

УДК 691.12

ВАН СЯНЬПЭН, С. Н. ЛЕОНОВИЧ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ
ПЕРЕРАБОТАННОГО БЕТОНА С 2 % КОКОСОВОГО ВОЛОКНА**

Аннотация. Создание новых строительных материалов требует серьёзных исследований фибробетонов, включающих в свой состав возобновляемые и экологически чистые растительные волокна: бамбуковое, сизалевое, соломенное, кокосовое и др. Эти исследования активно ведутся с середины 20 века. Учёные установили, что механические характеристики фибробетона, в том числе прочность на изгиб и на сжатие, термостойкость и трещиностойкость, зависят от свойств самих волокон и от их количества в составе бетона. В статье анализируются данные испытаний бетона с добавлением кокосового волокна. Результаты показали, что 2 % кокосовой фибры повышает прочность бетона на изгиб, осевое сжатие и трещиностойкость. По своим механическим характеристикам такой фибробетон соответствует требованиям, предъявляемым определённым типам бетона, и может быть использован как «зелёный» стройматериал.

Ключевые слова: бетон, кокосовое волокно, прочность на изгиб, прочность на сжатие, трещиностойкость.

1. ВВЕДЕНИЕ

С прошлого века учёные Китая и других стран мира занимаются «зелёными» технологиями в строительстве. Они обратили внимание на возобновляемые материалы, такие как натуральные волокна: сизалевое, джутовое, соломенное, бамбуковое и др., и изучили их влияние на физические свойства бетона. Исследования показали, что прочность и трещиностойкость фибробетона с растительными волокнами выше, чем у обычного бетона. На сегодняшний день остаётся недостаточно изученным фибробетон с кокосовым волокном, хотя в последние годы появилось много серьёзных исследований.

Китайский учёный Ван Вэй и др. [1] изучали влияние обработки щелочью на морфологическую структуру волокон кокосовой скорлупы. П. М. Каткар и соавторы [2] обнаружили, что нетканые армированные цементные плиты из вареного кокосового волокна очень хороши с учетом термостойкости, прочности на изгиб и прочности на сжатие. Пусит Лертваттанарук и Анчиса Сунтиджитто [3] провели соответствующие экспериментальные исследования цементного раствора из волокон кокосового волокна и пальмового масла. Результаты показывают, что композитные строительные материалы с кокосовым волокном имеют низкую теплопроводность и высокую энергоэффективность.

Кокосовое волокно обладает определённой прочностью на растяжение и может использоваться в качестве материала для матрицы цементного раствора. Ожидается, что армирование растительными волокнами улучшит прочность цементной матрицы на изгиб и трещиностойкость стройматериала. Добавление кокосового волокна может уменьшить использование песка и гравия в бетоне, уменьшить плотность и подготовить лёгкие наполнители с лучшими комплексными механическими и физическими свойствами [4]. Кокосовое волокно длиной 350 мм, диаметр 0,12...0,25 мм и плотностью 1 250 кг/м³ имеет одно из самых высоких количеств лигнинового покрытия, что делает его более прочным, чем большинство других типов натуральных волокон [5]. Маджид Али и др. [6] исследовали бетон, армированный кокосовым волокном, и пришли к выводу, что его свойства меняются в зависимости от длины волокна, а прочность CFRC может быть выше или ниже по сравнению с обычным бетоном. Испытания также подтвердили, что кокосовое волокно в бетоне может повысить его прочность на изгиб. Чжан Сяосяо и Лео Пел [7] изучали влияние кокосового волокна на гидратацию и

© Ван Сяньпэн, С. Н. Леонович, 2022

усадку цементных материалов на бетоне. После добавления кокосового волокна в бетон скорость усадки LWAC при высыхании увеличилась, а скорость самоусадки уменьшилась. Волокна повышают прочность и ударную вязкость LWAC. Исследование Rajan Shikha et al. [8] показали, что кокосовые волокна играют ключевую роль в ограничении образования и распространения искривленных трещин. Оптимальный уровень повышения прочности на изгиб, предел прочности при растяжении, прочности на сжатие и других свойств бетона с различной объёмной долей кокосового волокна составляет 2 %, но не более 3 %. Н. Каартик Кришна, М. Прасант, Р. Гоутам и др. оценили эффективность бетона, армированного натуральным волокном, приняв характеристики простого бетона за эталонный показатель. Доказано, что 2 % натуральных волокон могут эффективно улучшать пластичность и прочность бетона на осевое сжатие [9].

