

ВЛИЯНИЕ СТАЛЬНОЙ ФИБРЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ФИБРОБЕТОНА

Неутов С.Ф., к.т.н., доцент,
ORCID: 0000-0002-0132-124X

Корнеева И.Б., к.т.н., доцент,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
korneevairinaborisovna@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0104-6938

Аннотация. Проведены испытания на сжатие нескольких серий стандартизированных образцов фибробетона, для которых получены прочностные и деформативные характеристики, представленные в табличной и графической форме. Так как разброс данных невелик, приведены значения по двум образцам. При испытании образцов, изготовленных из смеси оптимального состава, было обнаружено увеличение начального модуля упругости сталефибробетона относительно бетона на 40%, а несущей способности – на 10–12%. Коэффициент Пуассона при этом изменился не существенно. Полная абсолютная деформация сталефибробетонного образца составила 71% от аналогичной деформации бетонного образца при одинаковой нагрузке, близкой к разрушающей.

Ключевые слова: фибробетон, бетон, стальная фибра, прочностные и деформативные характеристики.

Введение. Сталефибробетон обеспечивает повышение эффективности железобетонных изделий и конструкций за счет увеличения прочности бетона на растяжение при изгибе, предельной сжимаемости, трещиностойкости, водонепроницаемости, морозостойкости и коррозионной стойкости, сопротивления истираемости. Применение сталефибробетона позволяет существенно снизить трудозатраты на арматурные работы, а также повысить степень механизации бетонных работ и расширить область применения эффективных конструктивных решений зданий и сооружений.

Зарубежный опыт применения сталефибробетона в строительстве зданий и сооружений подтвердил эффективность его применения. Это особенно ощутимо при возведении монолитных полов промышленных зданий, взлетно-посадочных полос аэродромов, автомобильных дорог, резервуаров и бассейнов, банковских хранилищ, взрывозащитных фортификационных сооружений. В производстве сборных железобетонных изделий сталефибробетон находит применение при изготовлении напорных и безнапорных труб, различных изделий для возведения конструкций метро, элементов стеновых панелей и плит перекрытий, железнодорожных шпал, дорожных плит, бортовых элементов дорог, малых архитектурных форм и других изделий.

Анализ последних исследований. Эффективность применения стальной фибры приводит к улучшению физико-механических свойств бетона, что отражено в целом ряде публикаций отечественных и зарубежных авторов [1, 2]. В [3 - 5] указывается на существенное влияние фибры при работе бетона на растяжение и на истирание. Однако строительные конструкции часто подвержены другим видам сопротивления, в том числе, и сложному сопротивлению. При исследовании напряженно-деформированного состояния во всех случаях необходимо располагать обоснованными и как можно более точными прочностными и деформативными характеристиками сталефибробетона в конкретной исследуемой конструкции. Поскольку эти характеристики зависят от многих объективных и субъективных факторов, их значения, полученные разными исследователями, имеют существенный разброс [2, 6, 7]. Следовательно, определение свойств фибробетона на основе совершенствования экспериментальных методик и оборудования, продолжает оставаться актуальной задачей.

Целью данной работы является определение влияния стальной фибры на прочностные и деформативные свойства фибробетона, предназначенного для изготовления стержневых, пластинчатых и оболочечных конструкций, работающих, в основном, на сжатие с изгибом.

Материалы и методика исследований. Для изготовления образцов использован бетон с заполнителем в виде щебня некрупных фракций и стальная фибра с загнутыми концами отечественного производства. Для проведения испытаний применяется гидравлическая испытательная машина, а для измерений – тензодатчики и индикаторы часового типа.

Методика исследований изложена в [8-10].

Результаты исследования. Ранее авторами был выбран оптимальный состав смеси: бетонная матрица с крупным заполнителем размером не более 10 мм и фибровым армированием 1%. Для изготовления матрицы использован цемент марки 400, промытый речной песок, водоцементное отношение 0,449. В качестве армирования используется стальная фибра с загнутыми концами (рис.1, а), её длина 50 мм, диаметр 1 мм, временное сопротивление 1335 МПа.

Были испытаны на сжатие следующие виды стандартизированных образцов:

- кубы размером: 100×100×100 мм;
- призмы размером: 100×100×400 мм.

Испытания проводили на гидравлической испытательной машине с максимальной нагрузкой 500 кН (рис.1, б).

