

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 6. С. 112–121.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (6): 112–121.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.32

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-112-121

EDN: LIHOCL

ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ФИБРОПОЛИПРОПИЛЕН-АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

Инна Геннадьевна Корнеева, Борис Израилевич Пинус

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия*

Аннотация. В работе представлен сравнительный анализ усталостных последствий в обычных и фиброармированных цементно-матричных композитах (фиброполипропилен-армированных бетонов) в процессе многократно повторных нагружений.

Актуальность. Учет последствий малоциклового усталости на стадии принятия проектных решений.

Цель. Оценить усталостные изменения обычных и фиброармированных цементно-матричных композитов в процессе многократно повторных нагружений с нулевым коэффициентом асимметрии и амплитудой 0,6–0,9. Многократным циклическим воздействиям подвергнуты образцы двух серий: из обычного бетона и фибробетона с полипропиленовыми волокнами эквивалентным диаметром 0,8 мм и длиной 40 мм с объемным процентом армирования 1,5 %.

Методы. Использована методика автоматизированного многофакторного контроля всех деформаций и их структурно-значимых компонентов. Динамические испытания выполнялись на испытательном комплексе Instron 5989 в жестком режиме изменения нагрузки с регламентированной скоростью деформирования образца 0,04 мм/с. Измерение деформаций производилось на полной базе в двух направлениях. Фиксация контролируемых параметров велась через каждые 10 циклов воздействий – до 300 циклов. Структурный анализ деформативности проводился с учетом физических закономерностей их развития. В качестве критериальных параметров внутреннего сопротивления приняты показатели остаточных деформаций и цикловая кинетика приращений деформаций.

Выводы. Установлены повышенная демпфирующая способность фиброкомпозита, больший потенциал усталостного сопротивления при флуктуации напряженного состояния.

Эта работа является переводом оригинальной статьи, опубликованной на английском языке: Korneeva I.G., Pinus B.I. Dynamical stability of polypropylene fibre reinforced concrete // AIP Conf. Proc. 2022. V. 2434. P. 020006 с разрешения AIP Publishing. Публикация на русском языке позволит русскоязычным читателям получить новую информацию без перевода англоязычной версии статьи, при котором возможна некоторая потеря смыслового содержания текста.

Ключевые слова: усталость, фибробетон, деформации, циклические воздействия

Для цитирования: Корнеева И.Г., Пинус Б.И. Динамическая устойчивость фиброполипропилен-армированных бетонов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 6. С. 112–121. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-112-121. EDN: LIHOCL

ORIGINAL ARTICLE

DYNAMIC STABILITY OF POLYPROPYLENE FIBER-REINFORCED CONCRETE

Inna G. Korneeva, Boris I. Pinus

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The paper presents a comparative fatigue analysis of conventional and fiber-reinforced cement matrix composites under few repeated loads. Consideration of low-cycle fatigue at a design stage.

Purpose: The aim of the work is to evaluate fatigue changes in conventional and fiber-reinforced cement matrix composites during repeated loads with zero asymmetry coefficient and 0.6–0.9 amplitude. Subjected to low cyclic loads are ordinary concrete and polypropylene fiber reinforced concrete with an equivalent diameter 0.8 mm and 40 mm length with 1.5 vol.% reinforcement.

Methodology: Automated multi-factor strain control indicating structurally relevant components. Dynamic tests are performed on an Instron 5989 testing machine using a hard mode of the load change at 0.04 mm/s strain rate. Strain is measured in two directions. Control parameters are recorded after each 10 cycles until 300 cycles. Residual strain and cyclic kinetics of incremental strain are the key parameters of internal resistance.

Value: Detected are the higher damping ability of the fiber composite and higher fatigue resistance potential at the stress-state fluctuation.