В этой статье изучается влияние двухпроцентной добавки кокосового волокна на прочность бетонных имитационных балок на изгиб и бетонных имитационных колонн на сжатие.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Экспериментальные материалы

Кокосовое волокно. Оно является побочным продуктом плодов кокосовой пальмы, который получают травлением или механической обработкой скорлупы кокосового ореха в морской воде. Диаметр обычно составляет 100...450 мкм, длина – 10...25 см, а плотность – 1,12 г/м³. В этом испытании его разрезают на куски длиной около 10 мм, кокосовое волокно замачивают в 4 % растворе NaOH, промывают дистиллированной водой, а затем помещают в сушильный шкаф при температуре 60 °С на 8 часов.

Крупный заполнитель. Он делится на переработанный крупный заполнитель и природный крупный заполнитель; природный крупный заполнитель представляет собой обычный щебень, а переработанный крупный заполнитель измельчается и просеивается (первоначальная прочность С30) после лабораторных испытаний. В результате размер частиц крупного заполнителя составляет 20...30 мм, градация непрерывная. Мелкий заполнитель – природный речной песок Минского моря. В соответствии со стандартом качества песка и камня и методом контроля для обычного бетона основные свойства природного крупного заполнителя и переработанного крупного заполнителя измеряются, как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Основные свойства заполнителей

	Частица размер / мм	Кажу- щаяся плотность кг/м ³	Объёмная плотность кг/м ³	Содержание отходов / %	Впитыва- ние воды / %	Показатель раздавливания / %
Переработанный крупный заполнитель	20–30	2 460	1 202	0,60	4,8	16,3
Природный крупный заполнитель	20–30	2 703	1 450	0,54	0,43	17,15
Песок	–	2 625	1 638	0,25	–	–

Понизитель воды. Высокоэффективный и соответствующий стандартам понизитель воды можно приобрести на рынке строительных материалов Республики Беларусь. Его эксплуатационные и технические показатели приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сопутствующие показатели суперпластификаторов

Скорость сокращения воды / %	Твёрдое содержание / %	Плотность, г/мл	Содержание хлорида / %	Текучесть 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

2.2 Экспериментальный план

В этом эксперименте размер образца тяжёлого бетона составляет $100 \times 100 \times 400$ мм и $100 \times 100 \times 100$ мм. Условия отверждения: 28 дней, $(20 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C})$ влажность $90 \% \pm 5 \%$. Дозировка материала: Р·О 42,5. Специальный цемент $400 \text{ кг/м}^3 - 3,5 \text{ кг}$ мелкий песок $730 \text{ кг/м}^3 - 7,1 \text{ кг}$, крупный заполнитель $1100 \text{ кг/м}^3 - 11,0 \text{ кг}$, вода $180 \text{ л/м}^3 - 1,8 \text{ л}$, водоцементное отношение 0,5, кокосовое волокно $50 \text{ кг/м}^3 - 0,4 \text{ кг}$ (2 %). Методы смешивания: для смешивания кокосового волокна и заливки образцов бетона из кокосового волокна использовалось сухое и мокрое смешивание.

В моделируемом эксперименте по изгибу и сжатию балки используются шарниры с двумя концами (расстояние 300 мм), и с каждой стороны действует сосредоточенная сила нагрузки (расстояние 100 мм) с положением испытательного блока 200 мм в качестве центра (рис. 1). Модель колонны сжатая, размеры верхнего и нижнего сжатия 100×100 , площадь сжатия $10\,000 \text{ м}^2$. Поверхность сжатия не покрыта смазкой. Диаграмма силового анализа колонны показана на рисунке 2.

