

DOI: 10.34031/article_5d077fc7221d70.62441039

^{1,*}Полоз М.А., ¹Шевченко А.В., ²Ерижокова Е.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

*E-mail: max.poloz@inbox.ru

РАСЧЕТ ИЗГИБАЕМЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА ВЛАСОВА-МИЛЕЙКОВСКОГО С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ КОНТАКТНОГО ШВА

Аннотация. Сборно-монолитные железобетонные конструкции с и без предварительного напряжения арматуры используются как вновь проектируемые самостоятельные, так и являются результатом проведения работ по усилению существующих конструкций наращиванием сечения. В обоих случаях поперечное сечение таких элементов рассматривается как двухслойное, а получающийся составной элемент работает под нагрузкой в условиях распределенных между слоями внутренних усилий, механизм и фактическая величина распределения которых зависит от физико-механических характеристик, расчетной схемы и параметров контактного взаимодействия слоев. При расчете и конструировании предварительно напряженных железобетонных сборно-монолитных элементов податливость шва сдвига обычно не учитывается, что осложняет анализ действительного напряженно-деформированного состояния конструкции и содержит определенный нераскрытый потенциал ее рационального проектирования. Одним из возможных направлений в решении задачи, учитывающей сдвиг контактного шва, является использование вариационных принципов строительной механики при расчете таких конструкций, как стержней составного сечения. В рамках данной работы рассматриваются вопросы практической применимости при структурном анализе составного железобетонного сборно-монолитного стержня вариационных принципов строительной механики на основе метода В.З. Власова – И.Е. Милейковского в форме перемещений. Приведены результаты численных расчетов по предложенной методике, что позволяет учитывать специфику работы связей сдвига сборного и монолитного слоя, осуществлять практический учет податливости шва и осуществлять рациональное проектирование сборно-монолитных конструкций.

Ключевые слова: вариационный метод Власова-Милейковского, напряженно-деформированное состояние, составной стержень, сборно-монолитный железобетон, предварительное напряжение арматуры.

Сборно-монолитные железобетонные конструкции с и без предварительного напряжения арматуры используются как вновь проектируемые самостоятельные, так и являются результатом проведения работ по усилению существующих конструкций наращиванием сечения [8, 7, 10]. В обоих случаях поперечное сечение таких элементов рассматривается как двухслойное, а получающийся составной элемент работает под нагрузкой в условиях распределенных между слоями внутренних усилий, механизм и фактическая величина распределения которых зависит от физико-механических характеристик, расчетной схемы и параметров контактного взаимодействия слоев, что делает детальный учет последнего обстоятельства важным фактором обеспечения достоверности расчетных параметров напряженно-деформированного состояния конструкций, а используемый при этом аналитический аппарат строительной механики – инструментом существенного повышения рациональности проектирования конструкций [11–15].

В качестве предлагаемого расчетного аппарата для деформационного расчета стержневых сборно-монолитных конструкций принят вариационный метод В.З. Власова в форме метода перемещений [2, 3, 8]. Для построения аналитических зависимостей используются общие гипотезы смешанного метода Власова в сочетании с дополнительными гипотезами, касающимися особенностей работы составного сечения и специфики деформирования железобетона с учетом критерия предельной растяжимости бетона и режима нагружения конструкции. Предпосылки для расчета следующие:

– для составного элемента в целом, а также для отдельных его составляющих брусьев справедлива гипотеза Бернулли (гипотеза плоских сечений);

– в работе на сдвиг по шву между элементами учитывается работа материала шва, прилегающего к шву элемента контактной зоны бетонов соединяемых брусьев и поперечных стержней-нагелей (при их наличии).

– учет предварительного напряжения арматуры моделируется эквивалентным из условий прочности и жесткости выбором единичных функций, распределенных по высоте поперечного сечения элемента.

