

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ПОД НАГРУЗКОЙ

Н.М. Снятков, Д.С. Алексеев

Кафедра «Городское строительство и автомобильные дороги», ТГТУ

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: деформационная модель расчета; несущая способность; нормы проектирования; уровень нагружения.

Аннотация: На основе деформационной модели расчета построены аналитические выражения нелинейных уравнений равновесия внутренних усилий в сечении железобетонного элемента, усиленного под нагрузкой, позволяющие определять параметры напряженно-деформированного состояния на всех стадиях нагружения как до, так и после усиления. Приведены результаты расчета усиленных под нагрузкой железобетонных элементов для двух случаев усиления в диапазоне уровней нагружения от 0 до 65 % с различными эксцентриситетами приложения нагрузок. Построены графики зависимости несущей способности железобетонных элементов от уровня нагружения до усиления. Предложены корректирующие коэффициенты в значения разрушающих нагрузок, определенных по СНиП, позволяющие учитывать уровень нагружения до усиления.

Обозначения

A, B, C, D, F – коэффициенты полинома, Н/м^2 ;	R_b – расчетное сопротивление сжатия бетона, Па;
A_s, A'_s – площадь арматуры, м^2 ;	R_s, R'_s – расчетное сопротивление растяжению арматуры, Па;
A_{sd}, A'_{sd} – площадь арматуры усиления, м^2 ;	t – время, с;
a, a' – расстояния от центров тяжести растянутой и сжатой арматуры до граней бетона, м;	x_b, x_{bd}, x_0, x_{0d} – параметры, характеризующие высоту сечения сжатого бетона, м;
b – ширина сечения, м;	y_n, y_0 – значения разрушающих нагрузок при уровнях нагружения n % и 0 %;
b_d – ширина сечения усиления, м;	$\varepsilon_{10}, \varepsilon_{us}, \varepsilon_d, \varepsilon_1$ – относительные деформации бетона в сечении элемента;
E_s, E'_s – модуль упругости, Па;	ε_m – предельная относительная деформация бетона;
e_0 – эксцентриситет начальной нагрузки, м;	ε_s – относительная деформация арматуры;
e_d – эксцентриситет дополнительной нагрузки, м;	γ_{br1} – коэффициент условия работы для бетона;
h – высота сечения, м;	γ_{sr1} – коэффициент условия работы для арматуры;
h_d – высота сечения усиления, м;	η – коэффициент, учитывающий влияние прогиба элемента;
k_n – коэффициент снижения несущей способности;	σ_b, σ_{bd} – напряжения в бетоне, Н/м^2 ;
M – момент действующий на элемент, Нм;	$\sigma_s, \sigma'_s, \sigma_{sd}, \sigma'_{sd}$ – напряжения в арматуре, Н/м^2 .
n – уровень нагружения, %;	
P – продольная сила действующая на элемент, Н;	
P_p – разрушающая нагрузка, Н;	
p – шаг возрастания нагрузки, Н/с;	

В современной инвестиционной политике отмечается тенденция роста капитальных вложений в реконструкцию. Как показывает международный опыт, в экономическом отношении окупаемость капитальных вложений при реконструкции происходит в 2 – 3 раза быстрее, чем при возведении новых производственных сооружений [1]. Однако в большинстве случаев реконструкция и перепрофилирование производств приводит к увеличению нагрузок на существующие конструкции и необходимости их усиления.

В условиях реконструкции зданий и сооружений наиболее общим случаем является усиление конструкций под нагрузкой.

Существующие нормы проектирования [5] содержат только общие рекомендации по проектированию усиленных железобетонных конструкций. Расчет ведется по предельным состояниям, используются формулы СНиП для неусиленных конструкций с учетом особенностей, связанных с применением различных видов арматуры и классов бетона в усиливаемой и усиливающей частях конструкции. В расчетах используются линейные диаграммы деформирования материалов.

Нормы допускают усиление под нагрузкой до 65 % от расчетной величины для усиливаемой конструкции и под большой нагрузкой с введением коэффициентов условий работы бетона $\gamma_{br1} = 0,9$ и арматуры $\gamma_{sr1} = 0,9$.