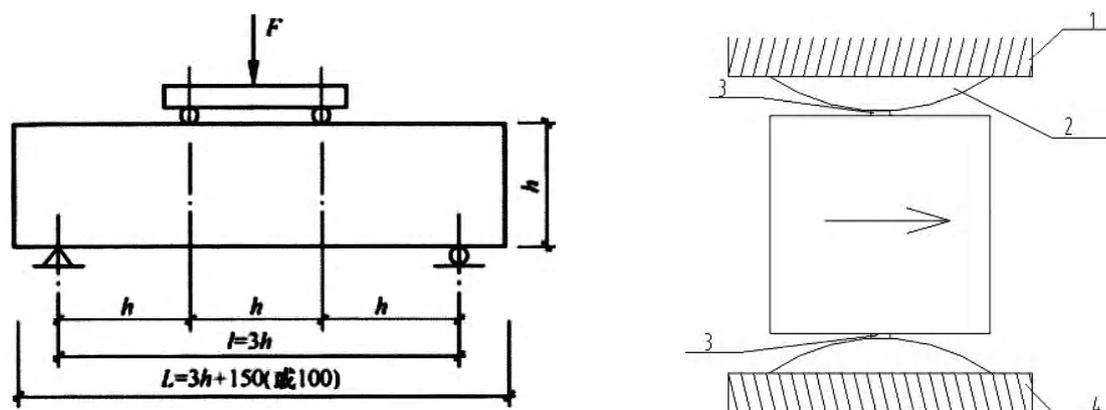


Рисунок 1 – Диаграмма расчёта усилий образца балки. Рисунок 2 – Диаграмма расчёта сил образца колонны.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И АНАЛИЗ

3.1 Экспериментальный сравнительный анализ способов смешивания бетона

Испытание на моделирование балки проводилось на образцах бетона, армированного кокосовым волокном, при мокром и сухом смешивании соответственно. Размер образцов – $40 \times 40 \times 160$ мм. Данные испытаний представлены в таблице 4.

Сравнение экспериментальных данных показывает, что сухое смешивание на 6,8 % лучше, чем мокрое. На поперечном сечении видно, что мокрое перемешивание приводит к неравномерному распределению и агрегации кокосовых волокон (рис. 3), что может привести к ухудшению качества материала, может серьёзно повлиять на безопасность проекта. Поэтому для повышения прочности фибробетона следует использовать сухое смешивание с кокосовых волокон. Участок сжатия образца из сухой смеси показан на (рис. 4).

Таблица 4 – Данные прочности на сжатие образцов при различных способах смешивания

Метод смешивания	Прочность на сжатие, МПа	Среднее значение
Сухая смесь	4,87	5,59
	5,3	
	6,62	
Мокрое смешивание	5,52	5,21
	5,2	
	4,91	



Рисунок 3 – Участок сжатия образца, в котором волокна перемешаны во влажном состоянии.



Рисунок 4 – Участок сжатия образца, в котором волокна перемешаны сухим способом.

3.2 Сравнительный анализ прочности на изгиб имитационных балок, армированных кокосовым волокном

Маджид Али, Навави Чоу [10] провели испытания на растяжение каната из кокосового волокна, уложенного в бетон, с учётом таких факторов, как длина заделанного каната из кокосового волокна, диаметр каната, условия предварительной обработки, соотношение бетонной смеси, содержание волокна и удлинение каната из кокосового волокна. Исследования учёных показали, что канат из кокосового волокна может быть строительным компонентом для железобетона (CFRC). Также он может встраиваться в фундамент и верхние анкерные балки. Его прочность на растяжение по отношению к бетону важна для общей устойчивости предлагаемой конструкции и может повысить характеристики осевого отрыва и способность бетона к растяжению.