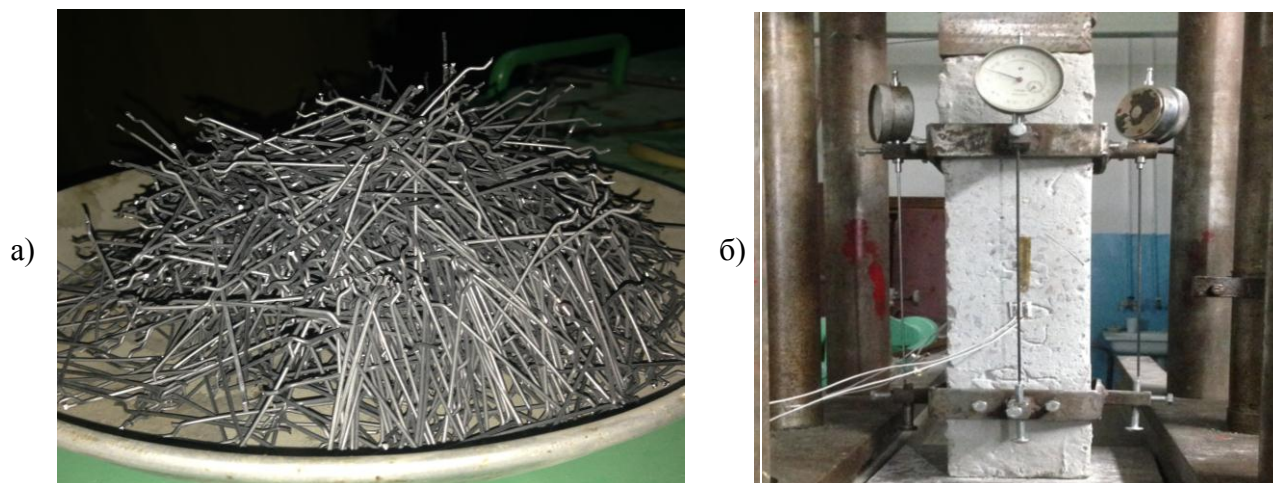


Рис. 1. Подготовка к определению свойств сталефибробетона:
а – стальная фибра; б – призма подвергается испытанию на сжатие

На кубиковые образцы были наклеены тензодатчики в двух направлениях для определения продольной и поперечной деформаций. Кроме тензодатчиков, на призмах по четырем граням крепились индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и базой 25 см. Объем статьи не позволяет привести результаты испытаний всех образцов, поэтому в табл. 1 представлены только сравнительные данные по испытаниям двух призм, с фиброй и без нее. Как видно из таблицы, соотношения между деформациями бетонного и сталефибробетонного образцов по данным тензодатчиков и индикаторов примерно одинаковы, что позволяет с достаточной точностью определить не только деформативные, но и прочностные характеристики данных материалов. Начальный модуль упругости при введении в смесь стальной фибры вырос на 40%, что обусловило снижение деформативности материала, а это очень важно при расчетах по второму предельному состоянию. Коэффициент Пуассона при этом изменился не существенно. Полная абсолютная деформация сталефибробетонного образца составила 71% от аналогичной деформации бетонной призмы при одинаковой нагрузке, близкой к разрушающей. Этот факт позволяет прогнозировать снижение значений прогибов и ширины раскрытия трещин в конструкциях,

выполненных из сталефибробетона относительно железобетонных конструкций. Для корректного сопоставления данных в таблице 1 и на графиках приведены деформации при одинаковых нагрузках. В проведенных авторами исследованиях несущая способность отличается на 10-12% в пользу материала с фиброй. Из полученных результатов следует, что прочностные характеристики сталефибробетона выше, чем бетона аналогичного состава. Последнее позволяет увеличить несущую способность сталефибробетонных конструкций относительно бетонных при одинаковых размерах.

Таблица 1 – Сравнительные данные по испытаниям двух призм

Нагрузка, кН	Изменение сопротивления продольных тензодатчиков		Изменение сопротивления поперечных тензодатчиков		Линейная деформация по показаниям индикаторов	
	бетонная призма	призма из сталефибробетона	бетонная призма	призма из сталефибробетона	бетонная призма	призма из сталефибробетона
0	0	0	0	0	0	0
25	140	103	-42	-32	2,9	2,1
50	279	205	-84	-63	5,9	4,2
75	420	309	-128	-95	8,8	6,3
100	560	412	-172	-128	11,7	8,4
125	714	525	-220	-163	15	10,7
150	901	662	-276	-205	18,9	13,5
175	1127	829	-345	-256	23,7	16,9

Наблюдается принципиальное различие в характере разрушения испытанных кубов и призм из бетона и фибробетона. Если бетонный образец разрушался по классическому сценарию, то есть имело место характерное хрупкое разрушение с раскалыванием на части (рис. 2, а), то образец из сталефибробетона не изменил геометрической формы и после исчерпания своей несущей способности. Единственное заметное отличие до и после испытания – наличие трещин и увеличение ребра образца в направлении, перпендикулярном плоскости действия нагрузки. В местах растрескивания заметно частичное выдергивание фибры из бетонной матрицы (рис. 2, б).

