введении 1% стальной фибры на 5,2%, с 43120 МПа до 45371 МПа [10]. Модуль упругости базальтофибробетона понижается при введении 1% базальтовой фибры на 12%, с 32353 МПа до 28344 МПа [10]. Модуль упругости такого фибробетона понижается при введении 1% полипропиленовой фибры «Fibrin XT» на 21%, с 34174 МПа до 27019 МПа [10]. В результате выполнения работы было отмечено снижение средней плотности фибробетона при введении любого вида фибры из перечисленных, по сравнению с неармированным бетоном, чем и объяснялось снижение модуля упругости.

С целью минимизации данного фактора было принято решение повторить описанный эксперимент. Были применены различные режимы уплотнения фибробетонных смесей, увеличивалось время вибрирования и применялся пригруз, однако, принятые меры не позволили увеличить среднюю плотность фибробетона до уровня неармированного бетона. При повторении эксперимента было отмечено, что основное влияние на среднюю плотность фибробетона оказывает вовлеченный при перемешивании смесей воздух. Было принято решение исключить его вовлечение путем перемешивания фибробетонной смеси в вакууме.

Специально для этого был разработан вакуумный бетоносмеситель, представленный на рисунке 1.



Рис. 1. Вакуумный бетоносмеситель: слева – смеситель со снятой емкостью для перемешивания; справа – готовый к работе смеситель

Разработанный смеситель представляет собой герметичную емкость, внутри которой закреплен электродвигатель с понижающим редуктором и лопастью. Нижнюю часть емкости можно снять для загрузки компонентов смеси, после чего установить снова установить ее на смеситель. Затем начинается перемешивание смеси и, с помощью вакуумного насоса, в смесителе создается разрежение до  $-0,7$  атм. После окончания перемешивания следует повысить давление в смесителе до атмосферного, а затем снять емкость для перемешивания. Из полученной фибробетонной смеси можно изготовить фибробетонные образцы для дальнейших испытаний модуля упругости.

Описанный выше эксперимент был повторен, при этом, в процесс изготовления образцов было включено перемешивание смеси при пониженном давлении. Изготовленные фибробетонные образцы также

были испытаны в соответствии с положениями ГОСТ 24452-80.

В результате проведенных испытаний было установлено, что средняя плотность сталефибробетона, без учета собственного веса стальной фибры, отличается от плотности неармированного бетона примерно на 1%. При этом, введение 1% стальной фибры по объему приводит к повышению модуля упругости фибробетона на 17%, с 27429 МПа до 32073 МПа. При введении базальтовой фибры средняя плотность фибробетона отличается от неармированного бетона примерно на 0,3%. При этом, введение 1% по объему базальтовой фибры приводит к повышению модуля упругости на 2%: с 27429 МПа до 27979 МПа. Средняя плотность фибробетона, армированного 1% по объему фибры «Fibrin XT», снижается приблизительно на 3%. При этом, модуль упругости такого фибробетона снижается на 2,8%: с 27429 МПа до 26652 МПа.

**Библиографический список**

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 560 с.
2. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов // Строительные материалы. – 2004. – № 10 (598). – С. 47-50.
3. Леонович, И.А. Влияние упругих характеристик композитного материала на свойства фибробетона / И.А. Леонович, А.А. Леонович // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 3(16). – С. 148-155.
4. Леонович, И.А. Моделирование упругих свойств дисперсно армированного мелкозернистого бетона / И.А. Леонович, А.С. Игнатенков, А.А. Савостеенко // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2019. – № 30. – С. 94-97.
5. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов / Е.М. Щербань, С.А. Стельмах, М.Г. Холодняк [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2018. – Т. 10, № 5. – С. 72.
6. Клещевникова, В.И. Разновидности материалов для дисперсного армирования бетона / В.И. Клещевникова, А.С. Логвинова, С.В. Беяева // AlfaBuild. – 2018. – № 5(7). – С. 59-74.
7. Панин, А.Н. К определению деформационных и прочностных характеристик при исследовании фибробетонных оболочек / А.Н. Панин // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2013. – Т. 2. – С. 404-408.
8. Харлаб, В.Д. Упругость сталефибробетона / В.Д. Харлаб, Д.А. Смирнов // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 3 (24). – С. 77-82.
9. Ибе, Е.Е. Перспективы применения фибробетона при строительстве гидротехнических сооружений / Е.Е. Ибе, А.В. Шугурова // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 61.
10. Жаворонков, М.И. Исследование влияния параметров дисперсного армирования на модуль упругости фибробетона / М.И. Жаворонков, О.В. Тихонова, К.И. Четырко, М.А. Романов // Молодой ученый. – 2023. – № 22 (469). – С. 85-91.

---

**TEST RESULTS FOR THE ELASTIC MODULUS OF FIBER-REINFORCED CONCRETE**

**M.I. Zhavoronkov**<sup>1</sup>, *Candidate of Technical Science, Associate Professor*

**D.A. Panteleev**<sup>2</sup>, *Candidate of Technical Science, Associate Professor, Senior Researcher*

<sup>1</sup>**St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering**

<sup>2</sup>**Federal State Budgetary Institution NIISF RAASN**

<sup>1</sup>**(Russia, St. Petersburg)**

<sup>2</sup>**(Russia, Moscow)**

**Abstract.** *The article discusses the results of testing the elastic modulus of fine-grained fiber-reinforced concrete reinforced with basalt, steel and polypropylene fibers. The study used a standard elastic modulus test method, regulated by the provisions of GOST 24452-80 «Concrete. Methods for determining prismatic strength, elastic modulus and Poisson's ratio». The test results showed that the introduction of fiber reinforcement into the concrete composition leads to a significant decrease in the average density of the resulting fiber-reinforced concrete, and a proportional decrease in its elastic modulus. In order to increase the average density of fiber-reinforced concrete to the level of unreinforced concrete, vacuumization of fiber-reinforced concrete mixtures was used.*

**Keywords:** *fiber-reinforced concrete, elastic modulus, average density, vacuumization of fiber-reinforced concrete mixture.*