

УДК 691.12

**ВАН СЯНЬПЭН, С. Н. ЛЕОНОВИЧ**

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФИБРОЙ**

**Аннотация.** Бетон как строительный материал широко используется в строительной индустрии. Современные конструктивные формы и среды требуют большей прочности и долговечности бетона, чем раньше. Это привело к крупному прорыву в технологии строительных материалов – появлению фибробетона с неметаллическими невозобновляемыми волокнами – стекловолокном, базальтовым, углеродным, нановолокном и др., а также неметаллическими возобновляемыми растительными волокнами – кокосовым, кукурузным, соломенным, тростниковым и сизалевым. Свойства бетона с различными видами неметаллической фибры изучаются учёными всего мира. Результаты их исследований показывают, что применение невозобновляемых и возобновляемых неметаллических волокон изменяют прочностные характеристики бетона и его долговечность. Кроме того, бетон с растительным волокном является энергосберегающим и экономически эффективным строительным материалом, использование которого вносит большой вклад в защиту окружающей среды.

**Ключевые слова:** бетон, неметаллическая фибра, прочность, трещиностойкость, технические характеристики.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Бетон в строительной отрасли является наиболее широко используемым материалом. Он обладает такими свойствами, как высокая прочность и трещиностойкость. С появлением различных сложных конструктивных форм и сред требования к механическим свойствам и долговечности бетона продолжают повышаться, и в соответствии с требованиями времени появляется фибробетон (ФББ). В качестве фибры используются неметаллические невозобновляемые волокна – стекловолокно, базальтовое, углеродное, нановолокно и др., а также неметаллические возобновляемые натуральные волокна – кокосовое, кукурузное, соломенное, тростниковое и сизалевое. Их включение в состав бетонных смесей значительно улучшает прочность и трещиностойкость фибробетона и является экономически эффективным. Например, замена традиционных стеновых материалов (глиняного кирпича) лёгкими перегородками из фибробетона, дисперсно-армированными кокосовым волокном, (ДАКВ) значительно снижает себестоимость строительства.

Появление фибробетона с неметаллическим волокном – это крупный прорыв в технологии строительных материалов. Применение неметаллической фибры не только значительно снижает себестоимость материала, но и увеличивает модифицированное напряжение бетона, делая его более надёжным при строительстве промышленных и гражданских зданий.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Изучением влияния на технические характеристики строительных материалов металлической и неметаллической фибры, в том числе и натуральных волокон, активно занимаются учёные разных стран мира. Большое количество исследований показало, что фиброволокна могут эффективно изменять механические свойства бетона. Они улучшают такие структурные и технические характеристики бетона, как прочность на растяжение, истирание, сопротивление к ударным нагрузкам, трещиностойкость. Фибра может служить жёстким скелетом, минимизировать возможную усадку, защищать конструкцию от деформации в процессе эксплуатации, снижать теплопроводность и ползучесть, уменьшать среднюю плотность смеси и т. д. Учёные также обратили внимание на то, что

важную роль в повышении прочности бетона, например на растяжение и осевое сжатие, играет смешивание волокон разных типов и размеров.

Китайские учёные Ли Гочжун и др. провели исследование механических свойств композитов на основе гипса с добавлением растительных волокон, полипропиленовых волокон, стеклянных волокон и волокон из стеблей кукурузы, а также изучили в качестве основной такую поверхностную обработку волокон, как термообработка и обработка кислотой. Она улучшила контактные свойства между волокнами и гипсом, что позволило более эффективно использовать свойства волокон при растяжении [1].

Meng и др. изучили влияние углеродных нановолокон на реологические свойства, самоусадку и пористую структуру бетона со сверхвысокими характеристиками и предложили метод равномерного диспергирования наноматериалов в бетоне со сверхвысокими характеристиками [2].

Чжан Юань провел испытание асфальтобетона, модифицированного углеродными нановолокнами, в помещении и обнаружил, что предел прочности на косвенное растяжение и сопротивление постоянной деформации модифицированного бетона были улучшены в разной степени по сравнению с обычным бетоном [3]. Jalasutram и др. указали, что добавление базальтового волокна способствует эволюции разрушения бетона при сжатии от хрупкого к вязкому разрушению и значительно увеличивает ударную вязкость при изгибе, прочность на растяжение и прочность на изгиб бетона [4].

