

Для цитирования: Коллеганов А.В., Коллеганов Н.А., Маилян Д.Р., Несветаев Г.В. К расчету сечений, усиленных ремонтными составами. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):165-173. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-165-173

For citation: Kolleganov A.V., Kolleganov N.A., Mailyan D.R., Nesvetaev G.V. On the calculation of sections reinforced by repair com-pounds. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 165-173. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-165-173

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 658.562

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-165-173

К РАСЧЕТУ СЕЧЕНИЙ, УСИЛЕННЫХ РЕМОНТНЫМИ СОСТАВАМИ

Коллеганов А.В.³, Коллеганов Н.А.⁴, Маилян Д.Р.¹, Несветаев Г.В.²

^{1,2} Донской государственный технический университет,

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д.1, Россия,

^{3,4} Северо-Кавказский государственный технический университет,

^{3,4}355029, г. Ставрополь, просп. Кулакова, д.2, Россия,

¹e-mail: mailyan@rgsu.ru, ²e-mail: nesgrin@yandex.ru,

³e-mail: alekskoll@mail.ru, ⁴e-mail: alekskoll@mail.ru.

Резюме: Цель. Целью исследования является оценка влияния деформационных свойств бетонов при восстановлении и (или) усилении железобетонных сечений ремонтными составами. **Метод.** В исследовании применен метод расчета несущей способности бетонных сечений по нелинейной деформационной модели с использованием диаграмм деформирования бетонов с учетом влияния эффекта «обоймы» и рецептурных факторов на деформационные свойства бетонов. Построены диаграммы деформирования при кратковременном нагружении бетонов различных классов с учетом возможного изменения деформационных свойств бетона вследствие особенностей его структуры (мелкозернистый бетон) и наличия в составе бетона модифицирующих добавок (ремонтный бетон). **Результат.** Повышение несущей способности сечения при неизменной его общей площади не прямо пропорционально площади бетона усиления. Повышение несущей способности сечения не прямо пропорционально повышению класса бетона усиления. Повышение коэффициента обоймы от 1,3 до 1,5 обеспечивает повышение несущей способности сечения от 15,5 до 58%. Повышение модуля упругости ремонтного бетона в 1,5 раза приводит к повышению несущей способности сечения от 19 до 50%. При неизменной величине сечения и коэффициенте армирования применение ремонтного бетона позволяет повысить несущую способность рассмотренного сечения от 1,07 до 2,25 раза. **Вывод.** Расчет прочности железобетонных элементов, усиленных ремонтными составами, по нелинейной деформационной модели позволяет более точно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) и, соответственно, несущую способность после усиления, при этом выбор ремонтного состава целесообразно производить в зависимости от поставленной задачи с учетом деформационных свойств «старого» бетона.

Ключевые слова: нелинейная деформационная модель, эффект «обоймы», ремонтный бетон, деформационные свойства, несущая способность, диаграмма деформирования

TECHNICAL SCIENCE BUILDING AND ARCHITECTURE

*Aleksey V. Kolleganov*³, *Nikita A. Kolleganov*⁴, *Dmitry R. Mailyan*¹, *Grigory V. Nesvetaev*²
^{1,2}Donskoy State Technical University,
1 Gagarina Sq., Rostov-on-Don 344000, Russia,
^{3,4}North-Caucasian State Technical University,
^{3,4}2 Kulakov Ave., Stavropol 355029, Russia,
¹e-mail: mailyan@rgsu.ru, ²e-mail: nesgrin@yandex.ru ,
³e-mail: alekskoll@mail.ru, ⁴e-mail: alekskoll@mail.ru.