Keywords: fatigue, fiber reinforced concrete, deformation, cyclic effect

For citation: Korneeva I.G., Pinus B.I. Dynamic Stability of Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (6): 112–121. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-112-121. EDN: LIHOCL

Введение

Многочисленные экспериментально-аналитические исследования малоциклового усталости [1, 2, 3, 4] базируются на оценке и обобщении последствий многократных повторных нагружений (воздействий) флуктуационной интенсивности менее нормативно-расчетного уровня. Их обобщенный анализ позволяет предполагать, что учет малоциклового усталости (МУ) на стадии принятия проектных решений может основываться на принципиальных модельных подходах метода предельных состояний с необходимой (обоснованной) коррекцией предельно допустимых изменений значимых параметров внутреннего сопротивления композитов. Их практическая реализация затруднительна из-за существенных расхождений специалистов в выборе критериальных факторов усталостной деградации и их динамических моделей. Помимо объективных причин (многообразия воздействий, вариативности структур, неоднозначности последствий МУ и др.) сказывается отсутствие единой апробированной методики испытаний.

Совокупность и характер упомянутых факторов взаимодействия конструкций и внешней среды априори определяют усталостные отклики как случайные процессы с различными кумулятивными последствиями [5, 6, 7]. Полагая их эргодичность и используя структуру нормативного метода расчета, усталостные изменения предлагается оценивать рассмотрением и анализом переходных расчетных ситуаций с соответствующей коррекцией значимых параметров внутрен-

него сопротивления. Их критериальные ограничения устанавливаются с использованием статистически обоснованных динамических моделей (эмпирических или графических) кинетики при многократно повторных нагружениях различного уровня, амплитуды и количества.

Методика исследования

В отсутствие нормативного регламента испытаний бетона (фибробетона) на малоцикловую усталость и на основе проведенных ранее исследований условия циклического нагружения приняты с учетом:

- а) физических закономерностей развития усталости как многостадийного процесса;
- б) преимущественного развития деструктивных последствий при напряжениях, превышающих границы микроразрушений $R_{crc}^0 - R_{crc}^v$;
- в) сопоставимости относительного уровня напряженного состояния бетона и фибробетона;
- г) результатов численного моделирования колебательных процессов, тождественных по последствиям фоновой сейсмоактивности Восточно-Сибирского региона.

Немногократным циклическим воздействиям подвергнуты образцы двух серий, изготовленных:

- из «ОБ» – бетона состава Ц:П:Щ:В = 1:1,42:3,57:0,55 и расхода цемента М400 – 380 кг/м³;
- «ФБ» – бетона аналогичного состава, армированного (1,5 % по объему) полипропиленовыми волокнами диаметром 0,8 мм и длиной 40 мм.

Использована методика комплексного многофакторного контроля отклика испытываемых образцов с автоматической регистрацией времени, скорости нагружения, продольных, поперечных и объемных деформаций на всех этапах испытаний (испытательный комплекс Instron 5989). Измерение деформаций на полной базе в двух направлениях осуществлялось экстензомерами Instron с точностью $1 \cdot 10^5$ е.о.д.

Конструктивное решение шарнирного механизма Instron обеспечивало автоматическое равномерное нагружение, что исключало начальное центрирование и позволяло фиксировать начальные и остаточные (на циклах) значения деформаций. Модельное представление режима динамических испытаний и характерного отклика образцов представлено на рис. 1. Уровень максимальных нагружений составлял 0,6; 0,7; 0,8 и 0,9, в том числе и в различных сочетаниях при коэффициенте асимметрии $\rho = 0$. Фиксация контролируемых параметров велась через каждые 10 циклов при полной базе воздействий до 300 циклов.