При усилении под нагрузкой нормативный метод расчета не позволяет оценить влияние начальных напряжений и деформаций в усиливаемой части на несущую способность усиленной конструкции, так как в расчете по предельным состояниям не рассматривается напряженно-деформированное состояние конструкции до усиления (при эксплуатационных нагрузках) и исключается возможность учета распределения и перераспределения усилий между элементами (частями) усиленной конструкции при последующем ее загрузке и включении элемента усиления в совместную работу.

Отмеченные недостатки привели в последние годы к поиску новых решений, основанных на деформационной модели расчета и использовании нелинейных диаграмм деформирования материалов.

На основе общего подхода Р.С. Санжаровского [4] Н.М. Снятковым была предложена методика расчета усиленных под нагрузкой железобетонных рам с учетом физической нелинейности [6, 7].

В 1990 году вышла монография С.В. Бондаренко и Р.С. Санжаровского [3], в которой содержится подробный анализ методов расчета усиленных железобетонных конструкций и приведен ряд новых теоретических положений и практических приемов расчета железобетонных элементов, усиленных как после разгрузки, так и под нагрузкой. Основное внимание было уделено устойчивости внецентренно-сжатых элементов и усилению конструкций путем изменения граничных условий.

В 1995 году Д.О. Астафьевым [1] разработана математическая модель расчета реконструируемых (усиливаемых) стержневых железобетонных конструкций, отражающая их состояние в течение всего времени существования – от момента возведения (изготовления), дальнейшей эксплуатации, реконструкции (усиления) до возможного разрушения. При этом на всех этапах существования дается оценка напряженно-деформированного состояния элементов и несущей способности сооружения. В работе развита теория, которая позволяет учитывать физическую и геометрическую нелинейность конструкции, различные физико-механические и реологические свойства материалов усиливаемой конструкции и элементов усиления, возраст и предысторию нагружения.

Несмотря на ряд несомненных достоинств, в работах [1, 3, 6, 7] не анализируется вопрос зависимости несущей способности усиленного под нагрузкой железобетонного элемента от уровня нагружения до усиления.

В настоящей работе приняты гипотезы, используемые в нелинейной теории железобетона:

– деформации по сечению распределяются по закону плоскости (гипотеза плоских сечений);

– для любого волокна бетона зависимость $\sigma_b = f(\varepsilon_b)$ следует диаграмме одноосного сжатия бетона;

– ось нулевых напряжений совпадает с осью нулевых деформаций;

– бетон растянутой зоны имеет трещины (работа растянутого бетона не учитывается).

Зависимость $\sigma_b = f(\varepsilon_b)$ для бетона принята в виде полинома пятой степени [2, 8]

$$\sigma_b = A\varepsilon_b^1 + B\varepsilon_b^2 + C\varepsilon_b^3 + D\varepsilon_b^4 + F\varepsilon_b^5. \quad (1)$$

Зависимость $\sigma_s = f(\varepsilon_s)$ для арматуры с физическим пределом текучести принята в виде идеализированной диаграммы Прандтля, а для арматуры с условным пределом текучести – диаграмма, состоящая из трех отдельных наклонных участков.

Рассмотрим два случая усиления внецентренно-сжатого железобетонного элемента:

1) элемент, усиленный под нагрузкой способом бокового наращивания (увеличение поперечных размеров) сечения (рис. 1);

2) элемент, усиленный со стороны сжатой зоны бетона (рис. 2).

Уравнения равновесия для первого случая усиления имеют вид (здесь приводятся уравнения только для случая распределения напряжений и деформаций по высоте сечения по схеме II):

$$P_0 + P_d = \frac{bx_b}{\varepsilon_1} \int_0^{\varepsilon_1} \sigma_b d\varepsilon + \sigma_s A_s + \sigma'_s A'_s + \frac{b_d x_{bd}}{\varepsilon_{1d}} \int_0^{\varepsilon_{1d}} \sigma_{bd} d\varepsilon_d + \sigma_{sd} A_{sd} + \sigma'_{sd} A'_{sd}; \quad (2)$$