ON THE CALCULATION OF SECTIONS REINFORCED BY REPAIR COMPOUNDS

Abstract Objectives. The aim of the study is to assess the influence of concrete deformation properties during the restoration and (or) reinforcement of reinforced-concrete sections using repair compounds. **Methods.** In the study, a method of calculation of the load-carrying capacity of concrete sections is used according to a non-linear deformation model using diagrams of concrete deformation, taking into account the influence of the confinement effect and prescription factors on the deformation properties of concrete. Deformation diagrams are constructed for short-term loading of concrete of various classes, taking into account the possible change in its deformation properties due to its structural features (e.g. fine-grained) and the presence of modifying additives (repair concrete) in its composition. **Results.** The increase in the load-bearing capacity of a section with its total area unchanged is not directly proportional to the area of the reinforced concrete. The increase in the load-bearing capacity of the section is not directly proportional to the increase in the class of concrete reinforcement. Increasing the confinement coefficient from 1.3 to 1.5 provides an increase in the load-bearing capacity of the section from 15.5% to 58%. An increase in the elastic modulus of repair concrete by 1.5 times leads to an increase in the load-bearing capacity of the section from 19% to 50%. While keeping sectional value and reinforcement factor constant, the use of repair concrete makes it possible to increase the bearing capacity of the section under consideration from 1.07 to 2.25. **Conclusion.** The calculation of the strength of reinforced concrete elements reinforced with repair compounds according to the nonlinear deformation model allows the stress-strain state (SSS) – and, consequently, the bearing capacity after the reinforcement – to be estimated more accurately, while the choice of the repair compound depends on the deformation properties of the “old” concrete.

Keywords: nonlinear deformation model, confinement effect, repair concrete, deformation properties, bearing capacity, deformation diagram

Введение. В процессе эксплуатации железобетонные конструкции часто приобретают повреждения, связанные с потерей сечения конструктивных элементов, а также разрушением защитного слоя бетона различного генезиса. В большинстве случаев компенсирующие мероприятия при обнаружении дефектов подобного рода сводятся к рекомендациям по удалению поврежденного бетона, восстановлению сечений или защитного слоя с обеспечением последующей совместной работы коренного и наращиваемого материалов конструкции, усиление конструкции внешним армированием [1-4]. При этом дополнительные рекомендации по адаптации ремонтных составов к железобетонным конструкциям с различными свойствами бетона, эксплуатируемых в разных средах и различных условиях напряженно-деформированного состояния (НДС), как правило, отсутствуют.

Постановка задачи. Очевидно, что при проведении оценки влияния деформационных свойств бетонов при восстановлении и (или) усилении железобетонных сечений ремонтными составами следует различать два случая:

- ремонтный состав используется для восстановления защитного слоя, в этом случае толщина ремонтного бетона, как правило, не превышает 50 – 60 мм, а для эффективной

совместной работы «старого» и «нового» бетонов целесообразно обеспечение более высокой деформативности ремонтного бетона в сравнении со «старым» бетоном:

$$R_{b,1} \leq R_{b,2} \text{ и } E_{0,1} \geq E_{0,2} \quad (1)$$

где, $E_{0,1}$, $E_{0,2}$, $R_{b,1}$, $R_{b,2}$ – соответственно модули упругости и пределы прочности на сжатие «старого» бетона и бетона усиления;

- ремонтный состав используется для восстановления (или повышения) несущей способности конструкции, в т.ч. наращиванием сечения, в этом случае геометрические параметры ремонтного слоя должны обеспечивать размещение (при необходимости) дополнительной арматуры, а прочностные и деформационные свойства бетона следует принимать с учетом НДС конструкции и свойств «старого» бетона.

Методы исследования. В качестве простейшего примера рассмотрим несущую способность N сечения короткой центрально-сжатой стойки, усиленной ремонтным составом, которая может быть определена как

$$N = R_{b,1}^* \cdot A_{b,1} + R_{sc,1} \cdot A_{sc,1} + R_{b,2} \cdot A_{b,2} + R_{sc,2} \cdot A_{sc,2} \quad (2)$$

$A_{sc,1}$, $A_{sc,2}$ – площадь рабочей арматуры в «старом» бетоне и в усиливающем сечении (ремонтный бетон или бетон усиления);

$A_{b,1}$, $A_{b,2}$ – площадь «старого» бетона и усиливающего бетонного сечения;

$R_{sc,1}$, $R_{sc,2}$ – расчетное сопротивление на сжатие арматуры в «старом» бетоне и в усиливающем сечении;

$R_{b,1}^* = k \cdot R_{b,1}$ – расчетное сопротивление «старого» бетона с учетом его упрочнения в обойме [5-8] и ремонтного бетона;

$R_{b,1}$ – расчетное сопротивление «старого» бетона.

На рис. 1 представлены диаграммы деформирования при кратковременном нагружении бетонов различных классов с учетом возможного изменения деформационных свойств бетона вследствие особенностей его структуры (мелкозернистый бетон) и наличия в составе бетона модифицирующих добавок (ремонтный бетон).

