



УДК 624.04

**Серазутдинов М.Н.** – доктор физико-математических наук, профессор

E-mail: [serazmn@mail.ru](mailto:serazmn@mail.ru)

**Убайдуллоев М.Н.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [madgidpwn@rambler.ru](mailto:madgidpwn@rambler.ru)

**Казанский национальный исследовательский технологический университет**

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

**Низамеев В.Г.** – кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: [kisi@mail.ru](mailto:kisi@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### **Расчет нагруженных конструкций, усиливаемых способами увеличения сечения и изменения расчетной схемы**

#### **Аннотация**

В данной статье излагается вариационный метод определения напряженно-деформированного состояния стержневых конструкций усиленных способами увеличения геометрических размеров сечения элементов и изменения расчетной и конструктивной схемы конструкции. Исследуются вопросы влияния введения новых или удаления некоторых существующих конструктивных элементов, изменяющих расчетную схему усиливаемой конструкции, последовательности выполнения этапов усиления на напряженно-деформированное состояние усиливаемых стержневых систем при упругопластических деформациях.

**Ключевые слова:** стержневые конструкции, усиление, ремонтные напряжения, вариационный метод, упруго-пластические деформации.

При реконструкции старых зданий часто приходится увеличивать свободное пространство помещений, максимально используя при этом существующие конструкции, что вызывает необходимость их усиления [1, 2]. Необходимость усиления также возникает из-за износа и повреждений элементов эксплуатируемых сооружений.

Вопросам определения несущей способности усиливаемых конструкций посвящены работы авторов публикаций [3-13].

Как известно [3, 4, 5], усиление и ремонт многих эксплуатируемых сооружений выполняются в напряженном состоянии. В монографии [3] и в методических указаниях [4] излагается методика определения несущей способности конструкций, усиленных способом увеличения размеров сечения элементов. Однако, описанная в данных работах методика расчета, применимо только для статически определимых конструкций, имеющих простые прямоугольные формы сечения. Также описанная в этих литературах методика не учитывает влияние пластических деформаций на эффективность усиления конструкций.

Расчету усиленных под нагрузкой стержневых металлических конструкций посвящено исследование [5], где рассмотрены только плоские стержневые конструкции.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований железобетонных балок, усиленных комбинированной системой изложены в работах [6, 7, 8]. Но в отмеченных работах не учитывается влияние начальных напряжений, действующих в конструкциях до усиления.

В данной статье излагается вариационный метод расчета напряженно-деформированного состояния стержневых конструкций усиленных способами увеличения размеров сечения элементов и изменения расчетной и конструктивной схемы конструкций. Исследуются вопросы влияния введения новых или удаления некоторых существующих конструктивных элементов, изменяющих расчетную схему усиливаемой конструкции, последовательности выполнения этапов усиления на напряженно-деформированное состояние усиливаемых стержневых систем при упругопластических деформациях.

При определении напряженно-деформированного состояния усиливаемой нагруженной стержневой конструкции расчеты выполняются в следующей последовательности:

1) определяется перемещения, деформации и напряжения в элементах исходной пространственной стержневой конструкции от воздействия ремонтных нагрузок, действующие в период проведения ремонта или усиления (здесь и далее термин «ремонтные нагрузки» и «ремонтные напряжения» приняты в соответствии с [4]);

2) изменяются размеры поперечных сечения усиливаемых стержней и вводятся дополнительные или удаляются некоторые существующие конструктивные элементы (при необходимости), изменяющие расчетную схему конструкции;

3) проводится расчет конструкции после выполненного усиления, при действии дополнительных нагрузок, с учетом возникновения упругопластических деформаций, изменения размеров поперечного сечения стержней, присоединения новых или удаления существующих элементов, наложение полей напряжений, связанных с ремонтными работами.