$$M_0 + M_d = P_0(\eta e_0) + P_d(\eta e_d) = \frac{bx_b(x_b - a')}{\varepsilon_1} \int_0^{\varepsilon_1} \sigma_b d\varepsilon - \frac{bx_b^2}{\varepsilon_1^2} \int_0^{\varepsilon_1} \sigma_b \varepsilon d\varepsilon + \sigma_s A_s c + \frac{b_d x_{bd}(x_{bd} - a'_d)}{\varepsilon_{1d}} \int_0^{\varepsilon_{1d}} \sigma_{bd} d\varepsilon_d - \frac{b_d x_{bd}^2}{\varepsilon_{1d}^2} \int_0^{\varepsilon_{1d}} \sigma_{bd} \varepsilon_d d\varepsilon_d + \sigma'_{sd} A'_{sd} c_d, \quad (3)$$

где P_0, M_0 – начальные нагрузки, действующие на элемент до усиления; $P_0 + P_d, M_0 + M_d$ – суммарные нагрузки на усиленный элемент; η – коэффициент, учитывающий влияние прогиба элемента.

Уравнения равновесия для второго случая имеют вид (схема II):

$$P_0 + P_d = \frac{bx_b}{\varepsilon_1} \int_0^{\varepsilon_1} \sigma_b d\varepsilon + \sigma_s A_s + \sigma'_s A'_s + b \int_{x_{0d}}^{(x_{0d} + h'_d)} \sigma_{bd} dx_d + \sigma'_{sd} A'_{sd}, \quad (4)$$

$$M_0 + M_d = P_0(\eta e_0) + P_d(\eta e_d) = \frac{bx_b(x_b - a')}{\varepsilon_1} \int_0^{\varepsilon_1} \sigma_b d\varepsilon - \frac{bx_b^2}{\varepsilon_1^2} \int_0^{\varepsilon_1} \sigma_b \varepsilon d\varepsilon + \sigma_s A_s c + b \int_{x_{0d}}^{(x_{0d} + h'_d)} \sigma_{bd}(x_{0d} - a' - x_d) dx_d + \sigma'_{sd} A'_{sd} c'_d, \quad (5)$$

