

В.Г. МУРАШКИН¹¹ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Россия

МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА ПРОШЕДШЕГО ДЛИТЕЛЬНЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В процессе длительного срока эксплуатации в бетоне нарушается соответствие между прочностью и начальным модулем деформации, поэтому для расчета эксплуатируемых железобетонных конструкций требуются деформационные кривые, соответствующие происшедшим изменениям. Выражение на основе уравнения Аррениуса позволяет построить модель деформирования бетона на основе экспериментальных данных. Такая модель соответствует установленным критериям. Для подтверждения адекватности полученной модели, представлены результаты сравнения предлагаемой модели с моделью деформирования бетона, заложенной в нормы, для различных классов бетонов. Полученные результаты подтверждают адекватность предложенной деформационной модели

Ключевые слова: диаграмма деформирования бетона, реконструкция, железобетон, относительные деформации.

V.G. MURASHKIN¹¹ Samara State Technical University, Samara, Russia

DEFORMATION MODEL OF CONCRETE AFTER PROLONGED USAGE

Abstract. The relationship between the strength of concrete and tangent modulus gets broken during its prolonged usage, so deformation curves matching the changes that occurred are required for the calculation of reinforced concrete structures. The formula based on the Arrenius equation enables the creation of concrete deformation model based on experimental data. Such model matches the criteria set. For validation of the model adequacy the results of comparing the model being proposed with the concrete deformation model used in the standards for different concrete classes are presented in graphical and tabular form. The results obtained confirm the adequacy of the deformation model proposed.

Keywords: stress-strain diagram of concrete, reconstruction, reinforced concrete, compressive strain.

Введение

С каждым годом увеличивается количество как вновь построенных зданий и сооружений, так и тех для которых наступают сроки очередного обследования технического состояния [1]. В общепринятые деформационные модели заложено соответствием между прочностью и начальным модулем деформации. Как показывают эксперименты, это соответствие нарушается за счет нарастания прочности [2, 3] до двух раз относительно расчетной прочности [4], старения бетона [5] или деградации [6] и изменения модуля упругости [7], происходящих в процессе эксплуатации зданий и сооружений в силу ряда причин таких, как окружающая среда, изменяющаяся температура, эксплуатационный износ и т.д.

Поэтому при необходимости расчета железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений для проверки их несущей способности или реконструкции и реновации необходимо иметь деформационные кривые, соответствующие происшедшим изменениям зависимостей между прочностью и модулем деформации бетонов соответствующих классов.

Чтобы учесть произошедшие изменения характеристик, модель должна быть основана на характеристиках бетона, полученных в процессе обследования. Наиболее простое решение этой задачи можно получить с помощью экспоненциальной модели [8], основанной на уравнении Аррениуса. Для подтверждения адекватности описания моделью деформирования бетона установим соответствие предложенной модели требуемым критериям и сравним с моделью, заложенной в действующие нормы [9].

Модели и методы

Общеизвестно уравнение шведского ученого С. Аррениуса:

$$k = A \cdot e^{-E_a/R \cdot T} \quad (1)$$

где k – константа скорости химической реакции;

$A = (a \cdot T^{1/2})$ – общее число взаимодействий молекул;

e – основание натурального логарифма;

E_a – энергия активации Дж/моль;

R – газовая постоянная 8.31 Дж/моль·Т;

T – температура в К.

Это уравнение, изначально полученное для описания кинетических процессов, происходящих в газах, успешно применялось исследователями для описания диаграммы (σ – ε) металлов и сплавов. Ж. Виола, используя выражение Аррениуса, получил логарифмические законы связи напряжений и деформаций для металлических конструкций, которые определяют только часть кривой деформирования – упрочнения металла после достижения предела текучести.

В. Faucher и А. Krausz применили формулу Аррениуса для определения модели деформирования и получили уравнения для определения релаксаций напряжений в алюминии, меди, стали, титане. Получаемые по этим уравнениям результаты были достаточно точны. Далее Зегер [10] предложил логарифмическую зависимость связи между напряжениями, температурой и скоростью деформаций металла. Н.Н. Давиденков, применяя уравнение Аррениуса, получил зависимость между пределом текучести металла и скоростью деформирования [11]. П.И. Полухин [12] предложил использовать уравнения Аррениуса для получения зависимости между температурой, напряжениями и деформациями в металлах.