С помощью прецизионного анализатора прочности на изгиб КБЛС-300 были проведены испытания на изгиб обычного бетона и кокосового фибробетона размерами 100×100×400 мм. С помощью стандартной формулы расчёта прочности на изгиб GB/T50081-2019 мы получили данные физических и механических свойств бетона (1-1-1), которые отражены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты испытаний на изгиб смоделированных образцов балки 100×100×400 мм

Результаты испытаний балки на изгиб в течение 28 дней для образцов из обычного бетона					
Количество	LC1	ЛК2	LC3	Сумма	Среднее значение
КН	11,503	15,140	15,278	41,921	13,974
МПА	3,451	4,542	4,583	12,576	4,192
Результаты 28-дневных испытаний на изгиб балок с кокосовым волокном					
Количество	LCF1	LCF2	LCF3	Сумма	Среднее значение
КН	14,429	16,533	16,556	47,518	15,839
МПА	4,329	4,96	4,967	14,256	4,752

$$f_f = \frac{Fl}{bh^2(1-1)}, \quad (1)$$

где f_f – прочность бетона на изгиб (МПа) с точностью до 0,01;
 F – разрушающая нагрузка образца (Н);
 L – пролёт между опорами (мм);
 h – высота сечения образца (мм);
 b – ширина сечения образца (мм).

Из приведённых выше данных испытаний и диаграммы испытаний (рис. 7) элементов балки на изгиб можно сделать вывод, что средняя прочность на изгиб испытываемого блока из бетона без кокосового волокна составляет 4,192 МПа. Когда элемент достигает максимальной несущей способности, он разрушается, так как трещины образуются снизу и быстро распространяются по поперечному сечению вверх. В то же время в двух сечениях (рис. 5) напряжение и деформация ($\sigma - \epsilon$) бетонного элемента имеет меньше предразрывных признаков, поэтому необходимо следить за тем, чтобы крупный заполнитель равномерно распределялся по излому (рис. 8). Средняя прочность на изгиб грунта, смешанного с кокосовым волокном, составляет 4,752 МПа. Когда компонент достигает максимальной несущей способности, трещина медленно распространяется от нижней части компонента к верхней части и вниз, и в это время компонент не разрушается. Две секции любой кокосовой стружки соединяются в поперечном сечении (рис. 6). В это время деформация меньше, чем деформация ($\sigma - \epsilon$), а разрушение бетонного элемента больше. После отказа элемент не сломался и все ещё может выдерживать небольшую нагрузку. Было замечено, что распределение крупного заполнителя в трещиноватом сечении было равномерным, как и распределение кокосового волокна (рис. 9). Таким образом, бетон с добавлением 2 % кокосового волокна эффективен для повышения прочности бетона и может использоваться в проектах «зелёного» строительства.



Рисунок 5 – Испытание на изгиб обычных железобетонных элементов балки.



Рисунок 6 – Испытание на изгиб бетонной балки, армированной кокосовым волокном.

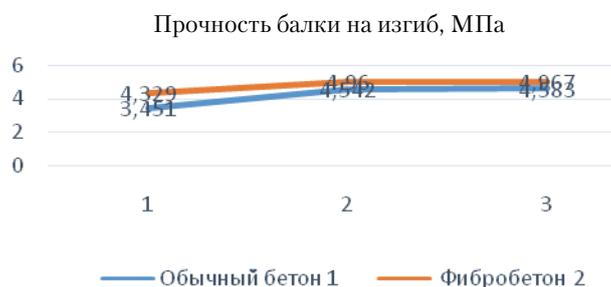


Рисунок 7 – Диаграмма смоделированных линий напряжения балки.