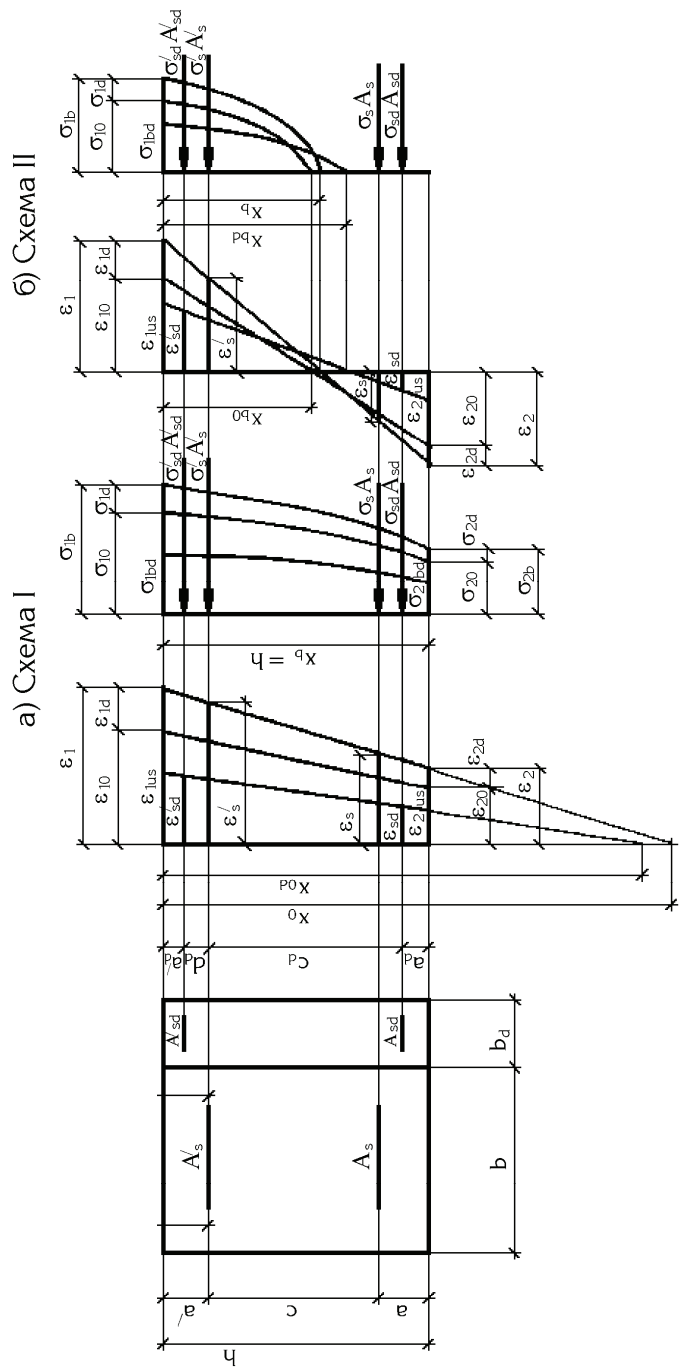


Рис. 1. Распределение напряжений и деформаций по высоте сечения элемента, усиленного под нагрузкой боковым наращиванием

При условии совместности деформаций [1, 7]

$$\varepsilon_d = \varepsilon_{ius} = \varepsilon_i - \varepsilon_{i0}, \quad (6)$$

где ε_{i0} – относительные деформации в усиливаемом элементе при действии начальной нагрузки P_0 ; ε_{ius} – в усиливающей части, равные дополнительным деформациям в усиливаемом элементе при действии нагрузки $P_0 + P_d$.

По каждому случаю принято четыре варианта усиления.

Усиливаемый элемент имеет следующие характеристики:

$h = 0,25$ м; $b = 0,186$ м; $a = 0,028$ м; $a' = 0,024$ м; $e_0 = 0,05$ м – начальный эксцентриситет. Бетон класса В40, $R_b = 22$ МПа; $E_s = 36 \cdot 10^3$ МПа.

Арматура класса А-III, $R_s = R'_s = 365$ МПа; $E_s = E'_s = 2 \cdot 10^5$ МПа.

$$A_s = 4,524 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (4\emptyset 12); A'_s = 3,142 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (4\emptyset 10).$$

Характеристики сечений усиления (рис. 1).

Вариант 1. $b_d = 0,2b = 0,0372$ м; $A_{sd} = 1,131 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (1\emptyset 12)$; $A'_{sd} = 0,7855 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (1\emptyset 10)$.

Вариант 2. $b_d = 0,3b = 0,0558$ м; $A_{sd} = 2,262 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (2\emptyset 12)$; $A'_{sd} = 1,571 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (2\emptyset 10)$.

Вариант 3. $b_d = 0,4b = 0,0744$ м; $A_{sd} = 3,393 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (3\emptyset 12)$; $A'_{sd} = 2,356 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (3\emptyset 10)$.

Вариант 4. $b_d = 0,5b = 0,093$ м; $A_{sd} = 4,524 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (4\emptyset 12)$; $A'_{sd} = 3,142 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 (4\emptyset 10)$.

Для всех вариантов $a_d = a$; $a'_d = a'$; $e_d = e_0$, $h_d = h$.

Характеристики сечений усиления (рис. 2).

Вариант 1. $h_d = 0,05$ м.

Вариант 2. $h_d = 0,075$ м.

Вариант 3. $h_d = 0,1$ м.

Вариант 4. $h_d = 0,125$ м.

Площади сечений по обоим случаям усиления приняты равными (соответственно для вариантов 1, 2, 3, 4).

Для сечений усиления приняты также бетон класса В40 и арматура класса А-III.

Разрушающая нагрузка для усиленного элемента определялась по изложенной нелинейной методике расчета и по методике СНиП при различных уровнях нагружения до усиления (от 0 до 65 %) и различных эксцентриситетах приложения нагрузки (от 0,05 до 0,5 м).

Решение реализовано на ПЭВМ с помощью программы Maple8.