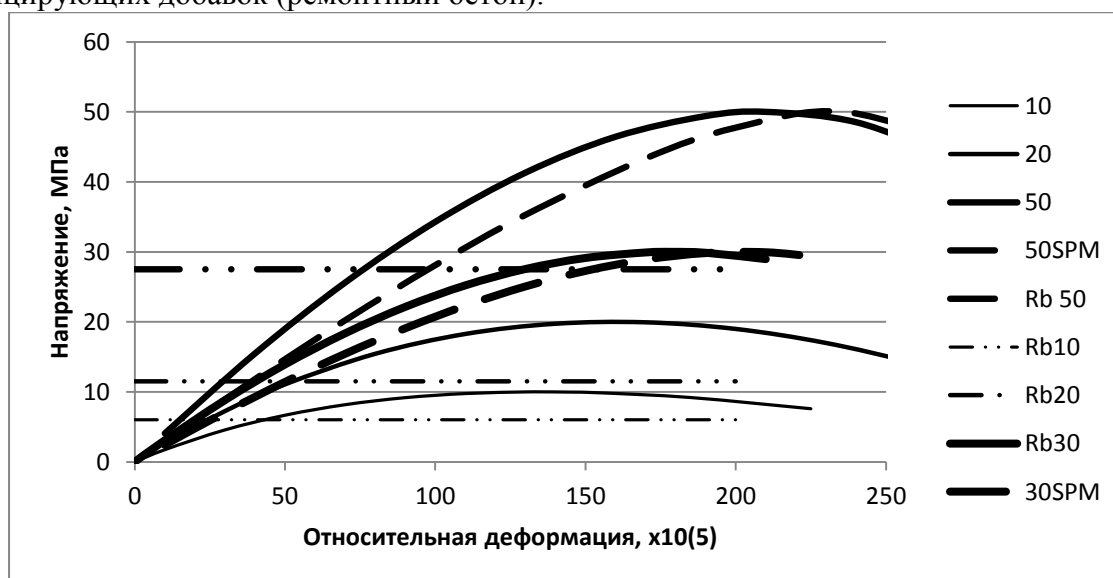


Рис.1. Диаграммы деформирования бетонов различных классов

10 – 50 – класс бетона по прочности на сжатие;

$R_{b,10}$ – $R_{b,50}$ – расчетные сопротивления бетонов соответствующих классов по СП63.13330; SPM– модифицированные бетоны соответствующих классов

Fig.1. Diagrams of deformation of concrete of various classes

10 - 50 - class of concrete for compressive strength;

$R_{b,10}$ - $R_{b,50}$ - design resistance of concrete of the corresponding classes according to SP63.13330; SPM-modified concrete of the corresponding classes

Для обеспечения полного включения в работу при условии равенства деформаций должно выполняться условие

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2,$$

при этом

$$R_{b,1}(R_{b,1}^*) = \sigma_{b,1} = f(\varepsilon_1), \quad (3)$$

$$\sigma_{b,2} = f(\varepsilon_2) \quad (4)$$

Очевидно, что выполнение указанных условий предопределяет $R_{b,1}(R_{b,1}^*) = R_{b,2}$, в связи, с чем, например, в [1] указано: «класс бетона усиления следует принимать по значению, ближайшему большему, чем условный класс бетона усиливаемой конструкции...».

При этом отмечается, что «для конструкций, работающих в агрессивной среде или имеющих повреждения от коррозии, класс бетона усиления должен приниматься по плотности или по стойкости, соответствующим требованиям данной агрессивной среды».

Согласно СП 28.13330 минимальный класс бетона железобетонных конструкций составляет от В25 для класса среды ХС1 до В45 для классов ХС2, ХС3, ХД2, ХД3, ХА3.

При этом фактический класс бетона восстанавливаемых конструкций может быть значительно ниже [11].

Кроме того, для восстановления железобетонных конструкций в настоящее время производится и применяется значительное количество ремонтных составов в виде сухих строительных смесей (ССС), которые характеризуются классами по прочности на сжатие от В25 до В60, мелкозернистой структурой и наличием модифицирующих добавок, что предопределяет возможность повышения деформационных свойств бетонов в сравнении с традиционными бетонами (табл. 1).