Структурный анализ деформативности ведется с учетом физических закономерностей их развития в виде

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ult0,8} &= \varepsilon_0 (\varepsilon_{res}) + \varepsilon_e + \varepsilon_{pl} + \varepsilon_{pl,u}; \\ \varepsilon_{max} &= \varepsilon_0 + \varepsilon_e + \varepsilon_{pl},\end{aligned}$$

где ε_{max} – соответствуют деформациям при σ_{max} цикла нагружения; ε_{res} – остаточные деформации, при $\sigma = 0$ (после разгрузки); ε_0 – начальные (на 1-м цикле) деформации структурного уплотнения («зуб», по О.Я. Бергу [1]); ε_e – условно упругие деформации с начальным модулем упругости E_b ; ε_{pl} – пластические де-

формации на этапе возрастающего циклического нагружения; $\varepsilon_{pl,u}$ – псевдопластические деформации, косвенно характеризующие микро- и макротрещинообразование композита.

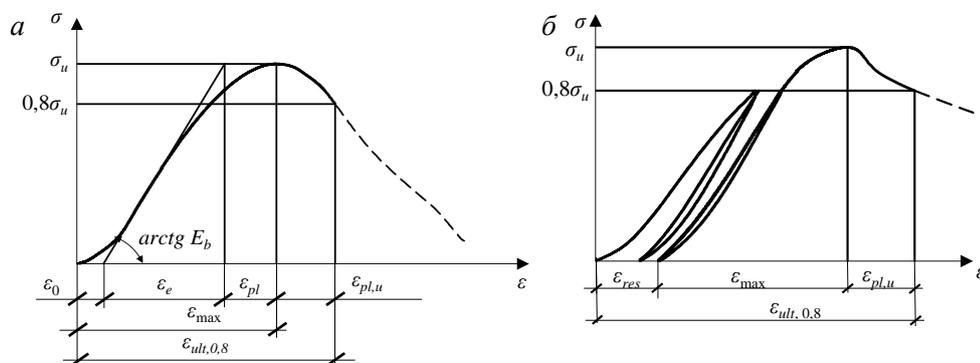


Рис. 1. Деформационная модель статического (а) и постциклического (б) откликов образцов
 Fig. 1. Deformation model of static (a) and post-cyclic (b) responses of samples

Дискретный анализ деформативности позволяет более адекватно оценивать последствия усталостной трансформации композитов, характеризующихся совместной работой компонентов различных жесткостей.

Результаты и их обсуждение

К моменту начала динамических испытаний проведены контрольные статические нагружения с целью определения исходных параметров образцов обоих составов (табл. 1).

Таблица 1

Исходные значения параметров бетона (ОБ) и фибробетона (ФБ)

Table 1

Initial parameters of conventional concrete and fiber-reinforced concrete

Параметр	Ед. изм.	Статистика распределения серий					
		ОБ			ФБ		
		Среднее	Коэффициент вариации, %	Диапазон 95 % обеспеченности	Среднее	Коэффициент вариации, %	Диапазон 95 % обеспеченности
σ_u	МПа	43,57	3	42,55–44,58	35,79	3	34,93–36,66
E_b	МПа	26580	10	24511–28649	22607	8	21162–24052
ε_0	%	0,13	31	0,1–0,16	0,48	36	0,35–0,62
ε_e	%	1,65	10	1,52–1,78	1,59	9	1,47–1,71
ε_{pl}	%	0,69	18	0,59–0,78	0,52	20	0,44–0,61
ε_{max}	%	2,47	7	2,32–2,61	2,60	12	2,35–2,85
$\varepsilon_{ult,0,8}$	%	3,13	6	2,98–3,27	3,18	9	2,94–3,43
$\varepsilon_{u,pl}$	%	0,66	23	0,54–0,78	0,50	13	0,44–0,55
ε_u/σ_u	%/ГПа	0,57	8	0,53–0,60	0,73	10	0,67–0,78
$\varepsilon_{ult}/\sigma_u^*$	%/ГПа	0,9	7	0,85–0,95	1,11	6	1,05–1,17

$\sigma_u^* = 0,8\sigma_u$ на нисходящем этапе деформирования

Высокая плотность опытных показателей всех контролируемых параметров (кроме ε_0 , ε_{pl}) позволяет предполагать приемлемость симметричного распределения при оценке диапазона значений 95 % обеспеченности.