В результате расчета определяются: коэффициенты полинома A, B, C, D, F , высота сжатой зоны бетона, деформации бетона и арматуры, нормальные напряжения в арматуре и бетоне. Задавая закон возрастания нагрузки ($P = P_0 + pt$), можно проследить за изменением параметров напряженно-деформированного состояния в сечении железобетонного элемента, усиленного под нагрузкой. Критериями исчерпания несущей способности являются достижения в сжатой зоне бетона предельных деформаций или достижения в арматуре (условного) предела текучести

$$\varepsilon_b \leq \varepsilon_m; \quad (7)$$

$$\sigma_s(\sigma'_s) \leq R_s(R'_s). \quad (8)$$

В табл. 1, 2 приведены значения разрушающих нагрузок при $e_0 = 0,05$ и 0,5 м.

Таблица 1

Элемент, усиленный боковым наращиванием

Уровень нагружения $n, \%$	Эксцентриситет $e_0, \text{м}$	Разрушающая нагрузка $P_p, \text{кН}$			
		Варианты усиления			
		1	2	3	4
0	0,05	485,0	548,1	721,2	752,1
30		478,6	525,9	698,7	731,5
50		458,2	520,1	684,3	690,8
65		451,3	512,1	672,7	681,4
0	0,5	299,1	335,2	553,8	560,6
30		281,4	320,8	535,3	536,4
50		267,6	309,4	502,8	512,8
65		251,7	298,4	491,1	501,7

Таблица 2

Элемент, усиленный наращиванием в сжатой зоне

Уровень нагружения $n, \%$	Эксцентриситет $e_0, \text{м}$	Разрушающая нагрузка $P_p, \text{кН}$			
		Варианты усиления			
		1	2	3	4
0	0,05	501,2	573,6	742,6	779,5
30		494,1	561,3	716,2	741,2
50		489,2	552,1	681,4	704,5
65		481,3	542,7	662,8	678,8
0	0,5	321,7	415,3	578,3	598,6
30		311,8	401,2	558,2	561,2
50		301,5	387,6	535,7	541,7
65		282,8	361,1	509,8	511,4

По результатам расчета построены графики зависимостей разрушающих нагрузок от уровней нагружения до усиления $P_p(n)$ (рис. 3 – 6).

Горизонтальные линии на графиках соответствуют значениям разрушающих нагрузок, определенным по СНиП [5].

Аппроксимация графиков (рис. 3 – 6) производилась с помощью программы SIMPLE FORMULA v1.5. Ниже приведены функции зависимости несущей способности усиленного под нагрузкой железобетонного элемента от уровня нагружения до усиления.

Для случая усиления боковым наращиванием:

– при $e = 0,05 \text{ м}$:

$$1) y = 1/(38,98 \cdot 10^{-9} x^2 + 2,06 \cdot 10^{-3});$$

$$2) y = \sqrt{-4,96x^2 - 144,65x + 322,97 \cdot 10^3};$$

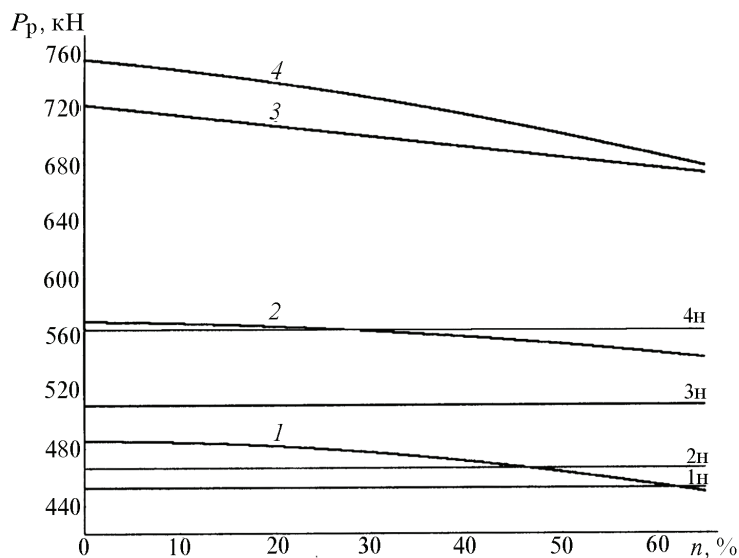


Рис. 3 Графики зависимостей разрушающих нагрузок $P_p(n)$ для элементов, усиленных под нагрузкой боковым наращиванием (при $e = 0,05$ м):
1 – 4 – варианты усиления соответственно 1 – 4