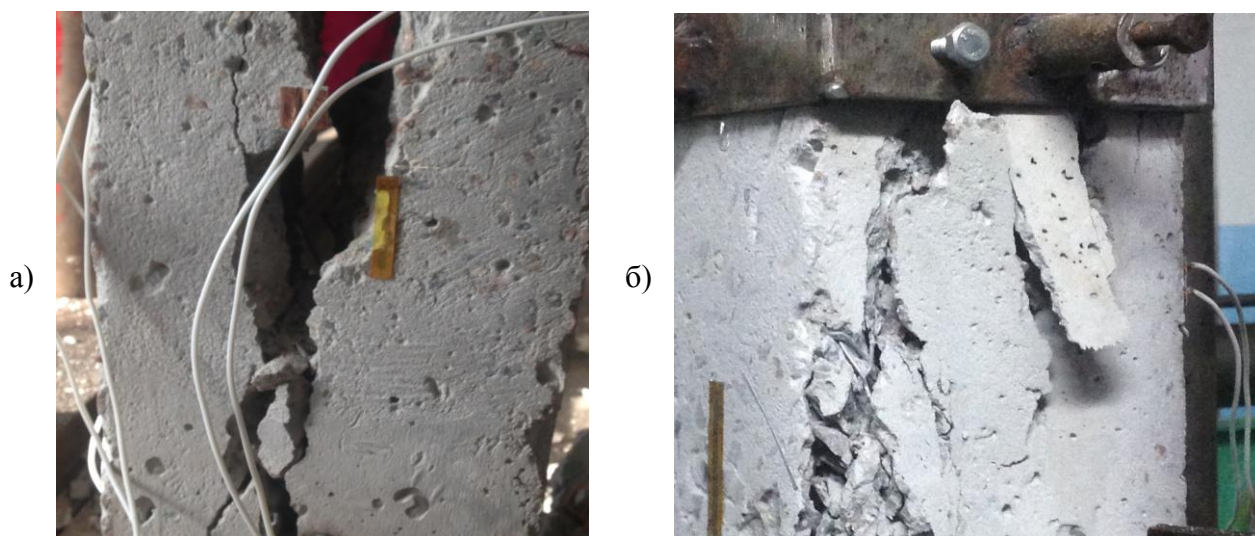


Рис. 2. Виды разрушения образцов:
а – бетонный образец; б – сталефибробетонный образец

По результатам испытаний построены соответствующие графики для двух образцов, отдельно по данным продольных тензодатчиков (рис. 3, а) и отдельно – по данным поперечных (рис. 3, б), а также диаграмма деформирования (рис. 4).