В сопоставительном плане введение полипропиленовых волокон привело к ощутимому (18 %) снижению модуля упругости и призмной прочности при одновременном увеличении ε_0 и потенциала пластического деформирования.

С учетом случайного и физически неоднородного характера усталостных процессов экспериментальная оценка их кинетики при циклических нагружениях ведется путем периодической фиксации значений следующих контролируемых параметров:

$\varepsilon_{\max}(N)$ – максимальные продольные деформации N -го цикла;

$\varepsilon'_{\max}(N)$ – максимальные поперечные деформации N -го цикла;

$\varepsilon_{res}(N)$ – максимальные остаточные продольные (после разгрузки) деформации N -го цикла;

$\varepsilon'_{res}(N)$ – максимальные остаточные поперечные деформации N -го цикла.

Примерный характер изменения прироста (снижения) деформаций для 2 уровней $\eta = 0,6$ и $0,8$ представлен на рис. 2, 3, а их изменения – в табл. 2.

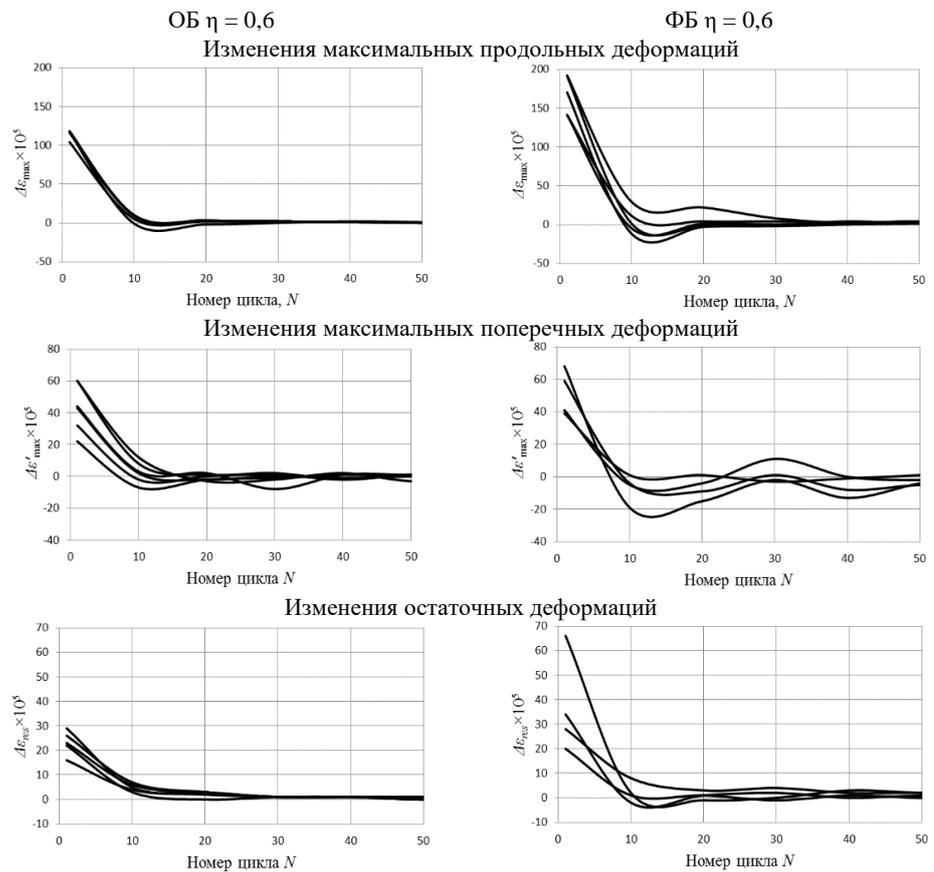


Рис. 2. Изменения контролируемых параметров при амплитуде $\eta = 0,6$
Fig. 2. Changes in controlled parameters at amplitude $\eta = 0.6$

