Строительные материалы и изделия

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-2-11>
УДК 691

Р.С. Федюк, А.В. Баранов, Ю.Л. Лисейцев, А.К. Смоляков,
А.В. Черкасов, В.С. Гиневский

ФЕДЮК РОМАН СЕРГЕЕВИЧ – к.т.н., доцент, e-mail: fedyuk.rs@dvfu.ru
СМОЛЯКОВ АЛЕКСЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ – студент, e-mail: smoliakov.ak@mail.ru
ЧЕРКАСОВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – студент,
e-mail: andrey_cherkasov_97@mail.ru
ГИНЕВСКИЙ ВЛАДИСЛАВ СЕРГЕЕВИЧ – студент, e-mail: ginya97@gmail.com
Учебный военный центр
БАРАНОВ АНДРЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ – соискатель, кафедра гидротехники, теории
зданий и сооружений Инженерной школы, e-mail: de_montgomery@mail.ru
ЛИСЕЙЦЕВ ЮРИЙ ЛЕОНИДОВИЧ – преподаватель военной кафедры
Факультета военного обучения, e-mail: y.liss@mail.ru
Дальневосточный федеральный университет
Суханова ул., 8, Владивосток, 690091

Повышение динамической прочности фибробетонов

Аннотация: Исследование динамической прочности бетонных сооружений необходимо для целого ряда зданий и сооружений, эксплуатирующихся при нагрузках, изменяющихся во времени. Несмотря на то что вопросам повышения динамической эффективности бетонов посвящен ряд работ, в российских нормах отсутствует методика определения коэффициента динамического упрочнения, а формулы из зарубежных норм требуют корректировки. В то же время фибробетоны являются весьма перспективными композитами для использования их в наиболее ответственных сооружениях. Статья посвящена исследованию динамической прочности разработанных фибробетонов, обладающих высоким коэффициентом динамического упрочнения за счет применяемого сырья и технологии изготовления. Проведено усовершенствование методики испытаний образцов-цилиндров, заключающееся в обработке торцов полиэфирным клеем. Получены результаты динамической прочности до 130 МПа. Предложена эмпирическая формула, дающая адекватные результаты вычисления коэффициента динамического упрочнения фибробетона. Выявлены условия и факторы, определяющие позитивный эффект от армирования фиброволокном бетонной матрицы как на этапе структурообразования, так и на этапе нагружения.

Ключевые слова: фибробетон, защитное сооружение, динамическая прочность, коэффициент динамического упрочнения, дисперсное армирование.

Введение

Динамическая прочность бетонов является важным критерием оценки бетонов, эксплуатирующихся при нагрузках, изменяющихся во времени. Особенно важна данная характеристика для конструкций защитных сооружений, мостов, взлетно-посадочных полос, свайных опор и т.п.

Высокие показатели динамической прочности могут достигаться различными способами.

1. Повышение статических прочностных характеристик за счет применения цемента высоких марок, специального подбора количества, гранулометрии и физико-механических свойств заполнителей, а также использования химических модификаторов.

2. Перспективным, но достаточно трудозатратным и дорогим способом может стать модифицирование бетонной структуры за счет добавления в смесь дисперсных демпфирующих добавок, обладающих маложесткой и пористой структурой (исследования П.Г. Комохова, Д.А. Ламзина, А.В. Парфенова и др. [1, 2, 5, 9]).

В то же время получаемые таким образом бетонные композиты не могут удовлетворить требования к защитным сооружениям для нормативной эксплуатации в ходе применения современных средств поражения, оказывающих большие ударные воздействия на несущие и ограждающие элементы.

Эффективным способом служит применение для материалов ограждающих конструкций защитных сооружений фибробетона, который потенциально обладает повышенной ударостойкостью (труды Ю.В. Пухаренко, В.С. Лесовика, Л.А. Урхановой и ее учеников, A. Abirishambaf, D.-Y. Yoo [6, 7, 10–12, 19]). Распределение напряжений в бетонной матрице, обеспечиваемое за счет дисперсного армирования, ведет к росту физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик композита: статической прочности на сжатие и на растяжение, трещиностойкости, ударной выносливости.