Зависимость на основе уравнения Аррениуса для бетона, можно получить после замены в выражении (1) переменной T (температура) на относительные деформации ε , а также констант выражения (1) на коэффициенты a и b , как это описано в [8]. В конечном итоге, выражение для описания диаграммы деформирования бетона выглядит следующим образом:

$$\sigma(\varepsilon) = a \cdot \varepsilon^b \cdot e^{\frac{-b \cdot \varepsilon}{p}} \quad (2),$$

где $\sigma(\varepsilon)$ – функция напряжений;

ε – текущие относительные деформации бетона.

Коэффициенты a и b подбираются для конкретного бетона исходя из граничных условий по его прочности и модулю упругости независимых друг от друга, а параметр p соответствует предельным относительным деформациям и определяется на основании данных из эксперимента при обследовании конструкций.

Результаты исследования и их анализ

Зависимость (2) на основе уравнения Аррениуса отвечает критериям [13], которым должны отвечать любые выражения, описывающие связь (σ - ε) в бетоне:

- При определенном значении ε (в нашем случае это p) $\sigma = R_b$;
- Первая производная в начале деформирования равна E_b $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_b$;
- Первая производная при $\varepsilon = p$ равна нулю $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = 0$;
- Очертания кривой после $\varepsilon = p$ – близки к дуге окружности;
- При максимальных значениях ε напряжения $\sigma = 0,85 R_b$.

Из рисунков 1 и 2 видно, что для выражения (2) эти критерии выполняются.

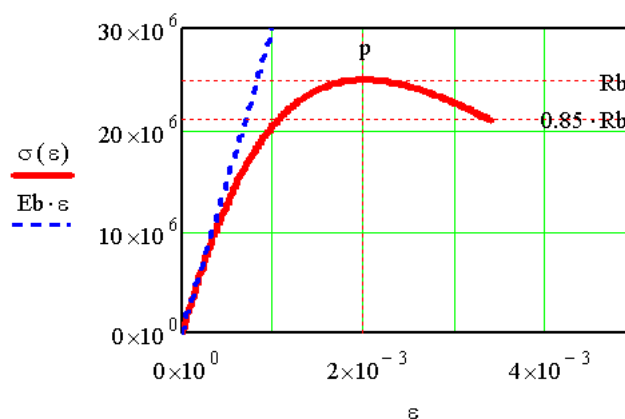


Рисунок 1 - График диаграммы бетона B25, описанной с помощью выражения (2)

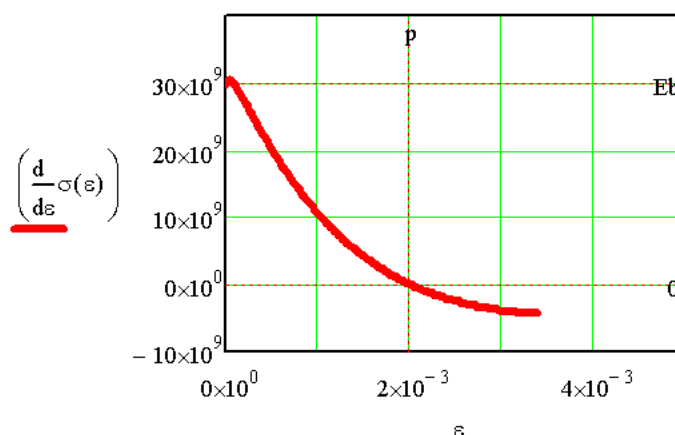


Рисунок 2 - График первой производной функции, описанной выражением (2)

Проведем сравнение диаграмм состояния бетона по нелинейной деформационной модели, представленной в СП 63.13330.2018 [9], и предложенной модели на основе выражения (2) для различных классов бетона (B15, B20, B30, B40, B60 и B100). В качестве характеристик материала будем использовать данные приведенные в таблицах СП 63.13330.2018 для соответствующих классов бетона по прочности. Для всех классов бетона примем предельные относительные деформации $p = 0,002$. При построении деформационной модели на основе выражения (2) с использованием характеристик бетона из норм, как показано выше, требуется определить соответствующие друг другу значения относительных деформаций и напряжений в бетоне в зоне условно линейных деформаций. Эти значения получим исходя из соотношения $\varepsilon_b = \sigma_b / E$, где σ_b соответствует уровню напряжений 10 – 30% R_b [14].