Расчет сборно-монолитной стержневой конструкции представляется как расчет составного стержня, состоящего из двух брусев, с применением вариационного полуаналитического метода в форме перемещений [1]. В данном случае необходимо раскрыть статическую неопределенность составного стержня, для чего по аналогии расчета оболочек из трансверсально-изотропного материала оставим две группы интегральных уравнений, представленных в табл. 1. Согласно принятым гипотезам изменение деформаций по высоте сечения можно считать линейными. При этом составляющие вектора перемещений представлены в следующем виде:

$$U(x, z) = \sum_{i=1}^{\Omega_1} U_0(x) \xi_0(z) - \sum_{i=0}^{\Omega_0} \bar{U}_i(x) \bar{\xi}_i(z), \quad (1)$$

$$V_0(x, z) = \sum_{i=0}^{\Omega_0} V_i(x) \xi_i(z), \quad (2)$$

$$U_i(x) = -V_i'(x), \quad (3)$$

где $\bar{U}_i(x)$, $V_i(x)$ – искомые функции обобщенных перемещений; $\bar{\xi}_i(z)$, $\xi_0(z)$ – единичные функции, зависящие от координаты z по сечению сборно-монолитного стержня; Ω_0 , Ω_1 – число степеней свободы поперечной полоски шириной dx .

По аналогии с выводом формул для оболочек будем рассматривать поперечное сечение стержня как шарнирно-стержневой полигон [8, 10]. При предложенном линейном распределении единичных функций по ширине грани полигона число степеней свободы Ω_1 поперечной полоски шириной dx будет равно числу узлов полигона.

Число степеней свободы Ω_1 определяется количеством единичных функций $\bar{\xi}_i(z)$ и соответствующим им искомым обобщенным функциям $\bar{U}_i(x)$, в данном случае $\Omega_1 = 2$. Для учета связей сдвига добавляется число степеней свободы Ω_0 . Этим числом описываются единичные функции $\xi_0(z)$ и соответствующие им искомые обобщенные функции продольных перемещений $U_0(x)$, для данного случая $\Omega_0 = 1$.

В табл. 1 приняты следующие обозначения: D^n – оператор дифференцирования функций $\bar{U}_c(x), V_i(x)$ по переменной x n раз. Свободные

члены \bar{p}_d, p'_i, q_j приняты как интегралы внешней нагрузки, умноженные на соответствующие единичные функции, взятые по поперечному сечению составного стержня. q_j – внешняя равномерно распределенная нагрузка, приложенная к составному стержню. p'_i – функция обобщенных поперечных усилий в составном стержне. \bar{p}_d – преднапряжение составного стержня. Таким образом, для определения трех независимых групп обобщенных перемещений $\bar{U}_i(x), V_i(x)$ вводится «основная система» метода перемещений, для чего узлы элементарной полоски шириной dx закрепляются фиктивными связями, количество которых равно числу степеней свободы. Для стержневых конструкций в качестве применения данной методики целесообразнее использовать так называемые фиктивные связи (полисвязи), т.е. закрепление сечения на множестве точек, являющееся в целом единой связью для элементарной полоски [9, 10].

Таблица 1

Система уравнений метода перемещений для расчета сборно-монолитного составного стержня

Группы уравнений	Функции		Свободные члены
	$\bar{U}_c(x)$	$V_i(x)$	
I	$\sum_c (J_{dc} D^2 - b_{dc})$	$-\sum_i J_{di}^* D^3$	\bar{p}_d
II	•	$\sum_i J_{ji} D^4$	$-(p'_j + q_j)$

Вычисление коэффициентов уравнений табл. 1 производится интегрированием соответствующих функций единичных перемещений по следующим формулам:

$$\left\{ \begin{aligned} J_{dc} &= \int_h A_1 \bar{\xi}_d(z) \bar{\xi}_c(z) dz; \\ J_{di}^* &= \int_h A_1 \bar{\xi}_d(z) \xi_i(z) dz; \\ J_{ji} &= \int_h A_1 \xi_j(z) \xi_i(z) dz; \\ b_{dc} &= G_d [\bar{\xi}_d^h(z) - \bar{\xi}_d^e(z)] \cdot [\bar{\xi}_c^h(z) - \bar{\xi}_c^e(z)]; \\ \bar{p}_d &= \int_h q_x \bar{\xi}_d(z) dz; \\ q_j &= \int_h q_z \xi_j'(z) dz; \\ p_j' &= \int_h \frac{\partial q_x}{\partial x} \xi_j(z) dz. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

Для составления канонических уравнений метода перемещений приравниваются нулю реакции в фиктивных связях и внешние нагрузки

[4]. В результате получаем совместную систему из двух групп уравнений равновесия.