Напряженно-деформированное состояние усиливаемой стержневой конструкции определяется с использованием вариационного принципа Лагранжа [9-12]. Для описания пластического деформирования используется теория идеально пластического тела Губера – Мизеса – Генки. Согласно этой теории в точках поперечного сечения стержней, где возникающие деформации являются упругими, зависимость между интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций описывается уравнением  $\sigma_i = E\varepsilon_i$ , где:

$$e_i = \frac{1}{3} \sqrt{4e_x^2 + (g_{xy}^2 + g_{xz}^2)}.$$

В точках, где возникают пластические деформации, считается:

$$\sigma_x^{nl}/\sigma_x/K, \tau_{xy}^{nl}=\tau_{xy}/K, \tau_{xz}^{nl}=\tau_{xz}/K, \text{ где } K=\sigma_i/\sigma_m.$$

Вначале определяется напряженно-деформированное состояние конструкции до усиления от воздействия начальных (ремонтных) нагрузок. В этом случае перемещение элементов стержневой конструкции определяется из следующего условия:

$$\delta U_{упр} + \delta U_{нл} + \delta W = 0, \quad (1)$$

где  $\delta U_{упр}$  – вариация потенциальной энергии деформации стержневой конструкции в области упругих деформаций;  $\delta U_{нл}$  – вариация потенциальной энергии в области пластических деформаций;  $\delta W$  – вариация работы внешних сил.

В рассматриваемом случае выражения  $\delta U_{упр}$ ,  $\delta U_{нл}$  записываются в виде:

$$dU_{упр} = \int_{l_{упр}} \left[ \iint_{A^o} (E_o^o e_x de_x + G_o^o g_{xy} dg_{xy} + G_o^o g_{xz} dg_{xz}) dA + \iint_{A_a^o} E_a e_x de_x dA \right] dl \quad (2)$$

$$dU_{нл} = \int_{l_{нл}} \left[ \iint_{A_{упр}^o} (E_o^o e_x de_x + G_o^o g_{xy} dg_{xy} + G_o^o g_{xz} dg_{xz}) dA + \iint_{A_a^o} E_a e_x de_x dA \right] dl.$$

В соотношениях (2)  $l_{упр}$  – длина элементов стержневой конструкции, в которых действуют только упругие деформации;  $l_{нл}$  – длина зоны упругопластических деформаций;  $A^o$ ,  $A_a^o$  – площади поперечных сечений стержней и арматуры в области основного материала конструкции;  $A_{упр}^o$ ,  $A_{нл}^o$  – площади зон упругих и упругопластических деформаций стержней;  $E_o^o$ ,  $G_o^o$  – модули упругости и сдвига основного материала конструкции;  $E_a$  – модули упругости арматуры;  $\varepsilon_x$ ,  $\gamma_{xy}$ ,  $\gamma_{xz}$  – деформации, выражения для которых записываются в соответствии с [12].

Выражение для вариации работы внешних сил  $\delta W$  имеет вид:

$$dW = \int_{l_q} (\tilde{q}_1^p d\tilde{u}_1 + \tilde{q}_2^p d\tilde{u}_2 + \tilde{q}_3^p d\tilde{u}_3) dl + \sum_i (\tilde{F}_{1i}^p d\tilde{u}_1(x_i) + \tilde{F}_{2i}^p d\tilde{u}_2(x_i) + \tilde{F}_{3i}^p d\tilde{u}_3(x_i)) +$$

$$+ \sum_k (\tilde{M}_{1k}^p \tilde{J}_{1k}(x_k) + \tilde{M}_{2k}^p \tilde{J}_{2k}(x_k) + \tilde{M}_{3k}^p \tilde{J}_{3k}(x_k)) - \int_{l_{нл}} \left[ \iint_{A_{нл}^o} (s_x^{нл} de_x + t_{xy}^{нл} dg_{xy} + t_{xz}^{нл} dg_{xz}) dA \right] dl$$

Здесь  $\tilde{q}_1^p$ ,  $\tilde{q}_2^p$ ,  $\tilde{q}_3^p$ ,  $\tilde{F}_{1i}^p$ ,  $\tilde{F}_{2i}^p$ ,  $\tilde{F}_{3i}^p$ ,  $\tilde{M}_{1k}^p$ ,  $\tilde{M}_{2k}^p$ ,  $\tilde{M}_{3k}^p$  – соответственно распределенные и сосредоточенные силы, действующие в период ремонта и усиления;  $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3$ ,  $\tilde{J}_1, \tilde{J}_2, \tilde{J}_3$  –

перемещения и углы поворота поперечных сечений элементов конструкции относительно координатных осей  $\tilde{0}_x, \tilde{0}_y, \tilde{0}_z$ , в глобальной системе координат.