Branston и др. изучали механические свойства бетона, армированного базальтовым волокном с пучковой дисперсией и небольшими стержневидными волокнами, и показали, что оба типа базальтовых волокон повышают прочность бетона до момента образования трещин, но только небольшие стержнеобразные волокна улучшают прочность после образования трещин [5].

Afroz и др. изучали химическую стойкость и эксплуатационные характеристики бетона, армированного базальтовым волокном, и в сочетании с макро- и микротестами показали, что модифицированное базальтовое волокно может значительно улучшить косвенные свойства при растяжении и изгибе бетона с большим объёмом летучей золы [6].

Zahra S. Tabatabaei и др. [7] добавили длинные пучки углеродного волокна длиной 10 мм к бетонной плите, и результаты показали, что ударопрочность железобетонной плиты из длинного пучка углеродного волокна была выше, чем у простой бетонной плиты и железобетонной плиты со стальной проволокой. Углеродное волокно обладает такими физико-механическими характеристиками, как высокая прочность на растяжение и модуль упругости, стабильные химические свойства и хорошее сцепление с бетоном. Бетон, армированный углеродным волокном, полученный путём смешивания мононит и углеродного волокна с бетоном, может не только значительно улучшить ударопрочность бетона, но и получить такие функциональные характеристики, как электропроводность и самочувствительность к деформации, демонстрируя высокую адаптируемость к сложным физическим и механическим условиям [8].

Hmet B. Kizilkanati др. в ходе экспериментов обнаружили, что добавление стекловолокна не сильно улучшает прочность бетона на сжатие, но значительно повышает трещиностойкость и пластичность бетона [9].

Изучая механические свойства керамического бетона, армированного стекловолокном, S. T. Tassew, A. S. Lubell обнаружили, что влияние стекловолокна на прочность на сжатие и модуль упругости невелико. Значительно более высоким является влияние стекловолоконной фибры на прочность на изгиб и сопротивление сдвигу. Учёные пришли к выводу, что стекловолокно улучшает прочность бетона на изгиб, а также изменяет режим разрушения бетона при изгибе. Стекловолокно имеет высокий модуль упругости, что положительно влияет на такое свойство бетона, как пластичность. Однако оно неустойчиво к щелочной среде бетонной смеси, поэтому приходится пропитывать бетон полимерами и добавлять вещества, связывающие щелочи. В результате получается уникальный материал, обладающий высоким сопротивлением к ударам, температуре, истиранию, воздействию влаги и химических веществ [10].

P. M. Katkar и др. обнаружили, что нетканые армированные цементные плиты из варёного кокосового волокна эффективны с позиций теплостойкости, прочности на изгиб и сжатие [11].

Jaspal Singh и др. обсудили преимущества использования натуральных волокон в бетоне из-за их низкой плотности, низкой стоимости и способности к биологическому разложению, а также улучшенной пластичности, прочности на изгиб, прочности на растяжение и прочности на разрыв благодаря смешанному кокосовому волокну [12]. Majid Ali и др. обсудили усиленные адаптивностью композиты кокосового волокна для различных технических применений, тем самым продемонстрировав кокосовое волокно в качестве строительного материала, который подчеркивает пластичность и по-

глощение энергии. Кокосовое волокно может улучшить механические свойства бетона, которые зависят от длины волокна. Учёные пришли к выводу, что прочность бетона с применением кокосового волокна может быть выше или ниже, чем у обычного бетона. Испытания также подтвердили, что кокосовое волокно в бетоне может повысить его прочность на изгиб [13].

Учёные С. М. Grădinaru, M. Bărbuță в качестве армирующих материалов для цементного раствора рассмотрели такие органические натуральные волокна, как тростник и солома и представили некоторые предварительные результаты, касающиеся их термических и механических свойств [14].

Известно, что тростник обладает высокой способностью поглощать и биоаккумулировать питательные вещества, тяжёлые металлы и различные другие загрязнители. Так он работает в естественных условиях и используется в искусственных заболоченных местах для удаления различных загрязняющих веществ из воды и сточных вод. Так, использование тростниковых волокон в бетоне придаёт материалу пластичность, повышает его прочность на растяжение, коррозионную и трещиностойкость, отличается устойчивостью к изгибу, ударными нагрузками и многими другими физико-механическими свойствами. Кроме того, применение фибробетона с тростниковым волокном снижает затраты на строительство и техническое обслуживание, повысит долговечность материала при эксплуатации [15].