В указанных работах сделан вывод, что в результате роста скорости нагружения (соответственно, увеличения скорости деформации) материал упрочняется. Характеристика этого процесса определяется коэффициентом динамического упрочнения КДУ. В основе КДУ лежит зависимость статической прочности бетона от динамической. Важным критерием, по которому можно определить время работы материала при перегрузке (в сравнении со статической прочностью), служит длительность задержки перед разрушением.

Другими параметрами, оценивающими поведение бетонного композита под ударными воздействиями, служат:

- энергетическая характеристика, выражающаяся через количество работы, потраченное на начало трещинообразования и на разрушение образца;
- динамический предел прочности, при котором появляется местное разрушение;
- объем разрушений, возникающих при определенных характеристиках удара.

В международном нормативном документе [13] КДУ определяется следующим образом:

$$\text{КДУ} = \frac{f_{cd}}{f_{cs}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_s}\right)^{1,026\alpha_s} \text{ при } \dot{\varepsilon} \leq 30 \text{ с}^{-1}, \quad (1)$$

$$\text{КДУ} = \frac{f_{cd}}{f_{cs}} = \gamma_s \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_s}\right)^{1/3} \text{ при } \dot{\varepsilon} > 30 \text{ с}^{-1}, \quad (2)$$

где f_{cd} – динамическая прочность на сжатие, f_{cs} – статическая прочность на сжатие; $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации в диапазоне от $30 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ до 300 с^{-1} (определяется как осевая деформация с максимальной прочностью, деленная на время, затраченное на достижение этого значения); $\dot{\varepsilon}_s$ – статическая скорость деформации, $30 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$;

$$\gamma_s = 10^{(6,156\alpha_s - 2)},$$

$$\alpha_s = \frac{1}{5 + 9f_{at}/f_{co}},$$

$$f_{co} = 10 \text{ МПа}.$$

Работа [2] показывает, что свойства бетона в зависимости от характера нагружения напрямую связаны с его структурой, они будут варьироваться в зависимости от ряда условий:

- характеристик исходного сырья;
- в части, касающейся структуры, в основном от концентрации и местоположения всех компонентов, а также от количественных и качественных характеристик дефектной структуры, от параметров переходной зоны между цементно-композиционной матрицей и частицами заполнителя;

- многое зависит от подвижности смеси.

Лучшими характеристиками ударной выносливости обладают бетонные композиты с малой дефектностью, плотные и гомогенные, с высокой степенью адгезии между цементной матрицей и заполнителями, а также высоким отношением между статическими прочностями на растяжение и на сжатие $R_p/R_{сж}$ и пластичностью. Данное отношение повышается в случае использования фибробетонов. Отсюда цель настоящей статьи: исследование динамической прочности разработанных фибробетонов, обладающих высоким коэффициентом динамического упрочнения за счет применяемого сырья и технологии изготовления.

Материалы и методы исследования

Ранее научным коллективом под руководством одного из авторов представленной статьи Р.С. Федюка была разработана широкая номенклатура фибробетонов для специальных сооружений [14, 15]. Разработка фибробетонов осуществлялась с учетом применения теоретических положений трансдисциплинарной науки геоники (геомиметики) [6, 7]. В данной работе проводилось исследование трех инновационных составов (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики исследуемых фибробетонов

Состав, №	Расход материалов на 1 м ³						Расплав конуса, мм	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Модуль упругости, ГПа
	Вязущее, кг		Гиперпластификатор, кг	Песок, кг	Вода, л	Фибра, кг				
	Цемент	Наполнители КВ								
1–2	646	508	15	1020	223	36	730	75,8	14,5	41,0
2–2	606	548	15	1020	231	36	710	84,6	16,2	43,3
3–2	695	389	18	1020	196	36	680	77,3	14,9	41,8

Исследование цилиндров диаметром 75 мм и высотой 40 мм проводилось на испытательной установке Морской инженерной службы Тихоокеанского флота (МИС ТОФ) (рис. 1), изучалось влияние скорости деформации образцов на их механические свойства (зависимость напряжения от деформации, прочность на сжатие и т.д.).