3.3 Сравнительный анализ прочности на сжатие имитационных колонн с кокосовым волокном

Бхупендра Кумар и др. [11] изучали воздействие на бетон путем добавления вместе волокон летучей золы и кокосового волокна для улучшения характеристик бетона. Эксперименты показывают, что замена цемента на 10 и 20 % добавлением летучей золы и добавлением 1,5; 2,0 % по весу кокосового волокна может улучшить удобоукладываемость и прочность бетона на сжатие, а также другие



Рисунок 8 – Поперечное сечение изгибаемого образца балки из обычного бетона.



Рисунок 9 – Поперечное сечение изгибаемого образца балки из бетона, армированного кокосовым волокном.

свойства бетона. В этом эксперименте тестер прочности на сжатие DS2-1000N использовался для проведения испытания на сжатие моделируемой колонны (рис. 10) на обычном бетоне и бетоне с 2 % кокосового волокна. Размер образца составлял 100×100×100 мм. Данные по прочности на сжатие полученных образцов приведены в таблице 6.

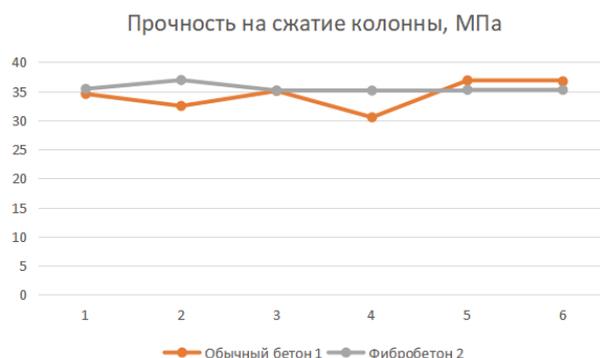


Рисунок 10 – Диаграмма силы сжатия моделируемого осевого центра колонны.

Таблица 6 – Результаты испытаний моделируемой колонны 100×100×100 мм

Результаты испытания образцов обычного бетона на осевое сжатие в течение 28 дней								
Количество	ZC1	ZC2	ZC3	ZC4	ZC5	ZC6	Сумма	Среднее значение
КН	345,384	324,739	350,563	305,218	368,72	367,045	2 061,669	343,612
МПа	34,538	32,474	35,056	30,522	36,872	36,705	206,167	34,361
Результаты 28-дневных испытаний на осевое сжатие образцов кокосового фибробетона								
Количество	ZCF1	ZCF2	ZCF3	ZCF4	ZCF5	ZCF6	Сумма	Среднее значение
КН	354,125	369,338	369,34	351,205	352,467	352,47	2 149,316	358,219
МПа	35,412	36,934	35,141	35,12	35,247	35,247	216,404	36,067

На основе данных испытаний на осевое сжатие и в соответствии с «Правилами проектирования бетонных конструкций GB50010-2010» стандартное значение кубической прочности на сжатие $f_{cu,k}$ вычисляется по формуле (2-2-2).

$$f_{cu,k} = \mu_f - 1,645\sigma_{f(2-2-2)}, \quad (2)$$

где μ_f – средняя стоимость;
 σ_f – квадрат разницы.

Согласно данным испытаний в таблице 6, среднее значение предела прочности при сжатии бетонного блока без кокосового волокна составляет 343,612 кН. Среднее значение предела прочности при сжатии грунта, смешанного с кокосовым фибробетоном, составляет 358,219 кН. Стандартное значение сжатия блока: 30,64 Н/мм², стандартное значение сжатия куба из кокосового волокна: 35,21 Н/мм². Таким образом, осевое сжатие модели бетонной колонны с 2 % кокосового волокна намного выше, чем у обычного бетона, а стандартное значение сжатия увеличивается на 4,57 Н/мм². Это показывает, что добавление кокосового волокна положительно влияет на коэффициент сжатия бетона и его можно использовать в инженерном строительстве.