Результаты расчета приведены в таблице 1, в которой содержатся значения величин относительных деформаций (столбец 2) и соответствующие им значения напряжений в бетоне классов B15 и B20, полученные по СП 63.13330.2018 (столбцы 3, 6) и рассчитанные с

помощью предлагаемого выражения (2) (столбцы 4, 7), а также процент их расхождения, указанный в столбцах 5 и 8.

Таблица 1 - Значения величин относительных деформаций и соответствующие им значения напряжений бетона классов В15 и В20

Класс бетона		B15			B20		
	относительные деформации бетона	Напряжения в бетоне					
N п/п	$\varepsilon \cdot 10^{-5}$	СП	(2.3)	(СП-(2.3))/2.3	СП	(2.3)	(СП-(2.3))/2.3
		МПа	МПа	%	МПа	МПа	%
1	2	3	4	5	6	7	8
1	46	6,945211	6,480926	-7,16%	8,789448	8,287619	-6,06%
2	55	7,694432	7,170311	-7,31%	9,854312	9,282456	-6,16%
3	64	8,324165	7,771883	-7,11%	10,77032	10,16017	-6,01%
4	73	8,850996	8,297662	-6,67%	11,55458	10,9341	-5,67%
5	82	9,290929	8,757005	-6,10%	12,22307	11,61516	-5,23%
6	91	9,656537	9,157475	-5,45%	12,78935	12,21249	-4,72%
7	100	9,958409	9,50535	-4,77%	13,26541	12,73395	-4,17%
8	109	10,2056	9,805953	-4,08%	13,66197	13,18643	-3,61%
9	118	10,40599	10,06387	-3,40%	13,98873	13,57601	-3,04%
10	127	10,56646	10,28311	-2,76%	14,25446	13,90812	-2,49%
11	136	10,69308	10,46721	-2,16%	14,46722	14,18765	-1,97%
12	145	10,79118	10,6193	-1,62%	14,63429	14,41904	-1,49%
13	154	10,8654	10,7422	-1,15%	14,76229	14,60632	-1,07%
14	163	10,92036	10,83845	-0,76%	14,85712	14,75317	-0,70%
15	172	10,95827	10,91035	-0,44%	14,92396	14,86297	-0,41%
16	181	10,98259	10,95998	-0,21%	14,96822	14,93881	-0,20%
17	190	10,99561	10,98925	-0,06%	14,992	14,98356	-0,06%
18	199	10,99952	10,9999	0,00%	14,99922	14,99984	0,00%
19	208	10,9911	10,99352	0,02%	14,98722	14,99009	0,02%
20	217	10,96061	10,97159	0,10%	14,94319	14,95656	0,09%
21	226	10,91168	10,93546	0,22%	14,87231	14,90134	0,19%
22	235	10,84656	10,88638	0,37%	14,77769	14,82635	0,33%
23	244	10,76751	10,8255	0,54%	14,66245	14,7334	0,48%
24	253	10,67652	10,75388	0,72%	14,5294	14,62413	0,65%
25	262	10,57543	10,67251	0,91%	14,38123	14,5001	0,82%

Таблица 2- Значения величин относительных деформаций и соответствующие им значения напряжений бетона классов В30 и В40