Рис. 1. Схема установки МИС ТОФ.

Испытательная установка состоит из входной и выходной трубы длиной по 5 м и ударника длиной 0,5 м (все элементы из стали). Формирователи импульсов – латунные диски различных диаметров и толщин, размещенные на ударном торце входного стержня, – использовались для регулировки входного импульса для достижения приблизительно постоянных скоростей деформации. Пластическая деформация формирователей импульсов также минимизирует высокочастотные шумовые составляющие во входном импульсе. Высокоскоростная камера, рабо-

тающая со скоростью 50 000 кадров в секунду, использовалась для наблюдения за деформацией и разрушением образцов.

Процедура испытаний

Принцип действия испытательной установки заключается в следующем. Ударник запускается газовой пушкой, ударяется о входную трубу и генерирует импульс сжатия, передающийся к образцу, из-за чего образец сжимается. Часть этого импульса передается через образец в выходную трубу, а часть отражается обратно, к ударному торцу входной трубы. Отраженный импульс вместе с входным импульсом регистрируется диаметрально противоположной парой тензодатчиков, установленных на входной трубе, в ее средней части, в то время как импульс, передаваемый через образец на выходную трубу, измеряется другой парой диаметрально противоположных тензодатчиков в средней части выходной трубы. Из входных, отраженных и переданных сигналов деформации, обнаруженных датчиками деформации, были определены напряжение σ , деформация ε и скорость деформации $\dot{\varepsilon}$, испытываемые образцом, по формулам:

$$\sigma(t) = \frac{A_B}{A_{SO}} E_B \varepsilon_T(t); \quad \varepsilon(t) = \int_0^t \dot{\varepsilon}(\tau) d\tau; \quad \dot{\varepsilon}(t) = \frac{2c_B}{L_{SO}} \varepsilon_R(t),$$

где A_B – площадь поперечного сечения труб ввода / вывода; E_B – модуль Юнга материала трубы (стали); $c_B = \sqrt{E_B / \rho_B}$ – скорость упругой продольной волны в трубах; A_{SO} и L_{SO} – начальная площадь поперечного сечения и длина образца соответственно; $\varepsilon_R(t)$ и $\varepsilon_T(t)$ – отраженная и передаваемая деформации.

Для образцов, испытываемых на динамическое сжатие, их торцы (AB, CD на рис. 2) в идеале должны быть параллельны друг другу. Однако изготовленные образцы имеют разницу между их минимальной (AC) и максимальной (BD) толщиной до 0,2 мм (т.е. отклонение 0,5% по отношению к средней толщине). Это приводит к точечному контакту между образцом и трубой ввода / вывода в начале нагрузки, как показано на рис. 2 а, вызывая концентрацию напряжений и преждевременное разрушение; следовательно, могут быть получены неадекватно низкие значения динамической прочности. Первоначальные испытания образцов 2–2 без обработки поверхности их торцов показали прочность на сжатие ~ 90 МПа для скорости деформации ~ 40 с⁻¹ (рис. 2, б), что аналогично значению статической прочности. Обработка торцов производилась полиэфирным клеем RP-2 (Япония), который застывал 12 часов.

Рис. 2. Подготовка торцов образцов (а) и влияние этого на диаграмму «напряжения–деформации» при скорости нагружения 40 с⁻¹ (б).

Рис. 3. Два последовательных формирователя импульсов (а) и генерируемый входной двухфазный импульс (б).

На торце входной трубы размещены последовательные формирователи импульсов – 2 латунных диска с диаметрами 6 мм и 20 мм. Под воздействием ударника маленький диск деформируется первым, затем генерирует постепенный входной импульс (рис. 3) для дальнейшего улучшения и обеспечения полного контакта поверхностей между образцом и трубой для обеспечения фактической загрузки образца.