К. Т. Sumithra сообщил в своем недавнем исследовании, что прочность на растяжение сизалевого фибробетона была увеличена на 2 % от веса цемента, а также была улучшена прочность на изгиб, что указывает на то, что сизалевое волокно может значительно улучшить характеристики бетона [16].

Abass Abayomi Okeola и др. в своем исследовании показали, что сизалевое волокно не может улучшить прочность бетона на сжатие, но оно способно значительно улучшить прочность бетона на растяжение при растрескивании. Плотность снижает собственный вес бетона. Его эксперименты с 1 % сизалевого волокна в составе бетона показали, что для улучшения пластичности бетона необходим более высокий процент сизалевой фибры [17].

## ЦЕЛИ

Неметаллические волокна добавляются в бетон для повышения его прочности на изгиб, растяжения и изгиба, а также пластичности бетона. Чтобы обеспечить новые инженерные технологии для экологически чистых строительных материалов.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Экспериментальные материалы были подготовлены следующим образом.

Использовался обычный силикатный цемент R42,5; природный крупный заполнитель – обычный щебень, все крупные заполнители были размером 10...20 мм и непрерывно сортировались, а мелкий заполнитель – природный речной песок Минского моря; вода для затворения – лабораторная водопроводная вода. Используя метод погружения SITRA, неметаллические волокна обрабатываются комбинацией физических и химических щелочных растворов для придания им мягкости и прочности, используется 4 % раствор гидроксида натрия, растворы оксида кальция, 10 % каустической соды и т. д. кокосового волокна (100...450 мкм в диаметре, 100...250 мм, ширина 2...3 мм, плотность 1,12 г/см<sup>3</sup>), волокна тростника (длина 40 мм, ширина 3.5 мм, диаметр 0,45 мм, плотность 1,7 г/см<sup>3</sup>), волокна сизаля (длина 400...500 мм, ширина 5...8 мм, диаметр 120...350 мкм. Физические свойства материалов приведены в таблице 1, сопутствующие показатели суперпластификаторов приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Физические свойства материалов

	Кажущаяся плотность kg/m <sup>3</sup>	Насыпная плотность kg/m <sup>3</sup>	Индекс дробления %	Содержание воды %	Водопоглощение %
Природные крупные заполнители	2 703	1 450	18	0,07	0,43
Песок	2 635	1 640	–	0,45	–
Тростниковое волокно	2 295	1 275	13,5	1,10	4,85
Кокосовое волокно	2 460	1 220	8,6	4,8	16,3
Сизалевое волокно	2 355	1 150	9,5	5,2	15,5
Соломенное волокно	2 550	1 545	4,5	6,5	14,8

Таблица 2 – Сопутствующие показатели суперпластификаторов

Скорость сокращения воды /%	Твёрдое содержание /%	Плотность, г/мл	Содержание хлорида /%	Текущесть цементного раствора /мм
26	35	1,12	0	230

В качестве вяжущего материала в испытании использован портландцемент марки Р-О 42,5. В таблице 3 представлен стандарт GB 175-20 20 «Общий портландцемент», все параметры которого соответствуют требованиям показателя качества, указанным в стандарте.

Таблица 3 – Показатель параметра цемента марки П-О 42,5

Тонкость /%	Расход воды стандартной консистенции /%	Время коагуляции /мин		Прочность на изгиб / МПа		Прочность на сжатие / МПа	
		Первоначальная настройка	Окончательная коагуляция	3 д	28 д	3 д	28 д
1,95	26,70	160	280	5,5	9,0	23,6	48,8

Таблица 4 – Соотношение компонентов бетона с тростниковым волокном

г /%	Соотношение воды и золы	Использование бетонных материалов							
		Цемент	Вода	Песок	Природные крупные заполнители	Кокосовое/Сизалевое/Соломенное/Тростниковое			
0 %	0,45	425	212,5	541	1 153	0	0	0	0
0,5 %	0,45	425	212,5	541	1 153	18,66	18,66	18,66	18,66
1 %	0,45	425	212,5	541	1 153	37,33	37,33	37,33	37,33
1,5 %	0,45	425	212,5	541	1 153	56	56	56	56
2 %	0,45	425	212,5	541	1153	74,66	74,66	74,66	74,66
2,5 %	0,45	425	212,5	541	1 153	93,33	93,33	93,33	93,33
3 %	0,45	425	212,5	541	1 153	112	112	112	112