В каждой точке сборно-монолитной конструкции при нагружении равномерно распределенной нагрузкой (рис. 1) разложим компоненты вектора перемещений в следующем виде:

$$V(x, z) = V_0(x) \frac{\partial \xi_0(z)}{\partial z}, \quad (5)$$

$$U(x, z) = -V_0'(x)\xi_0(z) + \bar{U}_1(x)\bar{\xi}_1(z) + \bar{U}_2(x)\bar{\xi}_2(z). \quad (6)$$

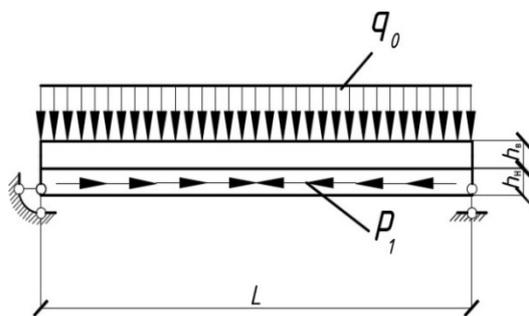


Рис. 1. Расчетная схема преднапрягаемого сборно-монолитного железобетонного элемента при равномерно распределенном нагружении

Единичные функции $\xi_0(z), \bar{\xi}_1(z), \bar{\xi}_2(z)$ описывают перемещения стержня от изгиба, сдвига и растяжения (сжатия) соответственно (рис. 2). Искомые обобщенные функции $V_0(x), \bar{U}_1(x), \bar{U}_2(x)$ характеризуют изгиб, сдвиг и растяжение (сжатие) соответственно [1].

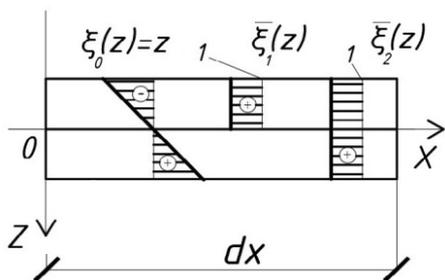


Рис. 2. Распределение единичных функций перемещений по высоте сечения сборно-монолитного железобетонного элемента

Система расчетных уравнений принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \bar{J}_{11}\bar{U}_1''(x) - b_{11}\bar{U}_1(x) - J_{10}^*V_0'''(x) + J_{12}^*\bar{U}_2''(x) + \bar{p}_1 = 0; \\ \bar{J}_{21}\bar{U}_1''(x) + \bar{J}_{22}\bar{U}_2''(x) = 0; \\ -J_{10}^*\bar{U}_1''(x) + J_{00}V_0''(x) - q_0x + C = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Интегрируя третье уравнение системы уравнений (6), учитывая, что $J_{20}^*U_2'''(x) = 0$, получим:

$$\begin{cases} \bar{J}_{11}\bar{U}_1''(x) - b_{11}\bar{U}_1(x) - J_{10}^*V_0'''(x) + J_{12}^*\bar{U}_2''(x) + \bar{p}_1 = 0; \\ \bar{J}_{21}\bar{U}_1''(x) + \bar{J}_{22}\bar{U}_2''(x) = 0; \\ -J_{10}^*\bar{U}_1''(x) + J_{00}V_0''(x) - q_0x + C = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Выразим из системы (7) обобщенную функцию изгиба $V_0'''(x)$:

$$V_0'''(x) = \frac{J_{10}^*\bar{U}_1''(x) + q_0x - C}{J_{00}}. \quad (9)$$

Искомое дифференциальное уравнение, приводящее к решению данной задачи, имеет вид [1]:

$$\bar{U}_1''(x) - \lambda^2\bar{U}_1(x) - Aq_0x + \bar{C} = 0, \quad (10)$$

где, коэффициенты уравнения (10) находятся по формулам:

$$\lambda^2 = \frac{b_{11}}{\bar{J}_{11} - \frac{(J_{10}^*)^2}{J_{00}} - \frac{(\bar{J}_{12})^2}{\bar{J}_{22}}}, \quad (11)$$

$$A = \frac{\frac{\bar{J}_{12}}{J_{00}}}{\bar{J}_{11} - \frac{(J_{10}^*)^2}{J_{00}} - \frac{(\bar{J}_{12})^2}{\bar{J}_{22}}}, \quad (12)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{\bar{J}_{11} - \frac{(J_{10}^*)^2}{J_{00}} - \frac{(\bar{J}_{12})^2}{\bar{J}_{22}}}. \quad (13)$$