Деформации  $\varepsilon_x, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}$  и перемещения  $u_1, u_2, u_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  в соотношениях (2) определяются в локальной ортогональной системе координат  $O_{xyz}$ , с осью  $O_x$ , направленной по касательной к продольной оси стержня [12].

Затем производится расчет стержневой конструкции после выполненного усиления, от воздействия дополнительных эксплуатационных нагрузок. При этом учитываются возникновение упругопластических деформаций, изменения размеров поперечного сечения стержней, присоединения новых или удаления существующих элементов и наличия начальных (ремонтных) напряжений в основных элементах конструкции.

Перемещения элементов усиленной стержневой конструкции также определяется из уравнения (1). Вариации потенциальной энергии  $\delta U_{yup}, \delta U_{nl}$ , и работы внешних сил  $\delta W$  в рассматриваемом случае определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 dU_{yup} = & \int_{l_{yup}} \left[ \iint_{A^o} (E^o_{\sigma} e_x de_x + G^o_{\sigma} g_{xy} dg_{xy} + G^o_{\sigma} g_{xz} dg_{xz}) dA + \iint_{A^o_a} E_a e_x de_x dA \right] dl + \\
 & + \iint_{A^p} (E^p_{\sigma} e_x de_x + G^p_{\sigma} g_{xy} dg_{xy} + G^p_{\sigma} g_{xz} dg_{xz}) dA + \iint_{A^p_a} E_a e_x de_x dA + \\
 & + \iint_{A^r} (E^r_{\sigma} e_x de_x + G^r_{\sigma} g_{xy} dg_{xy} + G^r_{\sigma} g_{xz} dg_{xz}) dA + \iint_{A^r_a} E_a e_x de_x dA \quad ] dl, \\
 dU_{nl} = & \int_{l_{nl}} \left[ \iint_{A^o_{yup}} (E^o_{\sigma} e_x de_x + G^o_{\sigma} g_{xy} dg_{xy} + G^o_{\sigma} g_{xz} dg_{xz}) dA + \iint_{A^o_a} E_a e_x de_x dA + \right. \\
 & + \iint_{A^p_{yup}} (E^p_{\sigma} e_x de_x + G^p_{\sigma} g_{xy} dg_{xy} + G^p_{\sigma} g_{xz} dg_{xz}) dA + \iint_{A^p_a} E_a e_x de_x dA \quad ] dl + \\
 & + \int_{l^r_{nl}} \left[ \iint_{A^r_{yup}} (E^r_{\sigma} e_x de_x + G^r_{\sigma} g_{xy} dg_{xy} + G^r_{\sigma} g_{xz} dg_{xz}) dA + \iint_{A^r_a} E_a e_x de_x dA \quad ] dl \\
 dW = & \int_{l_q} (\tilde{q}_1^y d\tilde{u}_1 + \tilde{q}_2^y d\tilde{u}_2 + \tilde{q}_3^y d\tilde{u}_3) dl + \sum_i (\tilde{F}_{1i}^y d\tilde{u}_1(x_i) + \tilde{F}_{2i}^y d\tilde{u}_2(x_i) + \tilde{F}_{3i}^y d\tilde{u}_3(x_i)) + \\
 & + \sum_k (\tilde{M}_{1k}^y \tilde{J}_{1k}(x_k) + \tilde{M}_{2k}^y \tilde{J}_{2k}(x_k) + \tilde{M}_{3k}^y \tilde{J}_{3k}(x_k)) - \\
 & - \int_{l_{yup}} \left[ \iint_{A^o} (s_x^p de_x + t_{xy}^p dg_{xy} + t_{xz}^p dg_{xz}) dA + \iint_{A^o_a} s_x^p de_x dA \right] dl + \\
 & - \int_{l_{nl}} \left[ \iint_{A^o_{yup}} (s_x^p de_x + t_{xy}^p dg_{xy} + t_{xz}^p dg_{xz}) dA + \iint_{A^o_a} s_x^p de_x dA + \right. \\
 & + \iint_{A^o_{nl}} (s_x^{nl} de_x + t_{xy}^{nl} dg_{xy} + t_{xz}^{nl} dg_{xz}) dA + \iint_{A^p_{nl}} (s_x^{nl} de_x + t_{xy}^{nl} dg_{xy} + t_{xz}^{nl} dg_{xz}) dA \quad ] dl - \\
 & \left. - \int_{l^r_{nl}} \left[ \iint_{A^r_{nl}} (s_x^{nl} de_x + t_{xy}^{nl} dg_{xy} + t_{xz}^{nl} dg_{xz}) dA \right] dl,
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где  $A^p, A^r_a$  – площади поперечных сечений стержней и арматуры в области ремонтного (усиливающего) материала конструкции;  $l^o_{yup}, l^o_{nl}, A^o_{yup}, A^o_{nl}$ , – длины и площади зон упругих и упругопластических деформаций дополнительных усиливающих стержней;  $A^o_a$  – площадь сечения арматуры дополнительных усиливающих стержней;  $A^p_{yup}, A^p_{nl}$  – площади областей упругих и пластических деформаций в зоне ремонтного материала конструкции;  $E^p_{\sigma}, G^p_{\sigma}$  – модули упругости и сдвига материала используемого для усиления конструкции (ремонтный материал);  $E^o_{\sigma}, G^o_{\sigma}$  – то же, материалов дополнительно введенных стержней;  $\tilde{q}_1^y, \tilde{q}_2^y, \tilde{q}_3^y, \tilde{F}_{1i}^y, \tilde{F}_{2i}^y, \tilde{F}_{3i}^y, \tilde{M}_{1k}^y, \tilde{M}_{2k}^y, \tilde{M}_{3k}^y$  – нагрузки, действующие на конструкцию после усиления.