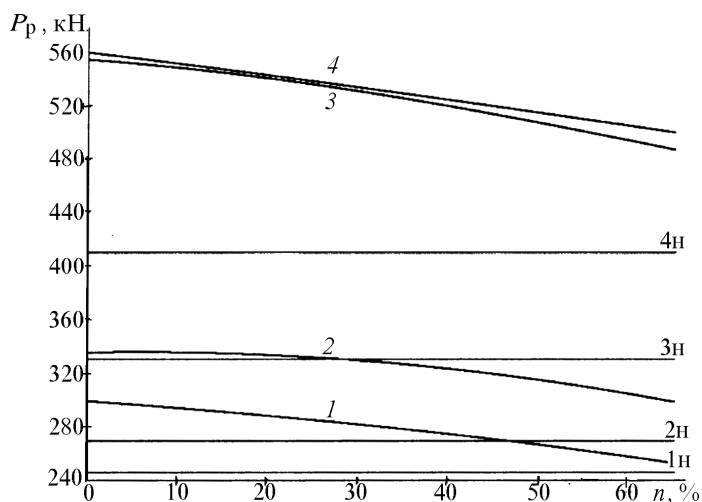


Рис. 4 Графики зависимостей разрушающих нагрузок $P_p(n)$ для элементов, усиленных под нагрузкой боковым наращиванием (при $e = 0,5$ м):
1 – 4 – варианты усиления соответственно 1 – 4

$$3) y = 1/(17,64 \cdot 10^{-9} x^2 + 1,14 \cdot 10^{-6} x + 1,32 \cdot 10^{-3});$$

$$4) y = 1/(20,56 \cdot 10^{-9} x^2 + 1,23 \cdot 10^{-6} x + 1,34 \cdot 10^{-3})$$

(соответственно для 1, 2, 3 и 4 варианта усиления);

– при $e = 0,5$ м:

$$1) y = \sqrt{-1,69x^2 - 285,48x + 89,38 \cdot 10^3};$$

$$2) y = (-10,67 \cdot 10^{-3} x^2 + 127,85 \cdot 10^{-3} x + 335,20);$$

$$3) y = 1/(33,54 \cdot 10^{-9} x^2 + 1,69 \cdot 10^{-6} x + 1,80 \cdot 10^{-3});$$

$$4) y = 1/(10,30 \cdot 10^{-9} x^2 + 2,62 \cdot 10^{-6} x + 1,78 \cdot 10^{-3}).$$

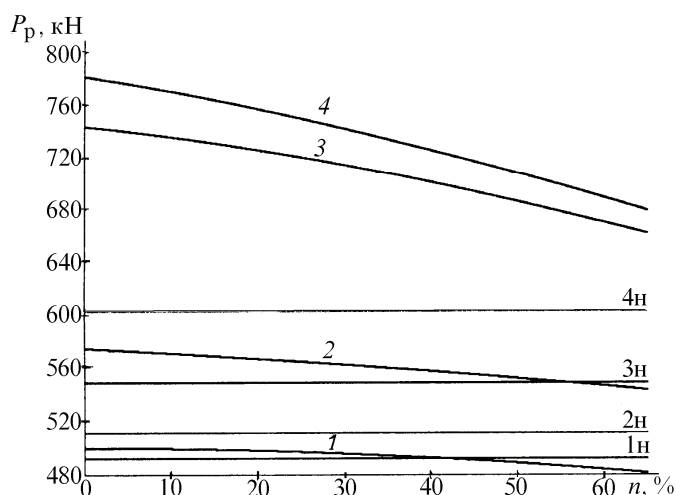


Рис. 5 Графики зависимостей разрушающих нагрузок $P_p(n)$ для элементов усиленных под нагрузкой со стороны сжатой зоны бетона (при $e = 0,05$ м):
1 – 4 – варианты усиления соответственно 1 – 4