Граничные условия могут задаваться или относительно кинематических факторов, которые формулируются относительно функций обобщенных перемещений $\bar{U}_c(x), U_i(x), V_i(x)$ или относительно статических моментов $M(x), N(x), T_c(x)$, которые определяются из выражений:

$$T_c(x) = \int_A \sigma \bar{\xi}_c(z) dA; \quad (14)$$

$$M(x) = \int_A \sigma \xi_0(z) dA; \quad (15)$$

$$N(x) = \int_A \sigma \xi_1(z) dA. \quad (16)$$

Так, в случае, если конец составного стержня жестко зашпелен, то функции обобщенных перемещений примут следующие значения:

$$\bar{U}_c(x) = 0, V_0(x) = 0, V_0'(x) = 0. \quad (17)$$

Если на торце стержня отсутствует препятствия сдвигу, то граничные условия примут следующий вид:

$$T_c = 0, T_c'' = 0, V_0' = \varphi, \quad (18)$$

где φ – угол поворота составного стержня.

Таким образом, общее решение системы уравнений (8) принимает вид:

$$U_1(x) = C_1 \operatorname{sh}(\lambda x) + C_2 \operatorname{ch}(\lambda x) + \left(-\frac{Aq_0}{\lambda^2}\right)x + C_3, \quad (19)$$

$$V_0(x) = \frac{C_1 J_{10}^*}{J_{00} \lambda} \operatorname{ch}(\lambda x) + \frac{B J_{10}^*}{2 J_{00}} x^2 + \frac{q_0}{24 J_{00}} x^4 + \frac{C_4}{6} x^3 + \frac{C_5}{2} x^2 + C_6 x + C_7. \quad (20)$$

где C_1, C_4, C_5, C_6, C_7 – постоянные интегрирования, а $B = -\frac{Aq_0}{\lambda^2}$.

Решение системы уравнений (8) имеет вид:

$$U_1(x) = C_1 \operatorname{sh}(\lambda x) - \frac{Aq_0 x}{\lambda^2}, \quad (22)$$

$$U_2(x) = \left(-\frac{J_{21}}{J_{22}}\right) \left[C_1 \operatorname{sh}(\lambda x) - \frac{Aq_0 x}{\lambda^2}\right] + C_2 x, \quad (23)$$

$$V_0(x) = \left(\frac{J_{10}^*}{J_{00}}\right) \left[\frac{C_1 \operatorname{ch}(\lambda x)}{\lambda} - \frac{Aq_0 x^2}{2\lambda^2}\right] + \frac{q_0 x^4}{24 J_{00}} + C_3 x^2 + C_4. \quad (24)$$

В качестве численной реализации методики рассмотрим расчет составного сборно-монолитного стержня из двух брусьев, в котором нижняя сборная часть представлена преднапрягаемым ячеистым пенобетоном, а верхняя – монолитным бетоном (рис. 3).

Расчетная схема представляет собой изгибаемый, предварительно напряженный железобетонный сборно-монолитный стержень длиной 1800 мм, нагруженный равномерно распределенной нагрузкой $q_0 = 7,8$ кН/м.

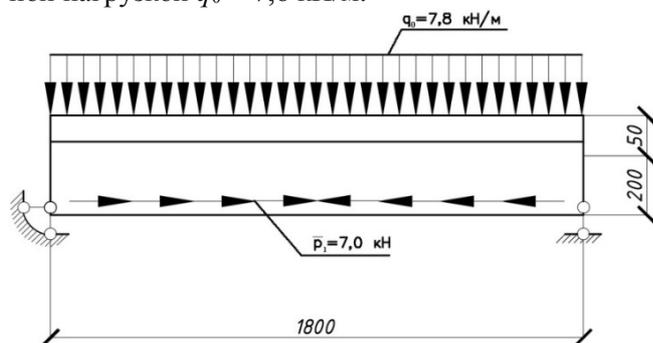


Рис. 3. Расчетная схема составного стержня (пример расчета)

Величина усилия предварительного напряжения арматуры в нижнем брус $P_1 = 7,0$ кН.

Геометрические характеристики сечений брусьев, составляющих стержень:

– для нижнего бруса из ячеистого пенобетона автоклавного твердения класса В3,5: ширина $b_1 = 250$ мм, высота $h_1 = 200$ мм, начальный модуль упругости бетона $E_b = 2100$ МПа.