Амплитуда и продолжительность импульса могут быть скорректированы путем изменения диаметра и толщины меньшего диска. Последующая деформация диска большего размера приводит к резкому увеличению входного импульса для загрузки образца до разрушения.

Обсуждение полученных результатов

Полученные диаграммы «напряжения–деформации» при скоростях нагружения 40–110 с^{-1} представлены на рис. 4. Три разработанных состава фибробетона демонстрируют сходное поведение под динамической нагрузкой – их прочность на сжатие увеличивается со скоростью деформации, а динамическая прочность значительно выше, чем статическая.

Рис. 4. Диаграммы «напряжения–деформации» при скоростях нагружения 40–110 с^{-1} : а – образец 1–2, б – образец 2–2, в – образец 3–2

На рис. 5 показано изменение КДУ для разработанных составов 1–2, 2–2 и 3–2 в диапазоне скоростей деформации $30\text{--}110\text{ с}^{-1}$; это показывает, что 1–2 и 3–2 имеют одинаковую чувствительность к скорости нагружения (КДУ), в то время как образец 2–2 гораздо менее чувствителен к скорости нагружения. Расчет по формуле (1), которая взята из зарубежных нормативов (модель СЕВ-FIP [13, 16]), не соответствует экспериментальным данным, особенно для состава 2–2. Расчет по модели указывает на более высокую скорость деформации; линейные совпадения с экспериментальными данными пересекают начальный (постепенный) наклон графика СЕВ-FIP при скоростях деформации перехода из упругой стадии в пластическую $\sim 15\text{ с}^{-1}$, $\sim 11\text{ с}^{-1}$ и $\sim 7\text{ с}^{-1}$ для 1–2, 3–2 и 2–2 соответственно; они ниже, чем 30 с^{-1} в соответствии с моделью СЕВ-FIP. Кроме того, за пределами этой скорости деформации модель предсказывает более резкое увеличение КДУ со скоростью деформации по сравнению с текущими результатами.

Рис. 5. Коэффициент динамического упрочнения разработанных фибробетонов.

Вследствие анализа полученных эмпирических результатов, а также результатов других работ [4, 7, 8, 17, 18] была предложена эмпирическая формула для описания чувствительности к скорости деформации изученных фибробетонов; она предполагает применимость модели СЕВ-FIP для скоростей деформации ниже скорости деформации перехода и линейного увеличения КДУ с логарифмом скорости деформации выше скорости перехода.

$$\text{КДУ} = \begin{cases} (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)^{0,014}, & \text{при } \dot{\epsilon} \leq \dot{\epsilon}_{TR}, \\ A \cdot \lg(\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0) + B, & \text{при } \dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_{TR}, \end{cases}$$

где $\dot{\epsilon}_0 = 30 \times 10^{-6}\text{ с}^{-1}$, $\dot{\epsilon}_{TR}$ – скорости деформации перехода, А и В – константы. Значения А, В и $\dot{\epsilon}_{TR}$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Константы в предлагаемой формуле КДУ для фибробетонов

Состав фибробетона	А	В	$\dot{\epsilon}_{TR}, \text{ с}^{-1}$
1–2	0,6412	-2,3501	15
2–2	0,2290	-0,0889	7
3–2	0,5731	-2,0604	11

Результаты исследований подтверждают, что фибробетон достигает гораздо больших деформаций при сжатии и ударном воздействии, чем неармированный бетон, т.е. он может обеспечить гораздо более пластичное поведение структуры во время эксплуатации при сверхнормативных нагрузениях. Это обеспечивает более благоприятное распределение внутренних сил в конструкции и увеличивает ее несущую способность. Наибольший практический эффект от армирования фиброволокном заключается в небольшой ширине раскрытия трещин, что обеспечивает однородность и непрерывность разрушаемой структуры. Особо актуально дисперсное армирование для сужения трещин, вызванных часто непредсказуемыми деформациями от усадки и изменения температуры. Поэтому использование дисперсного армирования оправдано для конструкций под статической, динамической и ударной нагрузкой.