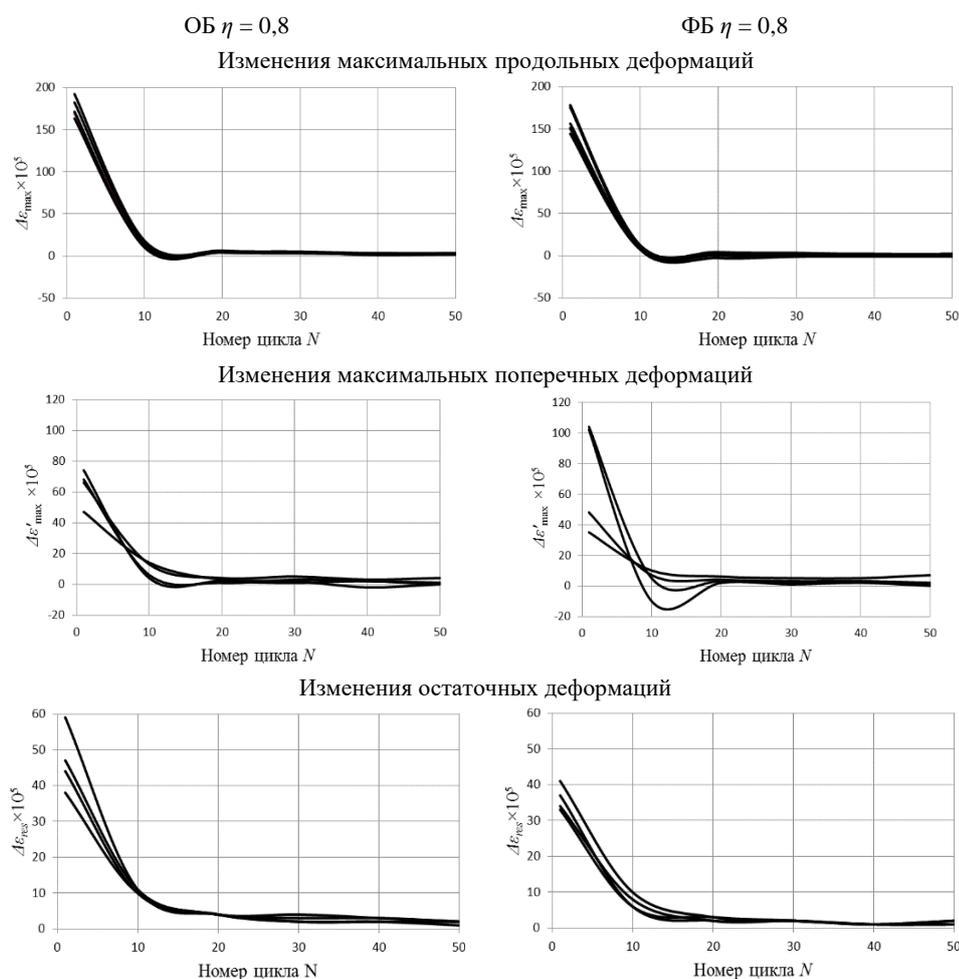


Рис. 3. Изменения контролируемых параметров при амплитуде $\eta = 0,8$
 Fig. 3. Changes in controlled parameters at amplitude $\eta = 0,8$

Сравнительное сходство экспериментальных кривых при большом диапазоне напряжений свидетельствует о тождественности физических закономерностей малоциклового усталости в обычных и фиброармированных бетонах. В динамике накопления повреждений, оцениваемой среднецикловым приростом остаточных деформаций, четко прослеживается многостадийность. Различие состоит в их продолжительности и скорости развития, зависящих от параметров прикладываемых воздействий.