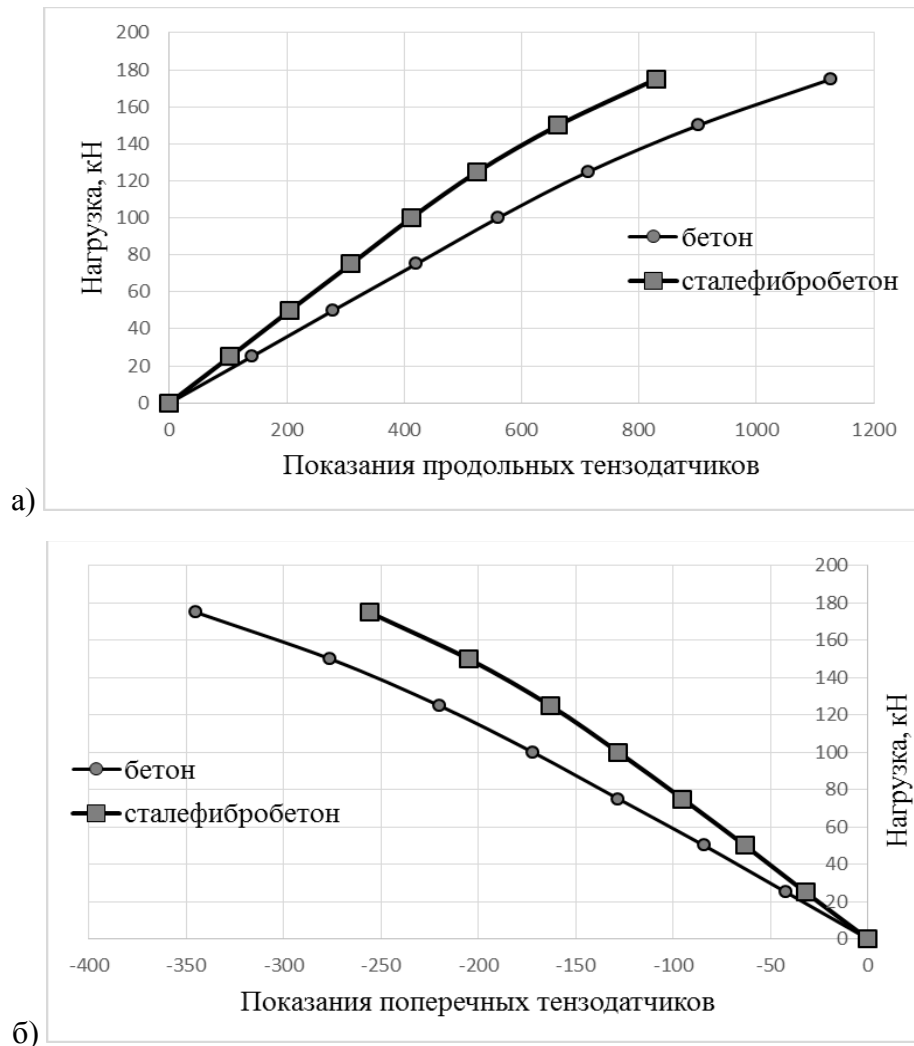


Рис. 3. Изменение сопротивления тензодатчиков в зависимости от нагрузки: а – продольные тензодатчики; б – поперечные тензодатчики

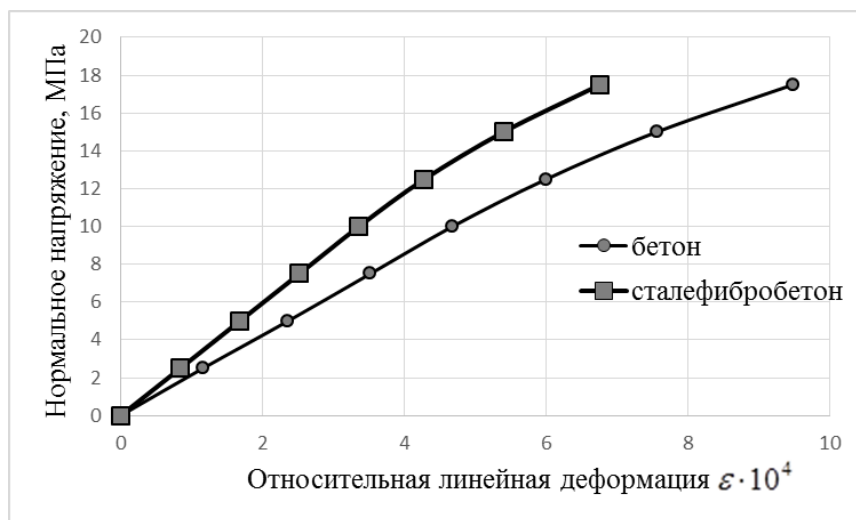


Рис.4. Относительная диаграмма сжатия призм из бетона и сталефибробетона

Было испытано несколько серий образцов, для которых получены табличные и графические результаты, аналогичные приведенным выше. Разброс характеристик в пределах серии составил 3-4%, между сериями – 3-5%. Следует заметить, что при соблюдении всех технологических условий и методики испытаний наибольшая разница была получена при вычислении начального модуля упругости как бетона, так и сталефибробетона. Менее всего отличались прочностные показатели и коэффициент Пуассона.

Выводы. При испытании образцов, изготовленных из смеси оптимального состава, обнаружено увеличение начального модуля упругости сталефибробетона относительно бетона на 40%, а несущей способности – на 10 – 12%. Коэффициент Пуассона при этом изменился не существенно. Полная абсолютная деформация сталефибробетонного образца составила 71% от аналогичной деформации бетонной призмы при одинаковой нагрузке, близкой к разрушающей.