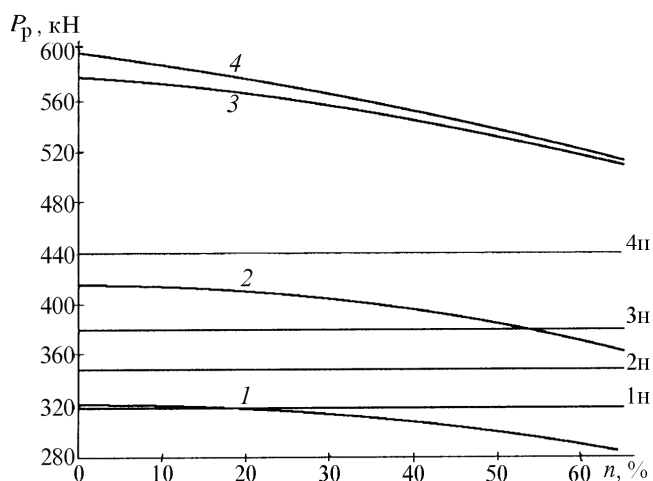


Рис. 6 Графики зависимостей разрушающих нагрузок $P_p(n)$ для элементов усиленных под нагрузкой со стороны сжатой зоны бетона (при $e = 0,5$ м):
1 – 4 – варианты усиления соответственно 1 – 4

Для случая усиления со стороны сжатой зоны бетона:

– при $e = 0,05$ м:

$$1) y = 1/(18,54 \cdot 10^{-9} x^2 + 2,00 \cdot 10^{-3});$$

$$2) y = \sqrt{-2,18x^2 - 144,65x - 383,51x + 328,93 \cdot 10^3};$$

$$3) y = 1/(20,05 \cdot 10^{-9} x^2 + 1,27 \cdot 10^{-6} x + 1,34 \cdot 10^{-3});$$

$$4) y = 1/(19,65 \cdot 10^{-9} x^2 + 1,70 \cdot 10^{-6} x + 1,28 \cdot 10^{-3});$$

– при $e = 0,5$ м:

$$1) y = \sqrt{-5,37x^2 - 285,48x + 103,14 \cdot 10^3};$$

$$2) y = \sqrt{-9,25x^2 - 285,48x - 24,81x + 172,02 \cdot 10^3};$$

$$3) y = 1/(37,19 \cdot 10^{-9} x^2 + 1,21 \cdot 10^{-6} x + 1,72 \cdot 10^{-3});$$

$$4) y = \sqrt{(-5,06x^2 - 1,12 \cdot 10^3 x + 357,52 \cdot 10^3)}.$$

Зависимости несущей способности железобетонных элементов, усиленных под нагрузкой, от уровня нагружения до усиления показывают, что они имеют ярко выраженный нелинейный характер.

Требование СНиП о введении коэффициентов условий работы γ_{br1} и γ_{sr1} при уровне нагружения более 65 % не вполне обосновано: при любом уровне нагружения до усиления необходимо учитывать влияние начальных напряжений и деформаций на несущую способность усиленных под нагрузкой железобетонных элементов.

По полученным функциям можно определить корректирующие коэффициенты снижения несущей способности усиленных железобетонных элементов при увеличении уровней нагружения до усиления: $k_n = y_n / y_0$, где y_n , y_0 – значения разрушающих нагрузок при уровнях нагружения n % и 0 %.

Таким образом, для данных случаев усиления значения разрушающих нагрузок, определенных по нормативной методике расчета, следует корректировать введением коэффициентов k_n , учитывающих уровень нагружения до усиления.