Таблица 1. Свойства некоторых ремонтных бетонов
 Table 1. Properties of some repair concretes

Производитель	Марка	ρ , кг/м ³	R, МПа	V_{ϕ}^*	E_0 , ГПа
Sika	Mono Top 412N	2204	63,5	50,8	31,31
	Mono Top 336N	2204	66,6	53,3	29,19
КТ-ТРОН	КТ-ТРОН-3 Т500	2118	45,8	36,6	30,82
	КТ-ТРОН-3 Л600	2203	76,6	61,3	32,94
BASF	Master Emaco S488	2176	72,4	57,9	31,51
	Master Emaco S488 PG	2244	73,3	58,6	29,72

Примечание: * $V_{\phi} = 0,8 \cdot R$

Обсуждение результатов. Представленные на рис. 2 данные свидетельствуют о том, что:

- начальный модуль упругости ремонтных бетонов в целом подчиняется среднестатистической зависимости $E_0 = f(R)$;
- возможно отклонение значений E_0 до 10%, вероятно связанное с влиянием добавок в составе бетонов на величину модуля упругости [12].

$$T1 - E_0 = 0,95 \cdot \frac{(0,05R_{pr} + 57)(\rho/2,4)^{1,25}}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}}; \quad T2 - E_0 = 0,85 \cdot \frac{(0,05R_{pr} + 57)(\rho/2,4)^{1,25}}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}},$$

где, в ф.(Т1) значение ρ составляет 2200 кг/м³, в ф. (Т2) – 2100 кг/м³; 0,95 и 0,85 соответственно учитывает возможное влияние добавок в составе бетонов на модуль упругости.

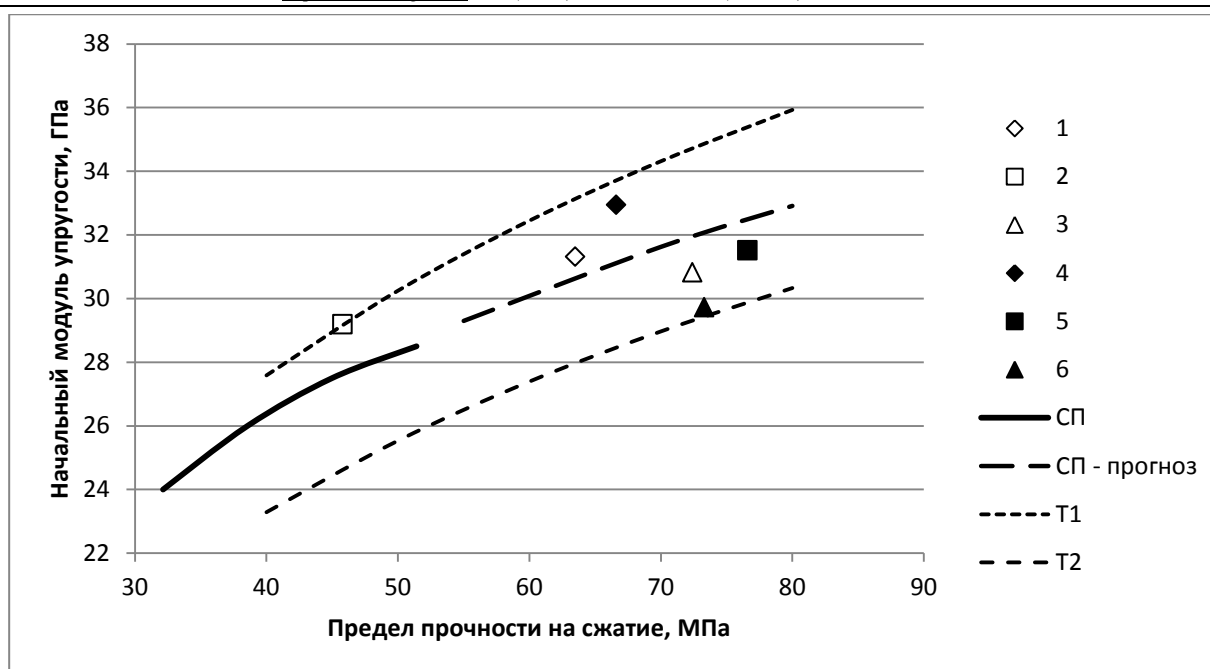


Рис. 2 Зависимость начального модуля упругости бетона от предела прочности на сжатие
 1 – 6 исследованные бетоны; СП – по СП 63.13330; СП-прогноз – экстраполяция значений СП для бетонов классов более В 40 (в СП 63.13330 нормирование классов мелкозернистых бетонов предусмотрено до В40)