Несмотря на хорошую информативность испытаний на сжатие, представляется интересным в дальнейшем исследовать свойства сталефибробетона при других видах сопротивления с использованием традиционных образцов и методов испытаний либо с некоторой их коррекцией, исходя из специфики исследуемого материала.

Литература

1. Блещик Н.П. Физико-механические и технологические свойства сталефибробетона, особенности применения и перспективы развития сталефибробетонных конструкций / Н.П. Блещик, И.В. Коваль // Третий международный симпозиум: «Проблемы современного бетона и железобетона». – Минск: Минсктиппроект, 2011. – Том 2. – С. 80 – 113.

2. Капустин Д.Е. Прочностные и деформативные характеристики несъемной сталефибробетонной опалубки как несущего элемента железобетонных конструкций: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01: защищена 28.12.15: утв. 08.06.16 / Капустин Дмитрий Егорович. – М., 2015. – 211 с. – Библиогр.: с. 161–175.

3. Павленко В.И. Свойства фибробетона и перспективы его применения: аналитический обзор / В.И. Павленко, В.Б. Арончик. – Рига, ЛатНИИ, 1978. – 57с.

4. Гетун Г.В. Экспериментально-теоретические исследования изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных в растянутой зоне слоем сталефибробетона: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Гетун. – Киев, 1983. – 20 с.

5. Арончик В. Б. Исследование работы армирующего волокна в фибробетоне: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Арончик Владимир Бенционович. – Рига, 1983. – 22 с.

6. Смирнов Д.А. Упругость и ползучесть сталефибробетона: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / Смирнов Дмитрий Александрович. – С-Пб., 2011. – 21 с.

7. Талантова К.В. Сталефибробетон с заданными свойствами и строительные конструкции на его основе: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.01: защищена 27.05.13: утв. 24.10.13 / Талантова Клара Васильевна. – Барнаул, 2013. – 287с. – Библиогр.: с. 247–287.

8. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. ДСТУ Б.В.2.7-214:2009. – [чинний від 2009-12-22]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с. (Національний стандарт України).

9. BS EN 14845-2:2006 Test methods for fibers in concrete - Part 2: Effect on concrete.

10. BS EN 12390-3:2009 Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens.

References

- [1] N.P. Bleschik, I.V. Koval, "Fiziko-mehaniicheskie i tehnologicheskie svoystva stalefibrobetona, osobennosti primeneniya i perspektivy razvitiya stalefibrobetonnyih konstruksiy", *Tretiy mezhduнародnyiy simpozium: «Problemyi sovremennogo betona i zhelezobetona»*, Minsk: Minsktipproekt, Tom 2, pp. 80 – 113, 2011.

- [2] D.E. Kapustin, "Prochnostnyie i deformativnyie harakteristiki nes'emnoy stalefibrobetonnoy opalubki kak nesuschego elementa zhelezobetonnyih konstruktsiy", dis. Cand. Tech. Sciences, M., 2015.
- [3] V.I. Pavlenko, V.B. Aronchik, *Svoystva fibrobeta i perspektivy ego primeneniya: analiticheskiy obzor*. Riga, LatNII, 1978.
- [4] G.V. Getun, "Eksperimentalno-teoreticheskie issledovaniya izgibaemyih zhelezobetonnyih konstruktsiy, usilennyih v rastyanutoy zone sloem stalefibrobeta", dis. Cand. Tech. Sciences, Kyiv, 1983.
- [5] V.B. Aronchik, "Issledovanie raboty armiruyuschego volokna v fibrobeta", dis. Cand. Tech. Sciences, Riga, 1983.
- [6] D.A. Smirnov, "Uprugost i polzuchest stalefibrobeta", dis. Cand. Tech. Sciences, S-Pb., 2011.
- [7] K.V. Talantova, "Stalefibrobeta s zadannyimi svoystvami i stroitelnyie konstruktsii na ego osnove", dis. Doc. Tech. Sciences, Barnaul, 2013.
- [8] Betony. Metody vyznachennya mitsnosti za kontrol'nymy zrazkami. DSTU B.V.2.7-214: 2009 [chynnyy vid 2009-12-22]. K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2010.
- [9] BS EN 14845-2:2006 Test methods for fibers in concrete - Part 2: Effect on concrete.
- [10] BS EN 12390-3:2009 Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens.