При решении задачи стержневая система разбивается на  $N$  участков и вводится глобальная ортогональная система координат  $0\tilde{x}\tilde{y}\tilde{z}$ . На каждом из этих участков

компоненты вектора перемещений  $\bar{u} = \{u_1, u_2, u_3\}^T$ , углов поворота  $\bar{J} = \{J_1, J_2, J_3\}^T$  представляются в виде следующих рядов:

$$\tilde{u}_k = \tilde{u}_k^i = \sum_{m=1}^M C_{km}^i f_m(t), \quad \tilde{J}_k = \tilde{J}_k^i = \sum_{m=1}^M D_{km}^i f_m(t), \quad (4)$$

Здесь функция формы  $f_m(t)$  при числе ряда  $M=1,2,3,4,\dots,m$  определяется выражениями  $f_1(t)=1-3t^2+2t^3$ ,  $f_2(t)=3t^2-2t^3$ ,  $f_3(t)=t(1-t^2)l$ ,  $f_4(t)=(t^3-t^2)l$ ,  $f_m(t)=(1-t)^2 t^{(m-3)}$ , где  $m=5, M$ ;  $C_{km}^i, D_{km}^i$  – неизвестные постоянные;  $t=x/l_i$  ( $0 \leq t \leq 1$ );  $x$  – длина продольной оси стержня;  $k=1,2,3$ ;  $i=1, N$ .

После подстановки выражений (3) в условие (1), удовлетворяя кинематические граничные условия и в результате интегрирования, получается система алгебраических уравнений:

$$[K]\{C\}=\{F\}. \quad (5)$$

В выражении (5)  $[K]$  – матрица жесткости конструкции;  $\{C\}$  – вектор неизвестных постоянных;  $\{F\}$  – вектор внешних нагрузок.