Fig. 2 Dependence of the initial modulus of elasticity of concrete on the compressive strength
 1 - 6 investigated concrete according; JV - according to SP 63.13330; SP-forecast - extrapolation of SP values for concretes of classes more than 40 (in SP 63.13330 rationing of classes of fine-grained concretes is provided up to В40)

В связи вышеизложенным становится очевидным тот факт, что при применении сухих строительных смесей (ССС) для восстановления железобетонных конструкций важной задачей становится обоснованное назначение расчетных параметров бетона усиления с учетом:

- повышенных, как правило, деформационных свойств бетона усиления в связи с особенностями его структуры (мелкозернистый бетон) и наличия модифицирующих добавок, которые могут влиять на деформационные свойства и прочность [12-15];
- повышения фактической прочности бетона усиливаемой конструкции за счет работы в «обойме» [5,7-10].

Изменение свойств бетона усиливаемой конструкции в обойме можно представить в виде

$$R_{b,1}^* = k \cdot R_{b,1}, \quad (5)$$

$$E_{1,0}^* = c \cdot E_{1,0}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{R,1}^* = d \cdot \sqrt{\frac{R_1^*}{E_{1,0}^*}} = d \cdot \sqrt{\frac{k \cdot R_1}{c \cdot E_{1,0}}} = \sqrt{\frac{k}{c}} \cdot d \cdot \sqrt{\frac{R_1}{E_{1,0}}} = \sqrt{\frac{k}{c}} \cdot \varepsilon_{R,1} = m \cdot \varepsilon_{R,1}, \quad (7)$$

где, $R_{b,1}^* = k \cdot R_{b,1}$, – расчетное сопротивление «старого» бетона ($R_{b,1}$) с учетом его упрочнения в обойме [5,7-8,10];

c – коэффициент, учитывающий изменение начального модуля упругости «старого» бетона ($E_{1,0}$) с учетом его упрочнения в обойме [7-8];

m – итоговый коэффициент, учитывающий изменение деформационных свойств «старого» бетона ($\varepsilon_{R,1}$) с учетом его упрочнения в обойме [7-8];

Уровень напряжения бетона усиления при расчете по 1 группе предельных состояний может быть определен, например, из уравнения

$$\frac{\sigma_{b,2}}{R_{b,2}} = \frac{k_2 \cdot \left(\frac{m \cdot \varepsilon_{R,1}}{\varepsilon_{R,2}} \right) - \left(\frac{m \cdot \varepsilon_{R,1}}{\varepsilon_{R,2}} \right)^2}{1 + (k_2 - 2) \cdot \frac{m \cdot \varepsilon_{R,1}}{\varepsilon_{R,2}}} \quad (8)$$

В табл. 2 представлены значения расчетной «несущей способности» бетонного сечения общего размера 400x400 мм (без учета работы арматуры)

$$N = N_1 + N_2 = k \cdot R_{b,1} \cdot A_{b,1} + \sigma_{b,2} \cdot A_{b,2} \quad (9)$$

Таблица 2. Зависимость величины N от геометрических параметров сечения и свойств «старого» бетона и бетона усиления

Table 2. Dependence of the value of N on the geometrical parameters of the section and the properties of "old" concrete and concrete reinforcement

№	A _{b,1} , см ²	A _{b,2} , см ²	k	R _{b,1} , МПа	σ _{b,2} , МПа	N ₁ , кН	N ₂ , кН	N, кН	N/ A _{b,1} · R _{b,1}
бетон усиления В 50, E ₀ = 30160 МПа									
1	900	700	1,0	6,0	13	540	910	1450	1,51
2			1,3	7,8	14,1	702	987	1689	1,76
3			1,5	9,0	14,4	810	1008	1818	1,89
4	1225	375	1,0	6,0	13	735	488	1223	1,27
5			1,3	7,8	14,1	956	529	1485	1,55
6			1,5	9,0	14,4	1103	540	1643	1,71
бетон усиления В 50, E ₀ = 46400 МПа									
7	900	700	1,0	6,0	18,8	540	1316	1856	1,93
8			1,3	7,8	20,6	702	1442	2144	2,23
9			1,5	9,0	20,7	810	1449	2259	2,35
бетон усиления В30, E ₀ = 24600 МПа									
10	900	700	1,0	6,0	10,2	540	714	1254	1,31
11			1,3	7,8	11,0	702	770	1472	1,53
12			1,5	9,0	11,2	810	784	1594	1,66
бетон усиления В 30, E ₀ = 37800 МПа									
13	900	700	1,0	6,0	14,2	540	994	1534	1,6
14			1,3	7,8	15,3	702	1071	1773	1,85
15			1,5	9,0	15,6	810	1092	1902	1,98
бетон усиления В 50, E ₀ = 30160 МПа									
16	900	700	1,0	11,5	13,4	1035	938	1973	1,07
17			1,3	15,0	15,0	1346	1050	2396	1,3
18			1,5	17,3	17,3	1553	1211	2764	1,5
бетон усиления В 50, E ₀ = 46400 МПа									
19	900	700	1,0	11,5	22,6	1035	1582	2617	1,42
20			1,3	15,0	30,8	1346	2156	3502	1,9
21			1,5	17,3	37,0	1553	2590	4143	2,25