3.4 Сравнительный анализ испытаний на модуль упругости бетона с кокосовым волокном

Кривая $\sigma - \varepsilon$ бетона является важным аспектом физико-механических свойств бетона и незаменимой основой для определения модуля упругости бетона. При расчёте напряжения сечения и деформации бетонных элементов, напряжения предварительного сжатия предварительно напряжённых железобетонных элементов и внутренней силы, вызванной осадкой опор из-за изменения температуры, необходимо использовать расчёт модуля упругости бетона. В общем, $\sigma - \varepsilon$ кривая сжатого бетона нелинейна, и связь между напряжением и деформацией не всегда известна, что приводит к проблеме значения «модуля». Но его коэффициент устойчивости нелегко получить из экспериментов.

Амит Рай и др. [12] описали, что добавление фибры помогает улучшить пластичность бетона и его несущую способность после образования трещин. Он также обнаружил, что армирование бетона волокном является наиболее важным фактором его прочности на изгиб. Поэтому, согласно «Стандарту GB/T 50081-2019 для методов испытаний физических и механических свойств бетона», значение модуля упругости E_c определяется следующим образом: при использовании призматических образцов верхний предел напряжения составляет 0,5 и многократное нагружение 5–10 раз в связи с пластичностью бетона. Благодаря пластическим свойствам бетона при разгрузке каждый раз возникает остаточная деформация, но при повторном нагружении остаточная деформация постепенно уменьшается. Наклон соединительной линии от начала координат до соответствующей точки кривой представляет собой модуль упругости бетона. Согласно статистическому анализу экспериментальных значений модуля упругости бетонов разных марок по прочности, эмпирическая зависимость между E_c и f_{cu} составляет формулу:

$$E_c = \frac{10^5}{2,2 + \frac{34,7}{f_{cu}}}$$

Модуль упругости бетона рассчитан в таблице 7.

Таблица 7 – Значения модуля упругости бетона с кокосовым волокном

Модуль упругости при сжатии бетонного блока E_c								
Модуль упругости при сжатии обычных бетонных колонн								
Количество	ZCF1	ZCF2	ZCF3	ZCF4	ZCF5	ZCF6	Сумма	Среднее значение
f_{cu} МПа	34,538	32,474	35,056	30,522	36,872	36,705	206,167	34,361
E_c 10 ⁴ Н/мм ²	3,120	3,059	3,135	3,00	3,184	3,180	18,678	3,113
Модуль упругости при сжатии колонн из кокосового волокна								
Количество	ZCF1	ZCF2	ZCF3	ZCF4	ZCF5	ZCF6	Сумма	Среднее значение
f_{cu} МПа	35,412	36,934	35,141	35,12	35,247	35,247	216,404	36,067
E_c 10 ⁴ Н/мм ²	3,145	3,185	3,137	3,137	3,140	3,140	18,884	3,147

Как видно из таблицы 7, модуль упругости бетона с 2 % кокосового волокна увеличивается на 0,034 МПа по сравнению с обычным бетоном. Таким образом, добавление кокосового волокна мало влияет на модуль упругости бетона, но использовать его в бетоне можно.

Проведённые испытания показали, что в определённых случаях для повышения прочности бетона, вместо стали марки HRB400, можно использовать кокосовое волокно. Это даёт экономию около 20 долларов США на м³ и значительно уменьшает строительные затраты.

4. ВЫВОДЫ

Кокосовое волокно, которое способно выдерживать определённую силовую нагрузку, можно использовать как экологически чистый композит фибробетона. Такой фибробетон будет не только соответствовать механическим требованиям к стройматериалам, предъявляемым при проектировании конкретных зданий, но и экономически эффективным.

Проведённые с помощью testXpert испытания показали, что при добавлении в бетон растительных волокон лучшим методом смешивания является сухое смешивание. Оно способствует равномерному рассеиванию волокон и предотвращает их агломерацию, что в определённой степени увеличивает прочность бетона.

2 % кокосового волокна повышают среднюю прочность бетонных балок на изгиб на 0,56 МПа. При испытании на изгиб, когда образец, имитирующий балку, достигает максимальной несущей способности, трещина медленно распространяется от нижней части элемента к верхней, и разрушение происходит не сразу. Медленное разрушение конструкции может дать людям время для спасения при стихийных бедствиях, например землетрясениях.