Т.к. $C_2 \operatorname{ch}(\lambda x) = 0$, найдем из (18) вертикальные перемещения V_0 :

$$U(x) = U_2(x) \bar{\xi}_2(z) + U_1(x) \bar{\xi}_1(z) - V_0'(x) \xi_0(z), \quad (21)$$

Решение (26) для симметрично нагруженных расчетных схем:

– для верхнего бруса из тяжелого бетона класса В25: ширина $b_2 = 250$ мм, высота $h_2 = 50$ мм, начальный модуль упругости бетона $E_b = 30000$ МПа.

Модуль сдвига $G_0 = 400$ МПа.

Коэффициенты системы уравнений (8):

$$J_{11} = \int_h A_{beam} \bar{\xi}_1^2(z) dz = 1,05 \cdot 10^8,$$

$$J_{22} = \int_h A_{beam} \bar{\xi}_2^2(z) dz = 4,80 \cdot 10^8,$$

$$J_{12} = J_{21} = \int_h A_{beam} \bar{\xi}_1 \bar{\xi}_2(z) dz = 1,05 \cdot 10^8,$$

$$J_{00} = \int_h A_{beam} \xi_0^2(z) dz = 1,71 \cdot 10^{12},$$

$$J_{01}^* = \int_h A_1 \xi_0(z) \bar{\xi}_1(z) dz = 1,025 \cdot 10^{10},$$

$$b_{11} = G_0 = 400 \text{ МПа},$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{b_{11}}{J_{11} - \frac{J_{01}^{*2}}{J_{00}} - \frac{J_{21}^2}{J_{22}}}} = 0,0044,$$

$$B = \frac{\frac{J_{01}^*}{J_{00}}}{J_{11} - \frac{J_{01}^{*2}}{J_{00}} - \frac{J_{21}^2}{J_{22}}} = 2,92 \cdot 10^{-10}.$$

Общее решение будет иметь вид:

$$\begin{cases} \bar{U}_1(x) = C_1 \operatorname{sh}(0,0044 x) + C_2 \operatorname{ch}(0,001 x) - 0,000132 x, \\ \bar{U}_2(x) = -0,219 C_1 \operatorname{sh}(0,0044 x) + 0,0000289 x + C_2 x, \\ V_0(x) = 1,359 C_1 \operatorname{ch}(0,0044 x) - 3,956 \cdot 10^{-7} x^2 + 2,144 \cdot 10^{-13} x^4 + C_3 x^2 + C_4. \end{cases}$$

Граничные условия:

$$V_0(x) = 0, \text{ при } x = \pm \frac{L}{2}, \quad N(x) = \bar{p}_1, \text{ при } x = 0,$$

$$M(x) = \frac{q_0 l^2}{8} + \bar{p}_1 e, \text{ при } x = \pm \frac{L}{2},$$

$$T(x) = 0, \text{ при } x = \pm \frac{L}{2}.$$

где e – эксцентриситет от усилия предварительного натяжения арматуры.

Решая систему уравнений, получим значения неизвестных констант:

$$C_1 = 5,57 \cdot 10^{-4}, \quad C_2 = -0,146 \cdot 10^{-4}, \\ C_3 = -8,423 \cdot 10^{-7}, \quad C_4 = 0,842.$$

Далее находятся значения $N(x)$, $M(x)$, $T(x)$, $\tau(x)$:

$$N(x) = -3,343 \cdot 10^{-9} \operatorname{ch}(0,0044x) - 7000;$$

$$M(x) = -0,959 \cdot 10^{-5} \operatorname{ch}(0,0044x) - 4,4x^2 + 2,88 \cdot 10^6;$$

$$T(x) = 50,50 \operatorname{ch}(0,0044x) - 0,0264x^2 + 20032,5;$$

$$\tau(x) = T'(x) = 0,22 \operatorname{sh}(0,0044x) - 0,053x.$$

Результаты расчета: прогибы $V_0(x)$, сдвигающие усилия $T(x)$, изгибающие моменты $M(x)$, а также сдвигающие напряжения $\tau(x)$ представлены на рис. 4–7.