Список литературы

1. Астафьев Д.О. Расчет реконструируемых железобетонных конструкций / Д.О. Астафьев. – СПб.: СПбГАСУ, 1995. – 158 с.
2. Байков В.Н. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей / В.Н. Байков, С.В. Горбатов, З.А. Димитров // Изв. ВУЗов. Стр-во и архитектура. – 1977. – № 6. – С. 15 – 18.
3. Бондаренко С.В. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий / С.В. Бондаренко, Р.С. Санжаровский. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
4. Санжаровский Р.С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести / Р.С. Санжаровский. – Л.: Изд. ЛГУ, 1984. – 217 с.
5. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 1989. – 88 с.
6. Снятков Н.М. Анализ развития и совершенствования способов усиления и методов расчета усиленных железобетонных конструкций / Н.М. Снятков; Ленингр.инж.-строит.ин-т. – Л., 1990. – 73 с. – Деп. Во ВНИИ пробл.науч. – техн.прогресса и информ. в стр-ве. 10.09.90, № 10796.
7. Снятков Н.М. Несущая способность железобетонных рам, усиленных под нагрузкой / Н.М. Снятков // Исследования по строительной механике пространственных систем. – М., 1990. – С. 80-85.
8. Snyatkov N.M., Odnolko V.G., Lapitsky O.B. Equations of a Mechanical State of Concrete / N.M. Snyatkov, V.G. Odnolko, O.B. Lapitsky // Вестник ТГТУ. – 1998. – Т. 4, № 4. – С. 588 – 594.

Calculation of Ferro-Concrete Elements, Reinforced under Loading

N.M. Snyatkov, D.S. Alexeyev

Department «City Construction and Highway», TSTU

Key words and phrases: deformation model of calculation; load-carrying capacity; standards of designing.

Abstract: On the basis of deformation model of calculation analytical expressions of nonlinear equations of equilibrium of internal efforts in cross-section of ferro-concrete element, reinforced under the loading are constructed, allowing to determine parameters of tensely - deformed conditions at all stages of for - loading both up to, and after reinforcement. Results of calculation of ferro-concrete elements reinforced under loading in two cases of reinforcement in a range of loading levels from 0 up to 65 % with various eccentricities of loads application are adduced. Charts demonstrating relation of lift capability of ferro-concrete elements from a level of loading before reinforcement are constructed. Correcting factors in values of the destructive loads determined according the system of standards and regulations are offered, allowing to take into account a level of loading before reinforcement.

Berechnung der unter der Belastung verstärkten Stahlbetonelemente

Zusammenfassung: Auf Grund des Deformationsmodell der Berechnung sind die analytischen Formel der unlinearen Gleichungen vom Gleichgewicht der Innenkräfte im Schnitt des unter der Belastung verstärkten Stahlbetonelementes gebaut. Sie erlauben, die Parameter des angespannt-deformierten Zustandes in allen Füllenstadien sowohl bevor als auch nach der Verstärkung zu bestimmen. Es sind die Ergebnisse der Berechnung der unter der Belastung verstärkten Stahlbetonelemente für zwei Fälle der Verstärkung im Belastungsbereich von 0 bis 65% mit verschiedenen Exzentrizitäten von Belastungsanlegung angeführt. Es sind graphische Darstellungen der Abhängigkeit der Tragfähigkeit der Stahlbetonelemente vom Belastungsniveau bis zur Verstärkung gebaut. Es sind die Korrekturkoeffiziente in Werten der zerstörenden nach Baunormen und Regeln bestimmten Belastungen, die das Niveau der Belastung bis Verstärkung in Betracht ziehen, vorgeschlagen.

Calcul des éléments du béton armé renforcés sous une charge

Résumé: A la base du modèle de déformation pour le calcul sont construites les expressions des équations de l'équilibre des efforts intérieurs dans la section des éléments du béton armé renforcés sous une charge qui permettent de définir les paramètres de l'état de tension et de déformation dans tous les stades du chargement avant et après le renforcement. Sont cités les résultats du calcul des éléments du béton armé renforcés sous une charge pour les deux cas du renforcement dans la gamme des niveaux du chargement à partir de 0 jusqu' à 65% avec de différentes exentricités de l'application des chargements. Sont faits des graphiques des dépendances compte tenu de la capacité porteuse des éléments du béton armé du niveau du chargement jusqu'au renforcement. Sont proposés les coefficients de correction dans les grandeurs des charges destructives permettant de déterminer le niveau du chargement jusqu'au renforcement.