Экспериментальные данные показывают, что прочность образца на сжатие после добавления 2 % кокосового волокна может быть увеличена на 5 % = 17,068 кН. Нормативное значение прочности на сжатие в смеси с кокосовым волокном соответствует нормативному значению прочности C55. Это на 2 балла выше расчётного класса прочности C45.

Добавление в бетон 2 % кокосового волокна повышает прочность бетона на изгиб и осевое сжатие, увеличивает модуль упругости бетона на 1,09 %, повышает предельную несущую способность материала. При этом двухпроцентной добавки кокосового волокна недостаточно, чтобы улучшить предельную нагрузку в конце упругой деформации и эффективно препятствовать образованию трещин.

Изучение свойств фибробетонов с растительными волокнами является перспективным научным направлением и требует дальнейших исследований как с учетом «зелёных» технологий, так и экономического эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, J. Wei. Effect of alkali treatment on the morphological structure of coconut fiber / J. Wei Wang, Gu. Huang. – Текст : непосредственный // Shanghai Textile Science and Technology. – 2008. – Volume 36(10). – P. 20–22. – DOI: 10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2008.10.007.
2. Coir-Cement Composite Materials / P. M. Katkar, C. A. Patil, P. A. Khude [et al.]. – Текст : электронный // International Textile Review. – 2013. – Volume 41(02), issue 56. – P. 58–59. – URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD2013&filename=GFZB201302026&uniplatform=NZ-KPT&v=BJz8XTGNVa_pVU3w5_pp6qAo7cHaw3usjwi2s7EuXT3xJKwEb47C7Q8nVLaCZzzh (дата обращения: 04.04.2022).
3. Lertwattanaruk, P. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications / P. Lertwattanaruk, A. Suntijitto. – Текст : непосредственный // Construction and Building Materials. – 2015. – Volume 94. – P. 664–669. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.154> (дата обращения: 04.04.2022).
4. Pardeshi, S. Studies on fiber-concrete composite / S. Pardeshi, M. Y. Gudiyawar, P. M. Katkar // Technische Textilien. – 2013. – Volume 56, issue 4. – P. E189–E191. – 3 p. – URL: <https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=03233243&AN=90420638&h=dBXeGdpRYBbUWCU3xPK12-QntrpXm0FWfJKb9hemzn5KQgPxGinDBIyqF9ybTobPVtLEQ3UEVw1L0UbAMtB%2bXDA%3d%3d-&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrInotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d03233243%26AN%3d90420638> (дата обращения: 04.04.2022).
5. International Year of Natural Fibers 2009. – Текст : электронный // Food and Agriculture Organization of the United Nations : [сайт]. – 2009. – URL: www.naturalfibres2009.org (дата обращения: 04.04.2022).
6. Mechanical and dynamic properties of coconut fiber reinforced concrete / Ali Majid, Liu Anthony, Sou Hou, and Nawawi Chow // Construction and Building Materials. – 2012. – Volume 30. – P. 814–825. – URL: <https://daneshyari.com/article/preview/258585.pdf> (дата обращения: 02.04.2022).
7. Reinforcing Mechanisms of Coir Fibers in Light-Weight Aggregate Concrete / X. Zhang, L. Pel, F. Gauvin [et al.]. – Текст : электронный // Materials. – 2021. – Volume 14(3), issue 699. – URL: <https://doi.org/10.3390/ma14030699> (дата обращения: 10.04.2022).
8. Shikha, Rajan Evaluation of Compressive Strength of Concrete Using Coconut Coir Fiber / Rajan Shikha, A. K. Saxena, A. K. Jha // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. – 2015. – Volume 3. – P. 313–317. – URL: <https://1library.net/document/zke0lxez-evaluation-compressive-strength-concrete-using-coconut-coir-fibre.html> (дата обращения: 10.04.2022).