Заключение

Таким образом, была исследована динамическая прочность разработанных фибробетонов, выявлено, что позитивный эффект от воздействия армирования фиброволокном на микроструктуру бетона и, как следствие, на его физико-механические свойства, связан со следующими факторами:

- на этапе структурообразования – перераспределением напряжений при пластической усадке от наиболее опасных зон на весь объем бетонного композита;
- в ходе нагружения – снижением скорости трещинообразования и уменьшением концентрации напряжений вокруг макроскопических дефектов, уравниванием напряжений в структуре бетонного композита и их перераспределением между структурными компонентами дисперсно-армированного бетона.

Следует отметить, что на эффективность применения фиброволокна в бетонном композите при воздействии динамической нагрузки влияют следующие параметры дисперсно-распределенного армирования: прочность сцепления фиброволокна с бетонным композитом, длина фиброволокна l (или отношение длины к диаметру фибры l/d), а также концентрация фиброволокна в объеме композита.

При исследовании механических характеристик композитов с применением фибры при оценке влияния длины фиброволокна использовался относительный параметр l/d , при этом считалось, что максимальное упрочнение достигается при отношении l/d в пределах от 60 до 100. В случае повышения значения данного отношения (т.е. при увеличении длины фиброволокна) эффект армирующего упрочнения снижается из-за комкования фибры и снижения структурной гомогенности.

Оптимизация микроструктуры бетонного композита реализуется, начиная с определенного уровня, способного обусловить формирование первоначальной объемно-пространственной связности фибробетонной структуры; после достижения этой «непрерывности» фиброармирования ощущается его положительное влияние на характеристики мелкозернисто-бетонной матрицы. Это хорошо согласуется с результатами ранее опубликованных работ.

Усовершенствована методика испытаний фибробетонных образцов-цилиндров за счет обработки торцов полиэфирным клеем: таким образом устраняется концентрация напряжений в испытываемых образцах. Получены результаты динамической прочности разработанных фибробетонов до 130 МПа. Предложена эмпирическая формула, дающая адекватные результаты вычисления коэффициента динамического упрочнения фибробетона. Выявлены условия и факторы, определяющие позитивный эффект от армирования фиброволокном бетонной матрицы, как на этапе структурообразования (перераспределение напряжений при пластической усадке от наиболее опасных зон на весь объем бетонного композита), так и на этапе нагружения (снижение скорости трещинообразования и уменьшение концентрации напряжений вокруг макроскопических дефектов, уравнивание напряжений в структуре бетонного композита и их перераспределение между структурными компонентами дисперсно-армированного бетона).