Переходя к анализу количественных показателей контролируемых параметров, необходимо подчеркнуть, что они представляют собой абсолютные и относительные величины в сравнении с их аналогами в 1-м цикле нагружения. Специфическая особенность первого отклика вариативных многофазных и многокомпонентных композитов состоит в структурной трансформации (приспособляемости [8, 9, 10]) к прилагаемым усилиям. Неоднозначный и пре-

ходящий характер начальных последствий, «отягощенных» влиянием несистемных факторов, сказывается на достоверности сравнительного анализа поведения структурно различных композитов. Поэтому сравнение усталостного сопротивления ОБ и ФБ ведется посредством сопоставления удельных (за один цикл базовых воздействий) значений контролируемых параметров (табл. 3). Обращает на себя внимание существенное различие в реакции обычного и фибрированного бетона на возрастание амплитуды нагружения. В обычных бетонах наблюдается увеличение всех контролируемых параметров при $\eta = 0,6-0,8$.

Таблица 2

Изменения контролируемых параметров при усталостных нагружениях разного уровня

Table 2

Changes in controlled parameters under different fatigue loads

Серия	η	N	Продольные деформации в 10^5 раз				Поперечные деформации в 10^5 раз			
			$\varepsilon(0)/\varepsilon_{\max}$	$\varepsilon(N)/\varepsilon_{\max}$	$\Delta\varepsilon$	$\Delta\varepsilon_{res}$	$\varepsilon'(0)/\varepsilon'_{\max}$	$\varepsilon'(N)/\varepsilon'_{\max}$	$\Delta\varepsilon'$	$\Delta\varepsilon'_{res}$
ОБ	0,6	50	0,46	0,51	12	10	0,43	0,44	0,8	3,6
		100	0,46	0,52	15	12	0,43	0,44	0,6	3,8
	0,7	50	0,61	0,67	14	13	0,48	0,34	-17	-11
		100	0,61	0,72	23	19	0,48	0,42	-9	-2
	0,8	50	0,7	0,81	16	22	0,63	0,80	17	19
	0,9	50	0,74	0,88	35	36	0,68	1,16	50	56
ФБ	0,6	50	0,64	0,73	23	18	0,37	0,19	-21	-16,3
		100	0,64	0,74	24	20	0,37	0,22	-24	-21,8
	0,7	50	0,66	0,73	19	13	0,28	0,30	2,0	2,8
		100	0,66	0,75	22	17	0,28	0,33	7,0	5,5
	0,8	50	0,63	0,69	16	18	0,27	0,44	44	10,5
	0,9	50	0,64	0,80	38	30	0,45	1,28	127	100

Примечание. $\varepsilon(0)$, $\varepsilon'(0)$ – значения продольных и поперечных деформаций при загрузении; $\varepsilon(N)$, $\varepsilon'(N)$ – то же на N -м цикле.

Таблица 3

Изменение удельных значений деформаций и периода приспособляемости

Table 3

Changes in strain and period of adaptability

η	ОБ					ФБ				
	$\Delta\varepsilon_{res}$	$\Delta\varepsilon_{\max}$	$\Delta\varepsilon'_{res}$	$\Delta\varepsilon'_{\max}$	$N_{пр}$	$\Delta\varepsilon_{res}$	$\Delta\varepsilon_{\max}$	$\Delta\varepsilon'_{res}$	$\Delta\varepsilon'_{\max}$	$N_{пр}$
0,6	0,12	0,15	0,04	0,01	50	0,20	0,24	-0,22	-0,24	50
0,7	0,29	0,37	-0,02	-0,09	40	0,21	0,25	0,06	0,07	30
0,8	0,43	0,44	0,34	0,38	30	0,21	0,30	0,21	0,88	25
0,9	0,43	0,45	1,12	1,0	30	0,65	0,50	2,0	2,54	20

Примечания:

1. Значения деформаций увеличены в 10^5 раз.
2. Знак «-» означает уменьшение деформаций в процессе циклических воздействий.