Используя нормальное напряжение, коэффициент замещения и примесь неметаллические волокна в качестве параметров изменения, авторы должны спроектировать стандартные кубические образцы с размерами 150×150×150 мм. Были рассмотрены три случая нормального напряжения ( $\sigma$ ) 0, 3 и 6 МПа и коэффициент замещения порошка карбонизированного неметаллического волокна ( $g$ ) 0, 20, 40, 60, 80, 100 % 6 случаев и шесть случаев добавления неметаллических волокон ( $V_f$ ) 0 %, 0,5 %, 1 %, 1,5 %, 2 %, 2,5 % и 3 %; всего 6 групп по 24 образца в каждой, всего 144 образца, для испытаний на прямолинейность и сдвиг при сжатии. А также отливка такого же количества призматических образцов стандартного размера 40×40×160 мм для испытаний на прочность при изгибе и вязкость. Была сделана ссылка на белорусский метод испытаний контрольных образцов бетона ГОСТ 10180-2012 [18]. Подробные параметры приведены в таблице 5.

## ВЫВОДЫ

К неметаллической фибре относят невозобновляемые (стекловолокно, базальтовое, углеродное, нановолокно и др.) и возобновляемые (кокосовое, кукурузное, соломенное, тростниковое и сизалевое) волокна.

Исследование научной литературы показывает, что неметаллические волокна могут изменять анизотропию бетона, лучше проявлять модифицированные свойства бетона и придавать ему важные механические свойства. По сравнению с обычным бетоном добавление неметаллической фибры не только улучшает косвенную характеристику прочности бетона на растяжение и сопротивление постоянной деформации, но и значительно увеличивают его прочность на изгиб и растяжение, улучшают пластичность бетона и повышает трещиностойкость.

С точки зрения себестоимости невозобновляемые синтетические волокна дороже, чем растительные волокна. Это относится и к несинтетическому базальтовому волокну, получаемому плавлением базальтовых горных пород и преобразованием расплава в волокно.

Таблица 5 – Таблица параметров образцов

номер	Обычный бетон			Бетон с неметаллическими волокнами (колонны) (150×150×150 мм)			Бетон с неметаллическими волокнами (балки) (40×40×160 мм)		
	$\sigma_u$ /МПа	$r$ /%	$V_f$ /%	$\sigma_u$ /МПа	$r$ /%	$V_f$ /%	$\sigma_u$ /МПа	$r$ /%	$V_f$ /%
Б1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0,5
Б2	0	20	0	0	20	1	0	20	1
Б3	0	40	0	0	40	1,5	0	40	1,5
Б4	0	60	0	0	60	2	0	60	2
Б5	0	80	0	0	80	2,5	0	80	2,5
Б6	0	100	0	0	100	3		100	3
Б7	3	0	0	3	0	0,5	3	0	0,5
Б8	3	20	0	3	20	1	3	20	1
Б9	3	40	0	3	40	1,5	3	40	1,5
Б10	3	60	0	3	60	2	3	60	2
Б11	3	80	0	3	80	2,5	3	80	2,5
Б12	3	100	0	6	100	3	6	100	3
Б13	6	0	0	6	0	0,5	6	0	0,5
Б14	6	20	0	6	20	1	6	20	1
Б15	6	40	0	6	40	1,5	6	40	1,5
Б16	6	60	0	6	60	2	6	60	2
Б17	6	80	0	6	80	2,5		80	2,5
Б18	6	100	0	6	100	3		100	3
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Хорошие технические характеристики имеют стеклянные, углеродные и нановолокна, но углеродные и нановолокна дороже, чем стеклянные, получаемые путём рафинирования стеклянных нитей. Недостатком таких волокон является их невозобновляемость и неэкологичность.