Вклад авторов в статью: Р.С. Федюк – общее руководство, работа с текстом статьи, внес основной вклад в ее написание; А.В. Баранов – изучение степени разработанности темы, работа с текстом статьи; Ю.Л. Лисейцев – выведение зависимостей, оформление графиков, написание и оформление статьи; А.К. Смоляков – проведение экспериментов; А.В. Черкасов – формулирование цели, задач и выводов, работа с текстом статьи; В.С. Гиневский – натурное исследование существующих специальных сооружений Приморского края, испытывающих динамические нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков В.В., Каримов И.Ш., Комохов П.Г. Аспекты формирования высокопрочных и долговечных цементных связок в технологии бетонов // Известия вузов. Строительство. 1996. № 4. С. 41–48.
2. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. М.: Стройиздат, 1970. 274 с.
3. Бетон. Т. II. Справочник / под ред. П.Г. Комохова. СПб.: Профессионал, 2009. 612 с.
4. Бирюков А.Н., Дудурич Б.Б., Бирюков Ю.А. Новые быстротвердеющие цементные составы для проведения текущего, капитального ремонтов и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах Министерства обороны Российской Федерации // Военный инженер. 2018. № 1(7). С. 37–45.
5. Ламзин Д.А. Высокоскоростное деформирование и разрушение мелкозернистых бетонов: дис. ... канд. тех. наук. Нижний Новгород, 2014.
6. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // Вестник МГСУ. 2017. № 1. С. 9–16.
7. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л., Толстой А.Д., Володченко А.А. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // Строительные материалы. 2015. № 9. С. 18–22.
8. Логанина В.И. Обеспечение качества строительных изделий и конструкций // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2018. № 1(6). С. 21–25.
9. Парфенов А.В. Ударная выносливость бетонов на основе стальной и синтетической фибры: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Уфа, 2004. 20 с.
10. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволоочной фиброй // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 143–147.
11. Розина В.Е., Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Буянтуев С.Л. Фибробетон с базальтовым волокном и нанокремнеземом // Современные строительные материалы, технологии и конструкции: материалы междунар. науч.-практ. конф. / Грозненский государственный нефтяной тех. ун-т имени академика М.Д. Миллионщикова. Грозный, 2015. С. 53–57.
12. Abrishambaf A., Pimentel M., Nunes S. Influence of fibre orientation on the tensile behaviour of ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites. Cement and Concrete Research. 2017(97):28–40.
13. CEB. Concrete Structures under Impact and Impulsive Loading. Synthesis Report, Bulletin d'Information No. 187 (Comité Euro-International du Béton, Lausanne, 1988).
14. Fediuk R.S., Mochalov A.V., Timokhin R.A. Low-permeability fiber-reinforcement concrete of composite binder. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018;463:022058.
15. Fediuk R.S., Pak A.A., Timokhin R.A., Svintsov A.P., Lesovik V.S. Designing of special concretes for machine building. J. of Physics, Conference Series. 2018. 012026.
16. FIB Model Code for Concrete Structures 2010. 2013. 434 p. URL: <https://www.wiley.com/en-ru/fib+Model+Code+for+Concrete+Structures+2010-p-9783433030615> – 20.03.2019.
17. Lesovik V.S., Erofeev V.T., Fomina E.V., Kozhukhova M.I., Volodchenko A.A., Tolstoy A.D. Technogenic metasomatoses in construction material science. Ibaasil conference proceedings. 2018, p. 2523–2527.
18. Lukutsova N., Pashayan A., Khomyakova E., Suleymanova L., Kleymenicheva Y. The use of additives based on industrial wastes for concrete. International J. of Applied Engineering Research 2016;(11);11:7566–7570.
19. Yoo D.-Y., Banthia N. Mechanical properties of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete: A review. Cement and Concrete Composites. 2016(73): 267–280.

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-2-11>

Fediuk R., Baranov A., Liseitsev Y., Smoliakov A., Cherkasov A., Ginevskiy V.

ROMAN FEDIUK, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,

e-mail: feduk.rs@dvfu.ru

ALEKSEY SMOLIAKOV, Student, e-mail: smoliakov.ak@mail.ru

ANDREY CHERKASOV, Student, e-mail: andrey_cherkasov_97@mail.ru

VLADISLAV GINEVSKIY, Student, e-mail: ginya97@gmail.com

Military Training Center

ANDREY BARANOV, Postgraduate, Department of Hydraulic Engineering, Theory of Buildings and Structures, School of Engineering, e-mail: de_montgomery@mail.ru

YURIY LISEITSEV, Lecturer of the Military Department, Faculty of Military Training, e-mail: y.liss@mail.ru

Far Eastern Federal University

8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

Increasing the dynamic strength of fiber concretes

Abstract: The study of the dynamic strength of concrete structures is necessary for special structures that are operated at loads that vary over time. Despite the fact that a number of works are devoted to the issues of improving the dynamic strength of concrete, the Russian standards do not contain a method for determining the dynamic hardening coefficient, and formulas from foreign standards require adjustment. At the same time, the fiber concretes are very promising composites for use in the impact resistant structures. The paper presents the study results of the dynamic strength of the newly developed fiber-reinforced concrete. The method of testing cylinder samples has been improved by processing the ends with polyester glue. The results of dynamic strength up to 130 MPa were obtained. An empirical formula is proposed that gives adequate results for calculation of the the dynamic hardening coefficient of fiber concrete. The conditions and factors that determine the positive effect of fiber concrete matrix reinforcement, both at the stage of structure formation and at the stage of loading, are discussed.