Анализ приведенных в таблице 2 данных показывает, что:

- повышение несущей способности сечения при неизменной его общей площади не прямо пропорционально площади бетона усиления (увеличение площади в 700/375 = 2 раза привело к повышению несущей способности на 10,5 – 18,5%), в связи, с чем не следует стремиться к максимальной площади бетона усиления, она должна обеспечивать размещение арматуры, требуемую толщину защитного слоя и эффект «обоймы» для «старого» бетона, для чего толщина бетона усиления должна составлять не менее 80 мм [5-8];
- повышение несущей способности сечения не прямо пропорционально повышению класса бетона усиления (повышение класса бетона с В30 до В50, т.е. в 1,67 раза привело к повышению несущей способности от 14 до 21%, в зависимости от модуля упругости бе-

тона усиления при классе «старого» бетона В10), что следует учитывать при обосновании выбора класса ремонтного бетона;

- повышение коэффициента обоймы k от 1,3 до 1,5 обеспечивает повышение несущей способности сечения от 15,5 до 58% в зависимости от класса «старого» бетона, класса и модуля упругости ремонтного бетона;
- повышение модуля упругости ремонтного бетона в 1,5 раза приводит к повышению несущей способности сечения от 19 до 50% в зависимости от класса «старого» бетона, класса и модуля упругости ремонтного бетона, в связи, с чем при выборе бетона усиления целесообразно делать акцент не на повышение класса бетона, а на повышение модуля упругости бетона усиления, что важно и с точки зрения создания эффекта «обоймы» для «старого» бетона;
- при неизменной величине сечения и коэффициенте армирования применение ремонтного бетона позволяет повысить несущую способность сечения в рассматриваемом примере от 1,07 до 2,25 раза в зависимости от класса «старого» бетона, класса и модуля упругости ремонтного бетона, площади ремонтного бетона.

При длительном нагружении с учетом влияния добавок, входящих в ремонтные составы, на ползучесть [16] и усадку [17] бетона и, вследствие этого, а также возраста «старого» бетона, диаграммы деформирования «старого» и «нового» бетонов будут существенно различаться. Оценка напряженно-деформированного состояния в этом случае представляет отдельную задачу.

Вывод. Таким образом, расчет прочности железобетонных элементов, усиленных ремонтными составами, по нелинейной деформационной модели позволяет более точно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) и, соответственно, несущую способность после усиления, при этом выбор ремонтного состава целесообразно производить в зависимости от поставленной задачи с учетом деформационных свойств «старого» бетона.

Библиографический список:

1. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения. М.: Стройиздат, 1992
2. Шилин А.А. Ремонт железобетонных конструкций М.: Издательство «Горная книга», 2010. – 519 с.
3. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. – М.: Стройиздат, 2004. – 144 с.
4. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. Под руководством д.т.н., проф. В.А. Клевцова. М.: НИИЖБ, 2006-48с.
5. Мкртчян А.М., Маилян Д.Р. Расчет железобетонных колонн из высокопрочного бетона по недеформированной схеме// Научное обозрение. 2013. № 11. С. 72-76.
6. V. Muradyan, D.Mailyan, A.Mkrtchyan and S. Osadchenko Investigation of reinforced concrete columns with recessed longitudinal rods without transverse reinforcement//MATEC Web Conf. Volume 106, 2017 International Science Conference SPbWOSCE-2016 “SMART City” <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710602008>
7. Маилян Д.Р. Метод расчета сжатых железобетонных элементов с учетом трансформированных диаграмм деформирования бетона при различных воздействиях: монография / Маилян Д.Р., Ахмед Аббуд, Ганди Джахажах. - 2008. - 67 с. 2.
8. Резван И.В., Маилян Д.Р. Несущая способность бетонного сердечника трубно-бетонных колонн // Вестник Майкопского государственного технологического университета. - 2011. - №3. - С. 18 - 25. 6.
9. Аксёнов В.Н. К расчету колонн из высокопрочного бетона по недеформированной схеме // Бетон и железобетон.– 2009.– № 1. – С. 24- 26.
10. MetinHusem, SelimPul. Investigation of stress–strain models for confined high strength concrete [Текст] // “Sadhana” Vol. 32, Part 3, June 2007, pp. 243–252. – India.
11. Коллеганов А.В., Маилян Д.Р., Несветаев Г.В., Блягоз А.М. Оценка критической конструктивной прочности бетона, подверженного коррозии// Новые технологии вып. 4/2012. Майкоп: ФГБОУ ВПО «МГТУ». С. 122-125
12. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Модуль упругости цементного камня с суперпластификаторами и минеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении// Бетон и железобетон. 2013. № 6. С. 10-13.
13. Низина Т.А., Пономарев А.Н., Балыков А.С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // Строительные материалы. 2016. № 9. С. 68–72.

14. Низина Т.А., Бальков А.С. Анализ комплексного влияния модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 4. С. 25–32.
15. Зоткин А.Г. Прочностная совместимость цементов с суперпластификаторами // Технологии бетонов. 2014. № 9. С. 22–26.
16. G.V. Nesvetaev, I.V. Korchagin, Y.Y. Lopatina On Effect of Superplasticizers and Mineral Additives on Creep Factor of Hardened Cement Paste and Concrete// Solid State Phenomena Submitted: ISSN: 1662-9779, Vol. 265, pp 109-113 © 2017 Trans Tech Publications, Switzerland. <https://doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.265.109>
17. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны (SCC): усадка// Строительные материалы. 2009. № 8. С. 52-54.

References:

1. Rekomendatsii po proektirovaniyu usileniya zhelezobetonnykh konstruksii zdaniy i sooruzhenii rekonstruiruemyykh predpriyatii. Nadzemnye konstruksii i sooruzheniya. M.: Stroizdat; 1992. 191 s. [Recommendations on designing the reinforcement of reinforced concrete buildings and construction structures of the reconstructed enterprises. Overground constructions and structures. M.: Stroizdat; 1992. 191 p. (In Russ.)]
2. Shilin A.A. Remont zhelezobetonnykh konstruksii M.: Gornaya kniga; 2010. 519 s. [Shilin A.A. Repair of reinforced concrete structures. M.: Gornaya kniga; 2010. 519 p. (In Russ.)]
3. Shilin A.A., Pshenichnyi V.A., Kartuzov D.V. Usilenie zhelezobetonnykh konstruksii kompozitsionnymi materialami. M.: Stroizdat; 2004. 144 s. [Shilin A.A., Pshenichnyi V.A., Kartuzov D.V. Reinforcement of reinforced concrete constructions by composite materials. M.: Stroizdat; 2004. 144 p. (In Russ.)]
4. Rukovodstvo po usileniyu zhelezobetonnykh konstruksii kompozitnymi materialami. Pod rukovodstvom d.t.n., prof. V.A. Klevtsova. M.: NIIZhB; 2006. 48 s. [Guidelines for reinforcing reinforced concrete structures with composite materials. Under the guidance of Doctor of Technical Sciences, prof. V.A. Klevtsov. M.: NIIZhB; 2006. 48 p. (In Russ.)]
5. Mkrtychyan A.M., Mailyan D.R. Raschet zhelezobetonnykh kolonn iz vysokoprochnogo betona po nedeformirovannoi skheme. Nauchnoe obozrenie. 2013;11:72-76. [Mkrtychyan A.M., Mailyan D.R. Calculation of reinforced concrete columns made of high-strength concrete under the undeformed scheme. Science Review. 2013;11:72-76. (In Russ.)]
6. Muradyan V., Mailyan D., Mkrtychyan A., Osadchenko S. Investigation of reinforced concrete columns with recessed longitudinal rods without transverse reinforcement. MATEC Web Conf. Volume 106, 2017 International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City" <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710602008>
7. Mailyan D.R., Abbud A., Dzhakhazhakh G. Metod rascheta szhatykh zhelezobetonnykh elementov s uchetom transformirovannykh diagramm deformirovaniya betona pri razlichnykh vozdeistviyakh: monografiya. 2008. 67 s. [Mailyan D.R., Abbud A., Dzhakhazhakh G. Method of calculation of compressed reinforced concrete elements taking into account the transformed diagrams of concrete deformation at various influences: a monograph. 2008. 67 p. (In Russ.)]
8. Rezvan I.V., Mailyan D.R. Nesushchaya sposobnost' betonnoy serdechniki trubno-betonnykh kolonn. Vestnik Maikopskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2011;3:18 - 25. [Rezvan I.V., Mailyan D.R. Bearing capacity of a concrete core of pipe-concrete columns. The bulletin of Maikop state technological university. 2011;3:18 - 25. (In Russ.)]
9. Aksenov V.N. K raschetu kolonn iz vysokoprochnogo betona po nedeformirovannoi skheme. Beton i zhelezobeton. 2009;1:24- 26. [Aksenov V.N. On the calculation of columns of high-strength concrete by undeformed scheme. Beton i zhelezobeton. 2009;1:24- 26. (In Russ.)]
10. Metin H. Selim P. Investigation of stress-strain models for confined high strength concrete. Sadhana. 2007; 32(3):243–252.
11. Kolleganov A.V., Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Blyagoz A.M. Otsenka kriticheskoi konstruktivnoi prochnosti betona, podverzhennogo korrozii. Novye tekhnologii. 2012;4:122-125. [Kolleganov A.V., Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Blyagoz A.M. Assessment of the critical structural strength of concrete exposed to corrosion. New technologies. 2012;4:122-125. (In Russ.)]
12. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Modul' uprugosti tsementnogo kamnya s superplastifikatorami i mineral'nymi modifikatorami s uchetom ego sobstvennykh deformatsii pri tverdenii. Beton i zhelezobeton. 2013;6:10-13. [Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Elasticity modulus of cement stone with superplasticisers and mineral modifiers taking into account its own strains during hardening. Beton i zhelezobeton. 2013;6:10-13. (In Russ.)]
13. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S. Melkozernistye dispersno-armirovannyye betony na osnove kompleksnykh modifitsiruyushchikh dobavok. Stroitel'nye materialy. 2016;9:68–72. [Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S. Fine-grained dispersed-reinforced concretes based on complex modifying additives. Construction Materials. 2016;9:68–72. (In Russ.)]
14. Nizina T.A., Balykov A.S. Analiz kompleksnogo vliyaniya modifitsiruyushchikh dobavok i dispersnogo armirovaniya na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki melkozernistykh betonov. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2015;4:25–32. [Nizina T.A., Balykov A.S. Analysis of the complex effect of modifying additives and

- disperse reinforcement on the physical and mechanical characteristics of fine-grained concrete. Regional Architecture and Construction. 2015;4:25–32. (In Russ.)]
15. Zotkin A.G. Prochnostnaya sovместimost' tseментov s superplastifikatorami. Tekhnologii betonov. 2014;9:22–26. [Zotkin A.G. Strength compatibility of cements with superplasticizers. Concrete Technologies. 2014;9:22–26. (In Russ.)]
 16. Nesvetaev G.V., Korchagin I.V., Lopatina Y.Y. On Effect of Superplasticizers and Mineral Additives on Creep Factor of Hardened Cement Paste and Concrete. Solid State Phenomena. 2017;265:109-113. <https://doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.265.109>
 17. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Samouplotnyayushchiesya betony (SCC): usadka. Stroitel'nye materialy. 2009;8:52-54. [Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Self-compacting concrete (SCC): shrinkage. Construction Materials. 2009;8:52-54. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Маилян Дмитрий Рафаэлович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций.

Несветаев Григорий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства.

Коллеганов Алексей Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства.

Коллеганов Никита Алексеевич – студент.

Information about the authors:

Grigory V. Nesvetaev – Dr. Sci. (Technical), Prof., head of Department Construction technology.

Dmitry R. Mailyan - Dr. Sci. (Technical), Prof., head of Department Reinforced concrete and stone structures/

Aleksey V. Kolleganov – Cand. Sci. (Technical), Prof., Assoc. Prof., Department Building.

Nikita A. Kolleganov – Student.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.07.2017.

Принята в печать 28.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 19.07.2017.

Accepted for publication 28.08.2017.