По сравнению с синтетическими невозобновляемыми волокнами экономические и экологические показатели натуральных волокон (кокосового, кукурузного, соломенного, тростникового и сизалевого) намного выше. Они дешевле, так как многие из них получаются из отходов пищевого производства (кокосовое, кукурузное, соломенное) и не загрязняют окружающую среду. Культуры, которые используются для получения натурального волокна, растут круглый год, а отслуживший фибробетон с этими волокнами может быть переработан.

Использование неметаллической фибры повышает долговечность бетона и снижает затраты на строительство, а «зелёные» технологии, в которых применяются натуральные волокна, содействует энергосбережению и охране окружающей среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гочжун, Ли. Свойства модифицированных композитов на основе гипса, армированных соломенными волокнами / Ли Гочжун, Гао Цзыдун. – Текст : непосредственный // Журнал строительных материалов. – 2011. – Volume 14(3). – С. 413–417. – DOI: 10.19761/j.1000-4637.2015.10.020.
2. Meng, W. Effect of graphite nanoplatelets and carbon nanofibers on rheology, hydration, shrinkage, mechanical properties, and microstructure of UHPC / W. Meng, K. H. Khayat. – Текст : непосредственный // Cement and Concrete Research., – 2018. – Volume 105. – P. 64–71. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.01.001>.
3. Юань, Чжан. Получение и свойства композитов на основе наноуглеродного фиброцемента / Чжан Юань. – Текст : электронный // Engineering Science and Technology. – 2014. – Volume 1. – URL: [https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CMTD&dbname=CMTD201502&filename=1015572499.nh&uniplatform=NZKPT&v=0tywgPk6SOvU\\_xr4n7u6xxxqYj3wLEuqH0vg6OnnFN4whkjDxtIZ\\_Ju9dq6IFP55](https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CMTD&dbname=CMTD201502&filename=1015572499.nh&uniplatform=NZKPT&v=0tywgPk6SOvU_xr4n7u6xxxqYj3wLEuqH0vg6OnnFN4whkjDxtIZ_Ju9dq6IFP55) (дата обращения: 11.05.2022).
4. Jalaruram, S. Experimental study on mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete / S. Jalaruram, DR. Sahoo, V. Matsagar. – Текст : непосредственный // Structural Concrete. – 2017. – Volume 18. – P. 292–302. – URL: <https://doi.org/10.1002/suco.201500216>.
5. Research on mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete / J. Branston, S. Darth, S. Y. Keno [et al.]. – Текст : непосредственный // Construction and Building Materials. – 2016. – Volume 124. – P. 878–886. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.009.