В результате решения системы уравнений (5) определяются неизвестные постоянные  $C_{km}^i$  и  $D_{km}^i$ . Далее, с использованием соотношений (4) вычисляются перемещения. При этом деформации, напряжения и усилия в усиленной конструкции определяются с помощью формул, которые приведены в [12].

Интегрирование выражений, входящих в условие (2), проводится численно по формуле Гаусса. Численное интегрирование производится по длине стержневых элементов конструкции и по площади их поперечных сечений.

Размеры областей пластических деформаций в стержнях определяется итерационным методом. На первой итерации деформации полагаются упругими ( $A_{nl}^y=0$ ). Затем, на последующих итерациях, в каждой точке интегрирования ( $y_i, z_i$ ) нужно проверить выполнение условия  $\sigma_{y_i}^y < \sigma_m$ .

Если данное условие выполняется, то  $A_{nl}^y=0$ , а при не выполнении этого условия необходимо определить  $A_{nl}^y$ . Итерационный расчет завершается при выполнении условия:

$$\left( \left| M^{y(n)} - M^{y(n+1)} \right| / M^{y(n+1)} \right) \cdot 100\% \leq \varepsilon.$$

Здесь  $\varepsilon$  – заданная малая величина погрешности,  $M^{y(n)}$  и  $M^{y(n+1)}$  – максимальные изгибающие моменты в сечениях элементов стержневой конструкции после усиления на шаге (n) и (n+1).

С использованием разработанного метода и созданной компьютерной программой выполнен расчет напряженно-деформированного состояния усиленной в напряженном состоянии элементов каркаса корпуса № 26 ИПТ «Идея» (г. Казань). В период реконструкции данного здания были использованы схемы усиления за счет увеличения размеров поперечных сечений балок и изменение конструктивной схемы здания.

По конструктивному решению здание относится к системам с неполным каркасом (рис.). Перекрытие 1-го этажа в осях «8-18/Е-Л» выполнено из монолитного железобетона [13].

При реконструкции усилению подвергаются главные монолитные железобетонные балки 1 сечением 310x520 мм (рис. а), расположенные вдоль цифровых осей опирающиеся по концам на продольные кирпичные стены, а в середине пролета – на металлические трубчатые колонны 2 наружным диаметром 200 мм и толщиной стенки 6 мм (рис. б). Второстепенные балки 3 имеют сечение 200x300 мм и расположены вдоль буквенных осей. Монолитная железобетонная плита перекрытия толщиной 100 мм; армирована рабочей арматурой диаметром 10 мм А240 (А-І), расположенной с шагом 100 мм.

Расчетная схема каркаса здания до усиления, приведена на рис. г. Расчеты были выполнены без учета ремонтных нагрузок ( $q_{z,\delta}^p = q_{e,\delta}^p = 0$ , рис. 18г) и в случае, когда на главные и второстепенные балки действовали ремонтные нагрузки  $q_{z,\delta}^p = 44,72$  кН/м,  $q_{e,\delta}^p = 1,68$  кН/м.

При усилении размеры сечений главных балок увеличиваются (рис. в). После достижения проектной прочности бетона усиливаемых балок, металлические колонны 2 демонтируются. Поэтому расчетная схема конструкции после усиления изменяется, а нагрузки, действующие на главные балки, увеличиваются до величин  $q_{z,\delta}^p = 61,06$  кН/м.

По результатам первого этапа расчетов были получены распределение усилий в элементах каркаса до усиления. На втором этапе, определено напряженно-деформированное состояние усиленной конструкции с учетом изменения её расчетной и конструктивной схемы.

В табл. 1 приведены значения наибольших изгибающих моментов и величины площадей зон пластических деформаций в самом нагруженном сечении балки, расположенном в середине главной балки по оси 10. Наибольший изгибающий момент в самом нагруженном сечении, расположенном в середине главной балки по оси 10, составил  $M^y = 611 \text{ кНм}$ , что не превышает внутреннего предельного момента  $M^y_{np} = 682 \text{ кНм}$ .