9. Enhancement of properties of concrete using natural fibers / N. K. Krishna, M. Prasanth, R. Gowtham [et al.]. – Текст : электронный // Materials Today: Proceedings. – 2018. – Volume 5(11). – P. 23816–23823. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.173> (дата обращения: 10.04.2022).
10. Ali, M. Experimental investigations on coconut-fibre rope tensile strength and pullout from coconut fibre reinforced concrete / M. Ali, N. Chouw. – Текст : электронный // Construction and Building Materials. – 2013. – Volume 41. – P. 681–690. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.052> (дата обращения: 12.04.2022).
11. Bhupendra, Kumar. Effect of Coconut Fiber and Fly Ash on Concrete / Kumar Bhupendra, Dr. Amit Viswakarma, Dr. S. S. Kuswah. – Текст : электронный // International Journal of Science Technology&Engineering. – 2015. – Volume 2. – P. 127–133. – URL: <http://www.ijste.org/articles/IJSTEV2I3038.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).
12. Amit, Rai Applications and properties of fiber reinforced concrete / Amit Rai, Dr. Y. P. Joshi. – Текст : электронный // International Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Volume 4. – P. 123–131. – URL: https://www.academia.edu/7676360/Applications_and_Properties_of_F (дата обращения: 12.04.2022).

Получена 05.04.2022

ВАН СЯНЬПЕН, С. М. ЛЕОНОВИЧ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ПЕРЕРОБЛЕНОГО
БЕТОНУ З 2 % КОКОСОВОГО ВОЛОКНА

Білоруський національний технічний університет, м. Мінськ, Білорусь

Анотація. Створення нових будівельних матеріалів потребує серйозних досліджень фібробетонів, що включають до свого складу відновлювані та екологічно чисті рослинні волокна: бамбукове, сизалеве, солом'яне, кокосове та ін. Ці дослідження активно ведуться із середини 20 століття. Вчені встановили, що механічні характеристики фібробетону, у тому числі міцність на вигин та стиснення, термостійкість і тріщиностійкість, залежать від властивостей самих волокон та від їх кількості у складі бетону. У статті аналізуються дані випробувань бетону із додаванням кокосового волокна. Результати показали, що 2 % кокосової фібри підвищує міцність бетону на вигин, осьове стиснення та тріщиностійкість. За своїми механічними характеристиками такий фібробетон відповідає вимогам, що висуваються певним типам бетону, і може бути використаний як «зелений» будматеріал.

Ключові слова: бетон, кокосове волокно, міцність на вигин, міцність на стиск, тріщиностійкість.

WANG XIANPENG, SERGEY LEONOVICH
EXPERIMENTAL STUDY ON STRENGTH OF 2 % COIR FIBER RECYCLED
CONCRETE

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The creation of new building materials requires serious research on fiber-reinforced concrete, which includes renewable and environmentally friendly plant fibers: bamboo, sisal, straw, coconut, etc. These studies have been actively conducted since the middle of the 20th century. Scientists have found that the mechanical characteristics of fiber-reinforced concrete, including flexural and compressive strength, heat resistance and crack resistance, depend on the properties of the fibers themselves and on their amount in the concrete composition. The article analyzes test data for concrete with the addition of coconut fiber. The results showed that 2 % coconut fiber increased the concrete's flexural strength, axial compression, and crack resistance. According to its mechanical characteristics, such fiber-reinforced concrete meets the requirements for certain types of concrete, and can be used as a «green» building material.

Key words: concrete, coconut fiber, bending strength, compressive strength, crack resistance.

Ван Сяньпэн – аспирант кафедры строительных материалов и технологии строительства Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь. 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, г. Минск, Беларусь. Ино-странный 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 Сяньпен – аспірант кафедри будівельних матеріалів та технології будівництва Білоруського національного технічного університету, м. Мінськ, Білорусь. 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, м. Мінськ, Білорусь. 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 (RILEM), 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, Minsk, Belarus. 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, Minsk, Belarus. 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.