6. Afroz M. Patnaikuunii Chemical durability and properties of modified basalt fibers in concrete / Afroz M. Patnaikuunii, S. Venkaatesan. – Текст : непосредственный // Architecture and Building Materials. – 2017. – Volume 54. – P. 191–203. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.153.
7. Cementbased composites containing functionalized carbon fibers / L. Lavagna, S. Musso, G. Ferro [et al.]. – Текст : непосредственный // Cement and Concrete Composites. – 2018. – Volume 88. – P. 165–171. – DOI: 10.1016/J.CEMCONCOMP.2018.02.007CorpusID:139681832.
8. Experimental and numerical analyses of long carbon fiber reinforced concrete panels exposed to blast loading / S. Zahra, Tabatabaei [et al.]. – Текст : непосредственный // International Journal of Impact Engineering. – 2013. – Volume 57. – P. 70–80. – DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2013.01.006.
9. Mechanical Properties and Fracture Behavior of Basalt and Glass Fiber Reinforced Concrete: An Experimental Study / A. B. Kizilkanat, N. Kabay, V. Akyüncü [et al.]. – Текст : электронный // Architecture and Building Materials. – 2015. – Volume 100. – P. 218–224. – URL: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-a9bb2636-f173-3434-8a95-700e7a2856c6> (дата обращения: 14.05.2022).
10. Tassew, S. T. Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete / S. T. Tassew, A. S. Lubell // Architecture and Building Materials. – 2014. – Volume 51. – P. 215–224. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.046.
11. Coir/Cement Composite Materials / P. M. Katkar, C. A. Patil, P. A. Khude [et al.]. – Текст : электронный // International Textile Review. – 2013. – Volume 41, issue 2. – P. 56, 58–9. – URL: [https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD2013&filename=GFZB201302026&uniplatform=NZKPT&v=Bjz8XTGNVa\\_pVU3w5\\_ppbqAo7cHaw3usjwi2s7EuXT3xJKwEb47C7Q8nVLaCZzh](https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD2013&filename=GFZB201302026&uniplatform=NZKPT&v=Bjz8XTGNVa_pVU3w5_ppbqAo7cHaw3usjwi2s7EuXT3xJKwEb47C7Q8nVLaCZzh) (дата обращения: 11.05.2022).
12. Singh, Jaspal. Sustainable concrete using natural fiber – a review / Jaspal Singh, Manmeet Kaur, Manpreet Kaur // Journal Of International Academic Research For Multidisciplinary. – 2015. – Volume 3. – P. 35–45. – URL: <https://www.jiarm.com/OCT2015/paper24752.pdf> (дата обращения: 11.05.2022).
13. Mechanical and dynamic properties of cocoput fiber reinforced concrete / Majid Ali, Anthony Liu, HouSou and Nawawi Chouw. – Текст : электронный // Construction and Building Materials. – 2012. – Volume 30. – P. 814–825. – URL: [https://www.academia.edu/17539220/Mechanical\\_and\\_dynamic\\_properties\\_of\\_cocoput\\_fibre\\_reinforced\\_concrete](https://www.academia.edu/17539220/Mechanical_and_dynamic_properties_of_cocoput_fibre_reinforced_concrete) (дата обращения: 11.05.2022).
14. Majid, Ali. Coconut fiber: A versatile material and its applications in engineering / Ali Majid. – Текст : электронный // Journal of Civil Engineering and Construction Technology. – 2011. – Volume 2. – P. 189–197. – URL: <https://academicjournals.org/journal/JCECT/article-full-text-pdf/D540A213064> (дата обращения: 11.05.2022).
15. Investigations on the mechanical properties of concrete with sheep wool fibers and fly ash / C. M. Grădinaru, M. Bărbuță, A. A. Șerbănoiu, D. Babor. – Текст : электронный // Bulletin of the Transilvania University of Braşov. – 2016. – Volume 9, No. 58. – P. 73–80. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/309538828\\_INVESTIGATIONS\\_ON\\_THE\\_MECHANICAL\\_PROPERTIES\\_OF\\_CONCRETE\\_WITH\\_SHEEP\\_WOOL\\_FIBERS\\_AND\\_FLY\\_ASH](https://www.researchgate.net/publication/309538828_INVESTIGATIONS_ON_THE_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_CONCRETE_WITH_SHEEP_WOOL_FIBERS_AND_FLY_ASH) (дата обращения: 11.05.2022).
16. Sumithra, K. T. R. Experimental Investigation on the Propreties of Sisal Fibre Reinforced Concrete / K. T. R. Sumithra, A. S. Dadapheer. – Текст : непосредственный // Int. Res. J. Eng. Technol. – 2017. – Volume 4. P. 2774–2777.
17. Okeola, A. A. Experimental investigation of the physical and mechanical properties of sisal fiber-reinforced concrete / A. A. Okeola, S. O. Abuodha, J. Mwego. – Текст : электронный // Fibers. – 2018. – Volume 6, issue 3. – URL: <https://doi.org/10.3390/fib6030053> (дата обращения: 11.05.2022).
18. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам : издание официальное : постановление Госстандарта РБ № 23 от 14.04.2015 : взамен ГОСТ 10180-90 : дата введения 2016-02-01 / разработчики «Научно-исследовательский центр "Строительство"». – Москва : [б. и.], 2016. – 33 с. – Текст : электронный. – URL: <https://normy.by/fond.php> (дата обращения: 10.05.2022).

Получена 12.04.2022

ВАН СЯНЬПЕН, С. М. ЛЕОНОВИЧ  
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНУ З НЕМЕТАЛЕВОЮ ФІБРОЮ  
Білоруський національний технічний університет, м. Мінськ, Білорусь

**Анотація.** Бетон як будівельний матеріал широко використовується у будіндустрії. Сучасні конструктивні форми та середовища вимагають більшої міцності та довговічності бетону, ніж раніше. Це призвело до великого прориву в технології будівельних матеріалів – появі фібробетону з неметалевими невідновлюваними волокнами – скловолокном, базальтовим, вуглецевим, нановолокном та ін. Властивості бетону з різними видами неметалевої фібри вивчаються вченими всього світу. Результати їх досліджень показують, що застосування невідновлюваних і відновлюваних неметалевих волокон змінюють характеристики міцності бетону і його довговічність. Крім того, бетон з рослинним волокном є енергозберігаючим та економічно ефективним будівельним матеріалом, використання якого робить великий внесок у захист навколишнього середовища.