Фибробетоны характеризуются относительной стабильностью отклика на изменение усилий в указанном диапазоне. Очевидно, это связано с повышенной демпфирующей способностью, обусловленной включением фиброволокон в восприятие и перераспределение внутренних усилий. Косвенным подтверждением такого предположения является и более низкий уровень периода «приспособляемости» $N_{пр}$, повышенная кинетика деформаций в поперечном направлении к циклическому нагружению и изменение «модуля усталости» [11, 12, 13] (табл. 4). Оценка последнего выполнена в предположении «базового» нагружения с амплитудой $\eta = 0,6$. При этом увеличение нагрузки на 34 % ($\eta = 0,8$) не сказывается на изменении критериальных параметров малоцикло-вой усталости фиброполипропиленбетонов.

Таблица 4

Кинетика модуля усталости при различных амплитудных воздействиях

Table 4

The kinetics of fatigue modulus at different impacts

Серия	Показатели	Абсолютные (относительные) значения амплитуды η			
		0,6 (1)	0,7 (1,17)	0,8 (1,34)	0,9 (1,51)
ОБ	$\Delta\varepsilon_{res}^n/\Delta\varepsilon_{res}$	1	2,41	3,58	3,58
	$\Delta\varepsilon_{max}^n/\Delta\varepsilon_{max}$	1	2,46	2,93	3,02
ФБ	$\Delta\varepsilon_{res}^n/\Delta\varepsilon_{res}$	1	1,05	1,05	3,25
	$\Delta\varepsilon_{max}^n/\Delta\varepsilon_{max}$	1	1,04	1,25	2,08

Примечание. $\Delta\varepsilon_{res}$ и $\Delta\varepsilon_{max}$ – показатели прироста деформаций при $\eta = 0,6$.

Выводы

1. Малоцикловая усталость характеризуется неоднозначными изменениями компонентов продольных и поперечных деформаций и, как следствие, критериев соответствующих показателей эксплуатационной пригодности.

2. Дисперсное армирование матриц на основе цемента полипропиленовыми волокнами ведет к снижению кинетики усталости за счет повышения демпфирующей способности и потенциала пластического деформирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. Москва : Госстройстандарт, 1961. 96 с.
2. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. Москва : Стройиздат, 1970. 272 с.
3. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов: вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. Москва : Изд-во АСВ, 2011. 639 с.
4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. Москва : Стройиздат, 1996. 416 с.
5. Liu F., Zhou J. Fatigue strain and damage analysis of concrete in reinforced concrete beams under constant amplitude fatigue loading // Shock and Vibration. 2016. V. 2016. № 3. P. 1–7. URL: <https://doi.org/10.1155/2016/3950140>
6. Morris A.D., Garrett G.G. A comparative study of the static and fatigue behavior of plain and steel fiber reinforced mortar in compression and direct tension // International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete. 1981. № 3(81). P. 73–91. URL: <https://doi.org/10.4271/2004-01-1529>
7. Wang H.L., Song Y.P. Fatigue capacity of plain concrete under fatigue loading with constant confined stress // Mater Struct. 2011. № 44. P. 253–262. URL: <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9624-6>

8. Cachim P.B., Figueiras J.A., Pereira P.A.A. Fatigue behavior of fiber-reinforced concrete in compression // *Cement & Concrete Composites*. 2002. № 24. P. 211–217. URL: [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00019-1)
9. Castillo E., Fernández-Canteli A., Ruiz-Ripoll M.L. A General Model for Fatigue Damage Due to Any Stress History // *International Journal of Fatigue*. 2008. № 30. P. 150–164. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2007.02.011>
10. Yin W., Hsu T.C.C. Fatigue behavior of steel fiber reinforced concrete in uniaxial and biaxial compression // *ACI Materials Journal*. 1995. № 92(1). P. 71–81. DOI: 10.14359/1415
11. Gao L., Hsu T.C.C. Fatigue of concrete under uniaxial compression cyclic loading // *ACI Materials Journal*. 1998. № 95 (5). P. 575–581. DOI: 10.14359/407
12. Korneeva I.G. Cyclic testing of polypropylene fibre reinforced concrete // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 880. P. 012006. DOI: 10.1088/1757-899X/880/1/012006
13. Korneeva I.G., Pinus B.I. Dynamical stability of polypropylene fibre reinforced concrete // *AIP Conf. Proc.* 2022. V. 2434. P. 020006. URL: <https://doi.org/10.1063/5.0091831>