Keywords: fiber concrete, protective structure, dynamic strength, dynamic hardening coefficient, dispersed reinforcement.

REFERENCES

1. Babkov V.V., Karimov I.Sh., Komokhov P.G. Aspects of the formation of high-strength and durable cement ligaments in concrete technology. News of Universities. Building. 1996;4:41–48.
2. Bazhenov Yu.M. Concrete under dynamic loading. M., Stroiizdat, 1970, 274 p.
3. Concrete. Vol. 2. Handbook. Ed. P.G. Komokhov. St. Petersburg, Professional, 2009, 612 p.
4. Biryukov A.N., Dudurich B.B., Biryukov Yu.A. New fast-hardening cement compositions for current, capital repairs and emergency response at the facilities of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Military Engineer. 2018;1:37–45.
5. Lamsin D.A. High-speed deformation and destruction of fine-grained concretes: diss. ... Ph.D. Nizhny Novgorod, 2014.
6. Lesovik V.S. Construction materials. Present and future. Vestnik MGSU. 2017;1: 9–16.
7. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L., Tolstoy A.D., Volodchenko A.A. Affinity of structures as a theoretical basis for designing composites of the future. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2015;9:18–22.

8. Loganina V.I. Ensuring the quality of building products and structures. Bulletin of PGUAS: construction, science and education. 2018;1:21–25.
9. Parfenov A.V. Impact endurance of concrete based on steel and synthetic fibers: author. diss. ... Ph.D. Ufa, 2004, 20 p.
10. Puharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Deformation diagrams of cement composites reinforced with steel wire fiber. Academia. Architecture and Construction. 2018;2:143–147.
11. Rozina V.E., Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Buyantuyev S.L. Fiber concrete with basalt fiber and nanosilicon. Modern building materials, technologies and designs: Materials of the International Scientific and Practical Conference. Grozny State Oil Technical University named after Academician Millionshchikov. 2015, p. 53–57.
12. Abrishambaf A., Pimentel M., Nunes S. Influence of fibre orientation on the tensile behaviour of ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites. Cement and Concrete Research. 2017(97):28–40.
13. CEB. Concrete Structures under Impact and Impulsive Loading. Synthesis Report, Bulletin d'Information No. 187 (Comité Euro-International du Béton, Lausanne, 1988).
14. Fediuk R.S., Mochalov A.V., Timokhin R.A. Low-permeability fiber-reinforcement concrete of composite binder. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018;463:022058.
15. Fediuk R.S., Pak A.A., Timokhin R.A., Svintsov A.P., Lesovik V.S. Designing of special concretes for machine building. J. of Physics, Conference Series. 2018. 012026.
16. FIB Model Code for Concrete Structures 2010. 2013. 434 p. URL: <https://www.wiley.com/en-ru/fib+Model+Code+for+Concrete+Structures+2010-p-9783433030615> – 20.03.2019.
17. Lesovik V.S., Erofeev V.T., Fomina E.V., Kozhukhova M.I., Volodchenko A.A., Tolstoy A.D. Technogenic metasomatose in construction material science. Ibaasil conference proceedings. 2018, p. 2523–2527.
18. Lukutsova N., Pashayan A., Khomyakova E., Suleymanova L., Kleymenicheva Y. The use of additives based on industrial wastes for concrete. International J. of Applied Engineering Research 2016;(11);11:7566–7570.
19. Yoo D.-Y., Banthia N. Mechanical properties of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete: A review. Cement and Concrete Composites. 2016(73):267–280.