Класс бетона		В30			В40		
	относительные деформации бетона	Напряжения в бетоне					
N п/п	$\epsilon \cdot 10^{-5}$	СП	(2.3)	(СП-(2.3))/2.3	СП	(2.3)	(СП-(2.3))/2.3
		МПа	МПа	%	МПа	МПа	%
1	2	3	4	5	6	7	8
1	46	11,58375	11,30508	-2,46%	13,83394	14,24344	2,88%
2	55	13,18265	12,83877	-2,68%	15,92896	16,3161	2,37%
3	64	14,60087	14,20876	-2,76%	17,83566	18,18189	1,90%
4	73	15,85293	15,4289	-2,75%	19,5599	19,85397	1,48%
5	82	16,95017	16,5114	-2,66%	21,10941	21,34498	1,10%
6	91	17,90496	17,46724	-2,51%	22,48985	22,66709	0,78%
7	100	18,72869	18,30638	-2,31%	23,70929	23,83185	0,51%
8	109	19,43142	19,03792	-2,07%	24,77572	24,85023	0,30%
9	118	20,02645	19,67024	-1,81%	25,69757	25,73262	0,14%
10	127	20,52132	20,21104	-1,54%	26,48365	26,48883	0,02%
11	136	20,92678	20,66745	-1,25%	27,14306	27,12812	-0,06%
12	145	21,25236	21,04609	-0,98%	27,6851	27,6592	-0,09%
13	154	21,50714	21,3531	-0,72%	28,11924	28,09028	-0,10%
14	163	21,69974	21,59416	-0,49%	28,45498	28,42906	-0,09%
15	172	21,83821	21,77459	-0,29%	28,70181	28,6828	-0,07%
16	181	21,92935	21,89932	-0,14%	28,86899	28,8583	-0,04%
17	190	21,98238	21,97294	-0,04%	28,96611	28,96191	-0,01%
18	199	21,99972	21,99974	0,00%	28,99949	28,99963	0,00%
19	208	21,9796	21,98369	0,02%	28,97055	28,97704	0,02%
20	217	21,90872	21,92852	0,09%	28,86727	28,89939	0,11%
21	226	21,79402	21,83768	0,20%	28,69906	28,77156	0,25%
22	235	21,63998	21,7144	0,34%	28,47161	28,59814	0,44%
23	244	21,45137	21,56168	0,51%	28,19167	28,3834	0,68%
24	253	21,2324	21,38231	0,70%	27,86364	28,13132	0,95%
25	262	20,98749	21,1789	0,90%	27,49522	27,84563	1,26%

В таблице 2 приведены результаты расчета для бетонов классов В30 и В40. Значения величин относительных деформаций (столбец 2) и соответствующие им значения напряжений в бетоне, полученные по СП 63.13330.2018 (столбцы 3, 6) и рассчитанные с помощью предлагаемого выражения (2) (столбцы 4, 7), а также процент их расхождения, указанный в столбцах 5 и 8.

Кроме того, в таблице 3 приведены результаты расчета для бетонов классов В60 и В100. Значения величин относительных деформаций (столбец 2) и соответствующие им значения напряжений в бетоне, полученные по СП 63.13330.2018 (столбцы 3, 6) и рассчитанные с помощью предлагаемого выражения (2) (столбцы 4, 7), а также процент их расхождения, указанный в столбцах 5 и 8.

Таблица 3- Значения величин относительных деформаций и соответствующие им значения напряжений бетона классов В60 и В100

Класс бетона		B60			B100		
	относительные деформации бетона	Напряжения в бетоне					
N п/п	$\varepsilon \cdot 10^{-5}$	СП	(2.3)	(СП-(2.3))/2.3	СП	(2.3)	(СП-(2.3))/2.3
		МПа	МПа	%	МПа	МПа	%
1	2	3	4	5	6	7	8
1	46	16,79427	18,13172	7,38%	19,6679	19,16769	-2,61%
2	55	19,69274	21,38446	7,91%	23,44932	24,61687	4,74%
3	64	22,44283	24,38987	7,98%	27,19308	30,04938	9,51%
4	73	25,03721	27,14032	7,75%	30,89215	35,33489	12,57%
5	82	27,46947	29,63538	7,31%	34,53919	40,37596	14,46%
6	91	29,73416	31,87938	6,73%	38,12645	45,10154	15,47%
7	100	31,82678	33,87979	6,06%	41,64569	49,46187	15,80%
8	109	33,74542	35,64611	5,33%	45,08795	53,42436	15,60%
9	118	35,48511	37,18919	4,58%	48,44334	56,97021	14,97%
10	127	37,0449	38,5207	3,83%	51,70065	60,09167	13,96%
11	136	38,42362	39,65273	3,10%	54,84682	62,78973	12,65%
12	145	39,621	40,59751	2,41%	57,86606	65,07223	11,07%
13	154	40,63614	41,36726	1,77%	60,73838	66,95229	9,28%
14	163	41,47013	41,974	1,20%	63,43697	68,44699	7,32%
15	172	42,12314	42,42944	0,72%	65,92285	69,57635	5,25%
16	181	42,59559	42,74494	0,35%	68,1326	70,36237	3,17%
17	190	42,88769	42,93142	0,10%	69,94082	70,82836	1,25%
18	199	42,99847	42,99933	0,00%	70,98233	70,99833	0,02%
19	208	42,94275	42,95866	0,04%	70,79279	70,89653	0,15%
20	217	42,74549	42,81888	0,17%	69,99402	70,54701	0,78%
21	226	42,4142	42,58896	0,41%	68,45481	69,97339	2,17%
22	235	41,95622	42,27739	0,76%	65,98976	69,19859	4,64%
23	244	41,37891	41,89213	1,23%	62,39221	68,24464	8,58%
24	253	40,69138	41,44069	1,81%			
25	262	39,90277	40,9301	2,51%			