Таблица 1

Определяемые параметры	$M^y, \text{кНм}$	$A_{пл}, \text{м}^2$
Без учета ремонтных напряжений	604,493	0,145
С учетом ремонтных напряжений	610,614	0,129

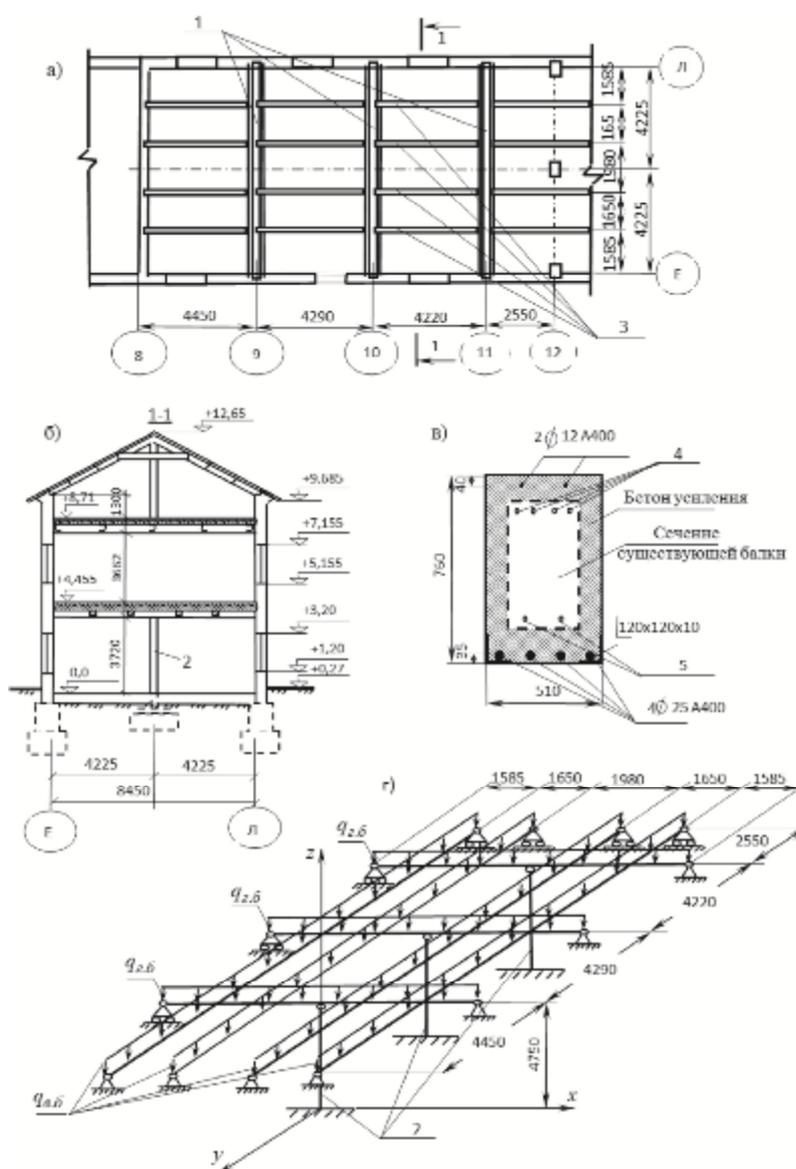


Рис. Фрагмент плана здания в осях «8-12/Е-Л» (а); поперечный разрез 1-1 (б); сечение усиленной балки (в); расчетная схема каркаса здания (г)

В табл. 2 приведены полученные по результатам расчетов значения напряжений, действующие в арматурах 4 и 5 основного сечения балки (рис. в) после усиления.

Таблица 2

Номер арматуры	Значения напряжений в арматурах после усиления, в МПа	
	Без учета ремонтных напряжений	С учетом ремонтных напряжений
4	- 57,5	- 38,94
5	+ 36,5	+ 11,34

Приведенные в табл. 1-2 результаты получены для случаев расчета усиленной балки, как с учетом, так и без учета ремонтных напряжений.