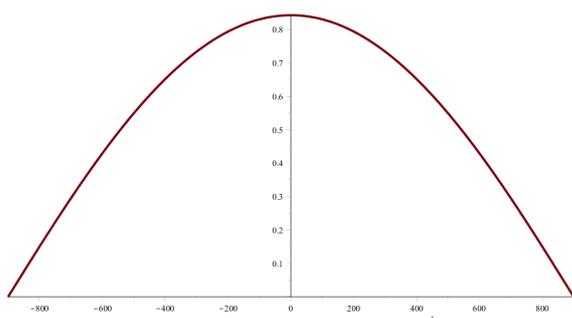


Рис. 4. Распределение перемещений $V_0(x)$ по длине составного стержня, мм

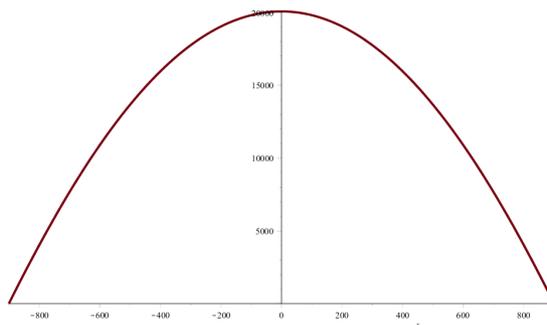


Рис. 5. Распределение сдвигающей силы $T(x)$ по длине составного стержня, Н

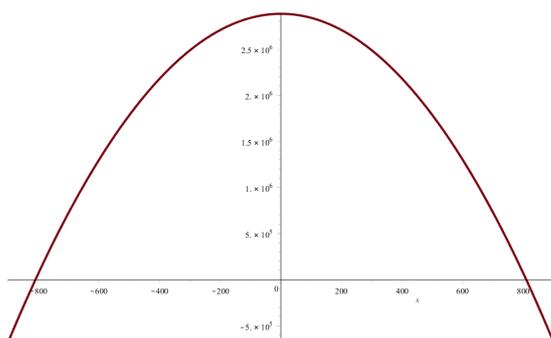


Рис. 6. Распределение изгибающего момента $M(x)$ по длине составного стержня, Нмм

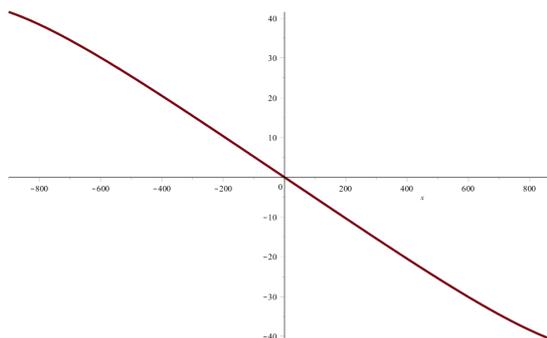


Рис. 7. Распределение сдвигающих напряжений $\tau(x)$ по длине составного стержня, Н/мм

Максимальные значения расчетных параметров НДС конструкции составили: прогиб сборно-монолитного элемента $V_0 = 8,5$ мм (рис. 4), сдвигающая сила в центре пролета стержня $T = 20,1$ кН (рис. 5), сдвигающие напряжения на

торцах стержня $\tau = \pm 41,6$ кН/м, изгибающий момент в центре пролета стержня $M = 2,88$ кНм (рис. 6).

Представленная в работе методика определения параметров напряженно-деформированного состояния НДС при структурном анализе