Графически результаты расчетов проиллюстрированы на рисунках 3 и 4.

Из рисунка 3 видно, что кривые, построенные по предлагаемой методике на основе выражения (2), практически совпадают с кривыми, построенными по методике СП 63.13330.2018 для бетонов классов В15, В20 и В30.

Аналогично, из рисунка 4 видно, что кривые, построенные по предлагаемой методике на основе выражения (2), практически совпадают с кривыми, построенными по методике СП 63.13330.2018 для бетонов классов В40 и В60. Кривые для бетона класса В100, при значении

предельных относительных деформации $\rho = 0,002$ имеют различия в отдельных областях при напряжениях σ_b от 40 до 65 МПа до 15.8% согласно таблице 3

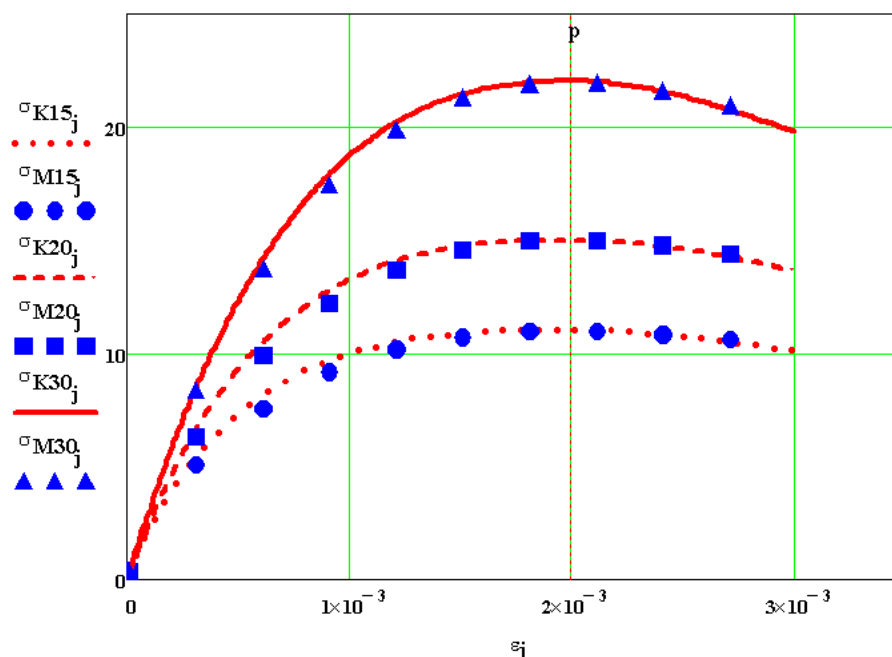


Рисунок 3 - Кривые деформирования при сжатии для бетона, полученные согласно СП 63.13330.2018 σ_{K15} – для бетона В15, σ_{K20} – для бетона В20, σ_{K30} – для бетона В30 и результаты расчета по предлагаемому выражений (2) σ_{M15} – для бетона В15, σ_{M20} – для бетона В20, σ_{M30} – для бетона В30