Как видно из табл. 1-2, предложенная схема усиления является эффективным. В случае расчетов с учетом ремонтных напряжений размер зоны пластических деформаций на 11 % меньше по сравнению со случаем, когда  $q_{2,6}^p = q_{6,6}^p = 0$ . Значения напряжений в арматурах 4 и 5 усиленного сечения, полученные с учетом ремонтных напряжений, получились соответственно в 1,5 и 3 раза меньше по сравнению со случаем, когда в расчетах ремонтные напряжения не учитывались. Это объясняется тем, что рассматриваемая балка до усиления представляет собой двух пролетную неразрезную схему, а после усиления при демонтаже средней опоры превращается в статически определимую однопролетную балку. При этом изгибающий момент, действующий в среднем сечении балки, меняет свой знак до и после усиления (до усиления – верхняя часть сечения растянута, нижняя – сжата, а после усиления наоборот). Поэтому после усиления учет ремонтных напряжений приводит к частичной разгрузке рабочих арматур основного сечения балки.

В заключении необходимо отметить, что использование предложенного метода и компьютерной программы расчета стержневых конструкций усиливаемых в напряженном состоянии позволило разработать эффективную схему усиления строительных конструкций корпуса № 26 ИПТ «Идея» (г. Казань).

### Список библиографических ссылок

1. Онуфриев Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений. – Л.: Стройиздат, 1965. – 342 с.
2. Хило Е.Р., Попович Б.С. Усиление железобетонных конструкций с изменением расчетной схемы и напряженного состояния. – Львов: Вища школа, 1976. – 147 с.
3. Будин А.Я., Чекренева М.В. Усиление портовых сооружений. – М.: Транспорт, 1983. – 178 с.
4. Методические указания по повышению несущей способности и определение эффективности ремонта и усиления портовых гидротехнических сооружений. – Л.: Транспорт, 1982. – 52 с.
5. Ребров И.С. Усиление стержневых металлических конструкций. – Л.: Стройиздат, 1988. – 288 с.
6. Гучкин И.С., Панков А.В. Железобетонные балки, усиленные комбинированной системой из стальных элементов // Региональная архитектура и строительство. Пензенский гос. ун-т архит. и стр-ва, 2010, № 2. – С. 94-100.
7. Панков А.В. Прочность и деформативность железобетонных балок, усиленных комбинированной системой с различными конструктивными параметрами / Дисс. канд. техн. наук. – Пенза, 2011. – 169 с.
8. Черячукин В.В., Гучкин И.С., Панков А.В. Проектирование усиления железобетонных стропильных балок комбинированной системой // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Стр-во и архит., 2010, Вып. 17 (36). – С. 9-13.
9. Серазутдинов М.Н., Убайдуллоев М.Н., Абрагим Х.А. Расчет усиливаемых нагруженных конструкций вариационным методом // Изв. вузов. Строительство, 2010, № 7. – С. 118-124.
10. Серазутдинов М.Н., Хайруллин Ф.С. Метод расчета криволинейных стержней // Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1991, № 5. – С. 104-108.
11. Убайдуллоев М.Н., Серазутдинов М.Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния усиливаемых стержневых систем // Строительная

механика инженерных конструкций и сооружений. Российский университет дружбы народов. – М., 2012. – С. 43-51.

12. Серазутдинов М.Н., Убайдуллоев М.Н. Упругопластическое деформирование усиливаемых железобетонных конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – М.: РУДН, 2013, № 1. – С. 38-44.
13. Низамеев В.Г. Отчет по результатам обследования строительных конструкций корпусов № 26 и 27, расположенных на территории ИПТ «Идея» по ул. Петербургская, 50 в г. Казань (х/д № 02-01/11 от 14.01.2011). ООО «ПСФ РЕМСТРОЙПРОМПРОЕКТ». – Казань, 2011. – 42 с.