составного железобетонного сборно-монолитного стержня с использованием вариационных принципов на основе метода Власова-Милейковского в форме перемещений, позволяет усовершенствовать принятый в строительной механике расчетно-аналитический аппарат инструментом практического учета податливости шва сдвига сборного и монолитного слоя, учитывать фактическую податливость контактного шва сдвига при расчете сборно-монолитных конструкций и осуществлять их рациональное проектирование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милейковский И.Е., Трушин С.И. Расчет тонкостенных конструкций. М.: Стройиздат, 1989. 200 с.
2. Колчунов В.И., Панченко Л.И. Расчет составных тонкостенных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 1999. 281 с.
3. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Экспериментальное исследование трещиностойкости стержневых сборно-монолитных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2. 2009. С. 78–83.
4. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Расчет сборно-монолитных конструкций с применением вариационного метода и интегрального модуля деформации // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №4. С. 9–13.
5. Байдин О.В., Шевченко А.В., Шаповалов С.М. Учет температурных деформаций при расчете замкнутых цилиндрических оболочек вариационным методом // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №5. С. 6–9.
6. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Рубанов В.Г. Тонкостенные конструкции тоннелей мелкого заложения // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №8. С. 27–29.
7. Никулин А.И. К уточнению величин предельных относительных деформаций бетона в сжатой зоне изгибаемых железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №8. С. 12–15.
8. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Коржавых А.И. К расчету деформативности железобетонных рам с элементами составного сечения // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №4. С.74–78.
9. Меркулов Д.С. Прочность составных железобетонных элементов при сложном напряженном состоянии // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: строительство и транспорт. 2007. №4-16. С. 48–51.
10. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Горностаев С.И. Экспериментальные исследования деформирования и трещиностойкости составных конструкций // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: строительство и транспорт. 2006. №1-2. С. 12–16.
11. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place buildings. Magazine of Civil Engineering. 2017. № 6. Pp. 175–184.
12. Ribeiro R.R.J., Diogenes H.J.F., Nobrega M.V., Debs A.L.H. C. El. A survey of the mechanical properties of concrete for structural purposes prepared on construction sites. Rev. IBRACON Estrut. Mater. [online]. 2016, Vol. 9. №5. Pp. 722–744.
13. Abdulsamee H. Study the Behavior of Reinforced Concrete Beam Using Finite Element Analysis. Proceedings of the 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'18) Budapest, Hungary – April 8-10, 2018.
14. Sneideris A., Marciukaitis G. Strain-stress analysis of reinforced concrete beams strengthened without unloading by exterior reinforcement // Application of Codes, Design and Regulations. January 2005, Pp. 685–692.
15. Wellison J. Reliability analysis of reinforced concrete beams using finite element models. Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editores), ABMEC, Florianópolis, SC, Brazil, November 5-8, 2017.

Информация об авторах

Полоз Максим Александрович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: max.poloz@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шевченко Андрей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: andsheff@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ерижокова Елена Сергеевна, студент. E-mail: sockolowa.le@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Московская область, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Поступила в апреле 2019 г.

© Полоз М.А., Шевченко А.В., Ерижкова Е.С., 2019

^{1,*}Poloz M.A., ¹Shevchenko A.V., ²Erizhokova E.S.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research)
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh., 26

*E-mail: max.poloz@inbox.ru

CALCULATION OF BENDABLE PRESTRESSED PRECAST-CAST-IN-PLACE STRUCTURES ON THE BASIS OF THE VLASOV-MILEYKOV VARIATIONAL METHOD TAKING INTO ACCOUNT THE JOINTS DEFORMABILITY

Abstract. Precast-cast-in-place concrete structures with and without prestressing are used both as newly designed ones and are the result of strengthening the existing structures by increasing the section area. In both cases, the cross section of such elements is considered as a two-layered, and the resulting composite element is internally loaded under conditions of stresses-strains distribution through the layers by the joints, the actual arrangement of which depends on the physicomechanical characteristics, the design scheme and the parameters of the layers' contact interaction. Calculating and designing of prestressed precast-cast-in-place concrete structures basically uses no joints deformability estimation. It complicates the analysis of the actual stress-strain state of the structure and contains a certain undiscovered potential of its rational design. Taking into account the joints deformability, the use of variational principles of structural mechanics in the calculation of the structures as composite section's elements is one of the possible solutions of the problem. In the paper, the questions of practical applicability in the structural analysis of a composite section's precast-cast-in-place concrete rod of the variational principles of structural mechanics based on the method of V.Z. Vlasov - I.E. Mileykovsky in the form of movements are figured out. The results of numerical calculations according to the proposed method are given, which allows to consider the joints deformability and to carry out a rational design of precast-cast-in-place concrete structures.

Keywords: Vlasov-Mileikovsky variational method, stress-strain state, composite rod, precast-cast-in-place concrete, prestressed concrete.