REFERENCES

1. Berg O.Ya. Physical Bases of Concrete and Reinforced Concrete Strength. Moscow: Gostroystandart, 1961. 96 p. (In Russian)
2. Bazhenov Yu.M. Concrete Under Dynamic Loading. Moscow: Stroyizdat, 1970. 273 p. (In Russian)
3. Rabinovich F.N. Composites Based on Dispersed Reinforced Concrete: Theory and Design, Technology, Construction. Moscow: ASV, 2011. 642 p. (In Russian)
4. Karpenko N.I. General Models of Reinforced Concrete Mechanics. Moscow: Stroyizdat, 1996. 407 p. (In Russian)
5. Liu F., Zhou J. Fatigue Strain and Damage Analysis of Concrete in Reinforced Concrete Beams Under Constant Amplitude Fatigue Loading. *Shock and Vibration*. 2016; 2016 (3): 1–7. <https://doi.org/10.1155/2016/3950140>
6. Morris A.D., Garrett G.G. A Comparative Study of the Static and Fatigue Behavior of Plain and Steel Fiber Reinforced Mortar in Compression and Direct Tension. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*. 1981; 3 (81): 73–91. <https://doi.org/10.4271/2004-01-1529>
7. Wang H.L., Song Y.P. Fatigue Capacity of Plain Concrete Under Fatigue Loading with Constant Confined Stress. *Materials and Structures*. 2011; 44: 253–262. <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9624-6>
8. Cachim, P.B., Figueiras J.A., Pereira P.A.A. Fatigue Behavior of Fiber-Reinforced Concrete in Compression. *Cement & Concrete Composites*. 2002; 24: 211–217. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00019-1)
9. Castillo E., Fernández-Canteli A., Ruiz-Ripoll M.L. A General Model for Fatigue Damage Due to Any Stress History. *International Journal of Fatigue*. 2008; 30: 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2007.02.011>
10. Yin W., Hsu T.C.C. Fatigue Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete in Uniaxial and Biaxial Compression. *ACI Materials Journal*. 1995; 92 (1): 71–81. DOI: 10.14359/1415
11. Gao L., Hsu T.C.C. Fatigue of Concrete Under Uniaxial Compression Cyclic Loading. *ACI Materials Journal*. 1998; 95 (5): 575–581. DOI: 10.14359/407
12. Korneeva I.G. Cyclic Testing of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 880: 012006. DOI:10.1088/1757-899X/880/1/012006
13. Korneeva I.G., Pinus B.I. Dynamical Stability of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. *AIP Conference Proceedings*. 2022; 2434: 020006. <https://doi.org/10.1063/5.0091831>

Сведения об авторах

Корнеева Инна Геннадьевна, канд. техн. наук, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, korneeva@yandex.ru

Пинус Борис Израилевич, докт. техн. наук, профессор, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, pinusb@list.ru

Authors Details

Inna G. Korneeva, PhD, Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, kornee-inna@yandex.ru

Boris I. Pinus, DSc, Professor, Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov Str., 664074, Irkutsk, Russia, pinus@istu.edu

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.07.2024
Одобрена после рецензирования 17.10.2024
Принята к публикации 02.12.2024

Submitted for publication 01.07.2024
Approved after review 17.10.2024
Accepted for publication 02.12.2024