**Serazutdinov M.N.** – doctor of physical-mathematical sciences, professor

E-mail: [serazmn@mail.ru](mailto:serazmn@mail.ru)

**Ubaidulloyev M.N.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [madgidpwn@rambler.ru](mailto:madgidpwn@rambler.ru)

**Kazan National Research Technological University**

The organization address: 420015, Russia, Kazan, K. Marks st., 68

**Nizameev V.G.** – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor

E-mail: [kisi@mail.ru](mailto:kisi@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### Calculation of loaded structures strengthened by ways of increase in section and change of the calculation scheme

#### Resume

This article describes a variational method of calculating loaded constructions strengthened by ways of increase in section and change of the calculation scheme. We study the impact of the introduction of new or removal of some existing structural elements that change the calculation scheme of the strengthened structure, and the impact of sequencing of the steps in the strengthening process on the stress-strain state of the strengthened beam systems with elastic-plastic deformations.

In determining the stress-strain state of the strengthened loaded beam system calculations are performed in the following sequence:

- 1) the stress-strain state of the original beam system is calculated under repair loads;
- 2) the calculation scheme is changed based on the change in the cross-sectional dimensions of the strengthened beams and the introduction of additional structural elements (or the removal of some existing ones);
- 3) the strengthened structure is calculated under additional operating loads, taking into account the elastic-plastic deformations, changes in cross-sectional dimensions of the beams, the addition of new elements, the imposition of stress fields associated with the repair works.

Using the developed method and the created computer program, we calculated the stress-load state of Bldg. 26 of Innovative Technopark «Idea» (Kazan), which was strengthened in a stressed state of the frame elements.

**Keywords:** beams structures, strengthening, repair stress, variation method, elasto-plastic deformations.

#### Reference list

1. Onufriyev N.M. Strengthening of ferroconcrete structures of industrial buildings and constructions. – L.: Stroyizdat, 1965. – 342 p.
2. Hilo E.R., Popovic B.S. Strengthening of ferroconcrete structures with change of the settlement scheme and a stress state. – Lvov: Vishcha shkola, 1976. – 147 p.
3. Budin A.Ya., Chekreneva M.V. Strengthening of port constructions. – M.: Transport, 1983. – 178 p.

4. Methodical instructions on increase of the load-carrying capacity and determination of efficiency of repair and strengthening of port hydraulic engineering constructions. – L.: Transport, 1982. – 52 p.
5. Rebrov I.S. Strengthening of rod metal structures. – L.: Stroyizdat, 1988. – 288 p.
6. Guchkin I.S., Pankov A.V. The ferroconcrete beams strengthened by the combined system from steel elements // Regional architecture and building. The Penza state university of architecture and engineering, 2010, № 2. – P. 94-100.
7. Pankov A.V. Strength and deformability of the ferroconcrete beams strengthened by the combined system with various design data / Diss. cand. techn. sciences. – Penza, 2011. – 169 p.
8. Cheryachukin V.V., Guchkin I.S., Pankov A.V. Design of strengthening of ferroconcrete rafter beams by the combined system // Vestnik VolGASU. Series: Construction and architecture, 2010, Issue 17 (36). – P. 9-13.
9. Serazutdinov M.N., Ubaydulloyev M.N., Abragim H.A. Calculation of the strengthened loaded structures by a variation method // News of higher educational institutions. Construction, 2010, № 7. – P. 118-124.
10. Serazutdinov M.N., Khayrullin F.S. Metod of calculation of curvilinear rods // News of higher educational institutions. Construction and architecture, 1991, № 5. – P. 104-108.
11. Ubaydulloyev M.N., Serazutdinov M.N. Modeling of the intense deformed condition of the strengthened rod systems // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – M.: RUDN, 2012. – P. 43-51.
12. Serazutdinov M.N., Ubaydulloyev M.N. Elastoic and plastic deformation of strengthened ferro-concrete constructions // Construction mechanics of engineering designs and constructions. – M.: RUDN, 2013, № 1. – P. 38-44.
13. Nizameev V.G. The report on results of inspection of building constructions of the cases № 26 and 27, located in the territory of IPT «Idea» on Peterburgskaya st., 50 to Kazan (contract № 02-01/11 of 14.01.2011). SLL «PSF REMSTROYPROYEKT». Kazan, 2011. – 42 p.