REFERENCES

1. Milejkovskij I.E., Trushin S.I. The calculation of thin-walled structures [*Raschet tonkostennykh konstrukcij*]. M.: Strojizdat, 1989. 200 p. (rus)
2. Kolchunov V.I., Panchenko L.I. Calculation of composite thin-walled structures [*Raschet sostavnykh tonkostennykh konstrukcij*]. M.: ASV, 1999. 281 p. (rus)
3. Bajdin O.V., Shevchenko A.V., Shapovalov S.M. Experimental study of the fracture toughness of the core precast-monolithic structures [*Ehksperimentalnoe issledovanie treshchinostojkosti sterzhnevnykh sborno monolitnykh konstrukcij*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. No. 2. 2009. Pp. 78–83. (rus)
4. Bajdin O.V., Shevchenko A.V., Shapovalov S.M. Calculation of precast-monolithic structures using variational method and the integral of the modulus of deformation [*Raschet sborno-monolitnykh konstrukcij s primeneniem variacionnogo metoda i integralnogo modulya deformacii*]. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2009. No. 4. Pp. 9-13. (rus)
5. Bajdin O.V., Shevchenko A.V., Shapovalov S.M. Considering temperature deformations in the calculation of closed cylindrical shells by variational method [*Uchet temperaturnykh deformacij pri raschete zamknutykh cilindricheskikh obolochek variacionnym metodom*]. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2009. No. 5. Pp. 6–9. (rus)
6. Yurev A.G., Panchenko L.A., Seryh I.R., Rubanov V.G. Thin-walled construction of shallow tunnels [*Tonkostennye konstrukcii tonnelej melkogo zalozheniya*]. Industrial and civil engineering. 2014. No. 8. Pp. 27–29. (rus)
7. Nikulin A.I. The specification of limit values of relative deformations of concrete in compression zone of the bending of reinforced concrete elements [*K utochneniyu velichin predelnykh odnositelnykh deformacij betona v szhatoj zone izgibaemykh zhelezobetonnykh ehlementov*]. Industrial and civil engineering. 2014. No. 8. Pp. 12–15. (rus)
8. Kolchunov V.I., Skobeleva E.A., Korzhavyh A.I. To calculate the deformation of reinforced concrete frames with elements of the composite section [*K raschetu deformativnosti zhelezobetonnykh ram s*

ehlementami sostavnogo secheniya]. Academia. Architecture and construction. 2009. No. 4. Pp. 74–78. (rus)

9. Merkulov D.S. The strength of composite concrete elements with complex stress state [*Prochnost sostavnyh zhelezobetonnyh ehlementov pri slozhnom napryazhennom sostoyanii*]. Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: stroitelstvo i transport. 2007. No. 4-16. Pp. 48–51. (rus)

10. Kolchunov V.I., Skobeleva E.A., Gornostaev S.I. Experimental studies of the deformation and fracture of composite structures [*Ehksperimentalnye issledovaniya deformirovaniya i treshchinostojkosti sostavnyh konstrukcij*]. Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: stroitelstvo i transport. 2006. No. 1-2. Pp. 12–16. (rus)

11. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place buildings. Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 6. Pp. 175–184.

12. Ribeiro R.R.J., Diogenes H.J.F., Nobrega M.V. and Debs, A. L. H. C. El. A survey of the mechanical properties of concrete for structural purposes prepared on construction sites. Rev. IBRACON Estrut. Mater. 2016. Vol.9. No.5. Pp. 722–744.

13. Abdulsamee H. Study the Behavior of Reinforced Concrete Beam Using Finite Element Analysis. Proceedings of the 3rd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'18) Budapest, Hungary – April 8-10, 2018.

14. Sneideris A., Marciukaitis G. Strain-stress analysis of reinforced concrete beams strengthened without unloading by exterior reinforcement. Application of Codes, Design and Regulations. January 2005, Pp. 685–692.

15. Wellison J. Reliability analysis of reinforced concrete beams using finite element models. Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editores), ABMEC, Florianópolis, SC, Brazil, November 5-8, 2017.

Information about the authors

Poloz, Maksim A. Postgraduate student. E-mail: max.poloz@inbox.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shevchenko, Andrei V. PhD, Assistant professor. E-mail: andsheff@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Erizhokova, Elena S. Bachelor student. E-mail: sockolowa.le@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Received in Desember 2019

Для цитирования:

Полоз М.А., Шевченко А.В., Ерижкокова Е.С. Расчет изгибаемых предварительно напряженных сборно-монолитных элементов на основе вариационного метода Власова-Милейковского с учетом податливости контактного шва // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 14–21. DOI: 10.34031/article_5d077fc7221d70.62441039

For citation:

Poloz M.A., Shevchenko A.V., Erizhokova E.S. Calculation of bendable prestressed precast-cast-in-place structures on the basis of the vlasov-mileykov variational method taking into account the joints deformability. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 6. Pp. 14–21. DOI: 10.34031/article_5d077fc7221d70.62441039