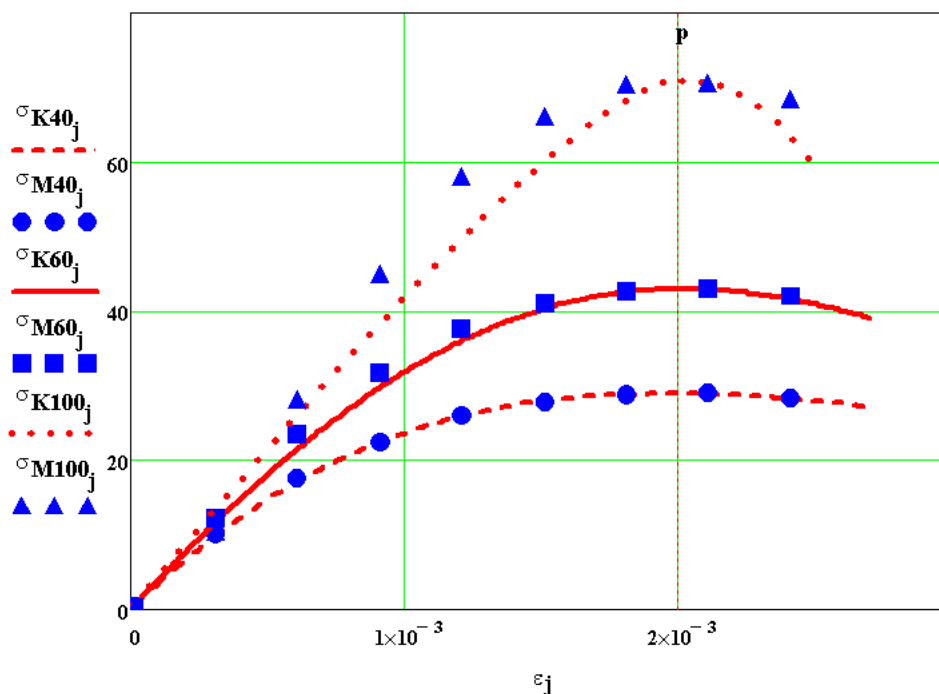


Рисунок 4 - Кривые деформирования при сжатии для бетона, полученные согласно СП 63.13330.2018 σ_{K40} – для бетона В40, σ_{K60} – для бетона В60, σ_{K100} – для бетона В100 и результаты расчета по предлагаемому выражений (2) σ_{M40} – для бетона В40, σ_{M60} – для бетона В60, σ_{M100} – для бетона В100

Выводы

Полученные результаты сравнения подтверждают, что предлагаемая деформационная модель на основе уравнения Аррениуса для бетона после длительной эксплуатации достаточно точно описывает деформирование свежеприготовленного бетона различных классов, соответствует модели, заложенной в нормативные материалы, что в целом позволяет сделать вывод о возможности её применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 255.1325800.2016 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения».
2. Mushtaq Sadiq Radhi, Shakir Ahmed Al-Mishhadani, Hasan Hamodi Joni. Effect of Age on Concrete Core Strength Results // The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/307858837> (дата обращения: 01.11.2021).
3. Селяев, В.П., Низина Т.А. Оценка долговечности железобетонных конструкций с применением метода деградационных функций // Второй международный симпозиум «Проблемы современного бетона и железобетона». Минск. 2009. С. 369–385.
4. Баженов Ю.М., Мурашкин В.Г. Учет изменения прочности бетона при проектировании железобетонных конструкций // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2017. № 20. С. 244–251.
5. Гениев Г.А. Зависимость прочности бетона от времени // Бетон и железобетон. 1993. № 1. С. 15–17.
6. Петров В.В. К вопросу построения моделей расчета долговечности конструкций // Сб. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Саранск: СГУ. 2014. С. 136–144.
7. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Травуш В.И. [и др.] Оценка прочностных и деформационных характеристик высокопрочных бетонов в конструкциях и динамики их изменения во времени // Строительные материалы. 2023. № 11. С. 28–38.
8. Travush V.I., Murashkin V.G. Concrete Deformation Model for Reconstructed Reinforced Concrete // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2022. Vol. 18, No. 4. P. 132–137.
9. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
10. Зегер А. Возникновение дефектов решетки при движении дислокаций и их влияние на температурную зависимость деформирующих напряжений ГЦК кристаллов // Сб. сокр. пер. и рефератов иностр. период. литературы «Проблемы современной физики. Дислокации в кристаллах». М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. С. 179–268
11. Потапова Л.Б., Ярцев В.П. Механика материалов при сложном напряженном состоянии М.: «Издательство Машиностроение – 1». 2005. 244 с.
12. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации М.: «Металлургия». 1982. 584 с.
13. Байков В.Н., Горбатов С.В., Димитров З.А. Построение зависимости между напряжениями и деформацией сжатого бетона по системе нормируемых показателей // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1977. №6. С. 15–18.
14. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграмм деформирования бетона // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 2 (14). С. 86–88.