**Ключові слова:** бетон, неметалічна фібра, міцність, тріщиностійкість, технічні характеристики.

WANG XIANPENG, SERGEY LEONOVICH  
TECHNICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE WITH NON-METALLIC  
FIBERS

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Abstract.** Concrete as a building material is widely used in the construction industry. Modern constructive forms and environments require greater strength and durability of concrete than ever before. This led to a major breakthrough in the technology of building materials – the emergence of fiber-reinforced concrete with non-metallic non-renewable fibers – fiberglass, basalt, carbon, nanofiber, etc., as well as non-metallic renewable plant fibers – coconut, corn, straw, cane and sisal. The properties of concrete with various types of non-metallic fibers are being studied by scientists around the world. The results of their research show that the use of non-renewable and renewable non-metallic fibers change the strength characteristics of concrete and its durability. In addition, plant fiber concrete is an energy-saving and cost-effective building material, the use of which makes a great contribution to environmental protection.

**Key words:** concrete, non-metallic fiber, strength, crack resistance, technical characteristics.

**Ван Сяньпэн** – аспирант кафедры строительных материалов и технологии строительства Белорусского национального технического университета. Научные интересы: «зелёные» технологии в строительстве, бетоны с экологически чистой неметаллической фиброй.

**Леонович Сергей Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры строительных материалов и технологии строительства, декан строительного факультета Белорусского национального технического университета. Иностраный академик Российской академии архитектуры и строительных наук, лауреат персональной надбавки Президента Республики Беларусь «За выдающийся вклад в социально-экономическое развитие государства» (дважды: в 2005 и 2009 гг.), сопредседатель рабочей группы Технического комитета Международного союза лабораторий и экспертов в области строительных материалов, систем и конструкций (РИЛЕМ), заместитель председателя научного совета Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН). Научные интересы: строительные конструкции, здания и сооружения; строительные материалы и изделия.

**Ван Сяньпэн** – аспирант кафедри будівельних матеріалів та технології будівництва Білоруського національного технічного університету. Наукові інтереси: «зелені» технології у будівництві, бетони з екологічно чистою неметалевою фіброю.

**Леонович Сергій Миколайович** – доктор технічних наук, професор кафедри будівельних матеріалів та технології будівництва, декан будівельного факультету Білоруського національного технічного університету. Іноземний академік Російської академії архітектури та будівельних наук, лауреат персональної надбавки Президента Республіки Білорусь «За визначний внесок у соціально-економічний розвиток держави» (двічі: у 2005 та 2009 рр.), співголова робочої групи Технічного комітету Міжнародного союзу лабораторій та експертів у галузі будівельних матеріалів, систем та конструкцій (РІЛЕМ), заступник голови наукової ради Російської академії архітектури та будівельних наук (РААСН). Наукові інтереси: будівельні конструкції, будівлі та споруди; будівельні матеріали та вироби.

**Wang Xianpeng** – post-graduate student, Building Materials and Construction Technology Department, Belarusian National Technical University. Scientific interests: «green» technologies in construction, concrete with environmentally friendly non-metallic fiber.

**Leonovich Sergey** – D. Sc. (Eng.), Professor, Building Materials and Construction Technology Department; Dean of Civil Engineering Faculty of the Belarusian National Technical University. Dean of the Faculty of Civil Engineering of the Belarusian National Technical University. Foreign academician of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, laureate of the personal allowance of the President of the Republic of Belarus «For outstanding contribution to the socio-economic development of the state» (twice: in 2005 and 2009), co-chairman of the working group of the Technical Committee International Union of Laboratories and Experts in the Field of Building Materials, Systems and Structures (RILEM), Deputy Chairman of the Scientific Council of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RAASN). Scientific interests: building structures, buildings and structures; building materials and products.