ВПЛИВ СТАЛЕВОЇ ФІБРИ НА МІЦНІСНІ ТА ДЕФОРМАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ ФІБРОБЕТОНУ

Неутов С.П., к.т.н., доцент,
ORCID: 0000-0002-0132-124X

Корнеєва І.Б., к.т.н., доцент,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
korneevairinaborisovna@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0104-6938

Анотація. Сталефібробетон забезпечує підвищення ефективності залізобетонних виробів і конструкцій за рахунок збільшення міцності бетону. У літературі вказується на найбільший вплив фібри при роботі на розтяг і на стирання. Однак будівельні конструкції часто схильні до стиску, згину і їх спільної дії.

За вже обраним авторами раніше оптимальним складом фібробетонної суміші досліджено несучу здатність сталефібробетону. Визначений вплив сталевої фібри на міцнісні і деформативні властивості фібробетону, призначеного для виготовлення стрижневих, пластинчастих і оболонкових конструкцій, що працюють здебільшого на стиск із згинанням.

Випробування проводили за відомою методикою на стандартизованій гідравлічній випробувальній машині. На кубикові зразки були наклеєні тензодатчики за двома напрямками для визначення поздовжньої і поперечної деформацій. На призмах крім тензодатчиків по чотирьох гранях кріпилися індикатори годинникового типу. Було випробувано кілька серій зразків, для яких отримані табличні і графічні результати. Розкид показників в межах серії склав 3-4%, між серіями – 3-5%. Слід зауважити, що при дотриманні всіх технологічних умов і методики випробувань найбільша різниця була отримана при обчисленні початкового модуля пружності як бетону, так і сталефібробетону, найменше відрізнялися показники міцності і коефіцієнт Пуассону.

При випробуванні зразків, виготовлених з суміші оптимального складу, було виявлено збільшення початкового модуля пружності сталефібробетону щодо бетону на 40%, а несучої здатності на 10-12%. Коефіцієнт Пуассону при цьому змінився несуттєво. Повна абсолютна деформація сталефібробетонного зразка склала 71% від аналогічної деформації бетонної призми при однаковому навантаженні, близькому до руйнуючого.

Незважаючи на хорошу інформативність випробувань на стиск, видається цікавим

надалі досліджувати властивості сталевібробетону при інших видах опору з використанням традиційних зразків і методів випробувань або з деякою корекцією, виходячи із специфіки досліджуваного матеріалу.

Ключові слова: фібробетон, бетон, сталева фібра, міцнісні та деформативні характеристики.

INFLUENCE OF STEEL FIBER ON STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF FIBER CONCRETE MIXTURE

Neutov S.P., PhD., Assistant Professor,
ORCID: 0000-0002-0132-124X

Korneieva I.B., PhD., Assistant Professor,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
korneevairinaborisovna@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0104-6938

Abstract. Steel fiber concrete improves the efficiency of reinforced concrete products and structures by increasing the strength of concrete. The literature indicates a greater effect of the fiber when working on stretching and abrasion. However, building structures are often subject to compression, bending and their joint action.

For the previously selected by the authors the optimal composition of the fiber concrete mixture, it seems necessary to investigate the bearing capacity of the steel fiber concrete. The purpose of this work is to determine the effect of steel fibers on the strength and deformation properties of a fiber concrete mixture, intended for the manufacture of rod, plate and other structures, working mainly in compression with bending.

The tests were carried out according to the known method, on a standardized hydraulic testing machine. Strain gauges were attached to the cubic samples in two directions to determine the longitudinal and transverse deformations. In addition to strain gauges, prism-type indicators were attached to the four faces on prisms. Several sample series were tested for which tabular and graphical results were obtained. The range of characteristics within the series was 3-4%, between the series – 3-5%. It should be noted that with all the technological conditions and testing methods observed, the biggest difference was obtained when calculating the initial elastic modulus of both concrete and steel fibrous concrete, the strength indicators and Poisson's ratio differed the least.

When testing samples made from a mixture of the optimal composition, an increase in the initial elastic modulus of steel fiber concrete relative to concrete by 40% and bearing capacity by 10-12% was found. The Poisson's ratio did not change significantly. The total absolute deformation of the steel fiber concrete sample was 71% of the similar deformation of the concrete prism at the same load, close to the breaking load.

Despite the good information content of the compression tests, it seems interesting to further investigate the properties of steel fiber concrete with different types of resistance using traditional samples and test methods or with some correction based on the specificity of the material under study.

Keywords: fiber concrete, concrete, steel fiber, strength and deformation characteristics, specimen test.

Стаття надійшла 3.06.2019