REFERENCES

1. SP 255.1325800.2016. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila ekspluatatsii. Osnovnye polozheniya [Buildings and structures. Operating rules. Basic provisions]. (rus).
2. Mushtaq Sadiq Radhi, Shakir Ahmed Al-Mishhadani, Hasan Hamodi Joni. Effect of Age on Concrete Core Strength Results The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015). [Online] URL: <https://www.researchgate.net/publication/307858837>.
3. Selyaev, V.P., Nizina T.A. Otsenka dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktсий s primeneniem metoda degradatsionnykh funktsiy [Evaluation of the durability of reinforced concrete structures using the method of degradation functions]. Vtoroj mezhdunarodnyj simpozium «Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona» The

Second International Symposium «Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete». Minsk. 2009. Pp. 369–385. (rus).

4. Bazhenov Y.M., Murashkin V.G. Uchet izmeneniya prochnosti betona pri proektirovanii zhelezobetonnykh konstruksij [Taking into account changes in concrete strength when designing reinforced concrete structures] *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*. 2017. № 20. Pp. 244-251. (rus).

5. Geniev G.A. Zavisimost' prochnosti betona ot vremeni [Dependence of concrete strength on time] *Beton i zhelezobeton*. 1993. № 1. Pp. 15-17. (rus).

6. Petrov V.V. K voprosu postroeniya modelej rascheta dolgovechnosti konstruksij [On the issue of constructing models for calculating the durability of structures] *Sb. Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdelij i konstruksij*. Saransk: SGU. 2014. Pp. 136-144. (rus).

7. Kaprielov S. S., Shejfel'd A.V., Travush V.I., Karpenko N.I., Krylov S.B. [Assessment of Strength and Deformation Characteristics of High-Strength Concrete in Structures and the Dynamics of Their Changes over Time] *Ocenka prochnostnyh i deformacionnyh harakteristik vysokoprochnykh betonov v konstrukciyah i dinamiki ih izmeneniya vo vremeni Stroitel'nye materialy*. 2023. № 11. Pp. 28-38. (rus).

8. Travush V. I., Murashkin V.G. Concrete Deformation Model for Reconstructed Reinforced Concrete *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022. Vol. 18, No. 4. Pp. 132-137.

9. SP 63.13330.2018 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya [Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions] (rus).

10. Zeger A. Vozniknovenie defektov reshetki pri dvizhenii dislokacij i ih vliyanie na temperaturnuyu zavisimost' deformiruyushchih napryazhenij GCK kristallov [The emergence of lattice defects during the motion of dislocations and their influence on the temperature dependence of the deforming stresses of FCC crystals] *Problemy sovremennoj fiziki. Dislokacii v kristallah*. Moscow. Izd-vo inostrannoj literatury. 1960. Pp. 179-268.

11. Potapova L.B., Yarcev V.P. Mekhanika materialov pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [Mechanics of materials under complex stress state] Moscow. Mashinostroenie – 1. 2005. 244p. (rus).

12. Poluhin P.I., Gorelik S.S., Voroncov V.K. Fizicheskie osnovy plasticheskoy deformacii [Physical basis of plastic deformation] Moscow. «Metallurgiya». 1982. 584p. (rus).

13. Bajkov V.N., Gorbato V., Dimitrov Z.A. Postroenie zavisimosti mezhdu napryazheniyami i deformacii szhatogo betona po sisteme normiruemykh pokazatelej [Construction of the relationship between stresses and deformations of compressed concrete using a system of standardized indicators] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*. – 1977. - №6.- Pp.15-18. (rus).

14. Murashkin G.V., Murashkin V.G Modelirovanie diagramm deformirovaniya betona [Concrete stress-strain diagrams modeling] *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport*. 2007. № 2 (14). Pp. 86-88. (rus).

Информация об авторах

Мурашкин Василий Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия,
канд. техн. наук, доцент
E-mail: murvag@mail.ru

Information about authors

Murashkin Vasily G.

Samara State Technical University, Samara, Russia,
candidate in tech. sc., docent
E-mail: murvag@mail.ru