

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ

**НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

МИНИСТЕРСТВО
РЕГИОНАЛЬНОГО
РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ОАО
«НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»



100 лет со дня рождения
АЛЕКСЕЯ РУФОВИЧА РЖАНИЦЫНА

5
2011

СОДЕРЖАНИЕ

К 100-летию со дня рождения А.Р. Ржаницына	2
--	---

Расчеты на прочность

Горшков Н.И., Краснов М.А. Сравнительная оценка напряженно-деформированного состояния грунтовых сооружений (выемки и насыпи) на основе МКЭ	4
Кирсанов М.Н. Особенности аналитического расчета пространственных стержневых систем	11
Клименко В.З., Михайловский Д.В. Расчет конструкций из клееной древесины с учетом сложного напряженного состояния	16
Колчунов В.И., Федоров В.С., Казаков Д.В., Яковенко И.А. Методика расчета прогибов составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций	21
Коробко В.И., Актуганов А.А. Определение максимального прогиба ромбических пластинок на упругом основании с комбинированными граничными условиями	25
Линьков В.И. Моделирование работы деревянных балок составного сечения на податливых связях с применением теории составных стержней А.Р. Ржаницына	30

Расчеты на устойчивость

Сапожников А.И., Григоршев С.М. Устойчивость многоэтажных рамных и рамно-связевых зданий	36
Трушин С.И., Иванов С.А. Численное исследование устойчивости пологой цилиндрической оболочки с учетом физической и геометрической нелинейностей при различных граничных условиях	43

Динамические расчеты

Крутий Ю.С. Точное решение дифференциального уравнения свободных поперечных колебаний неоднородного прямого стержня переменного сечения с непрерывно распределенной переменной массой	47
Босаков С.В. К нелинейной динамике ферм	54

Теория оптимизации

Серпик И.Н., Алексейцев А.В. Построение высокопроизводительного алгоритма оптимизации стержневых систем на основе комбинированной эволюционной стратегии	58
---	----

Нелинейные расчеты

Пятикрестовский К.П., Соколов Б.С. Силовое сопротивление модели транспортной галереи из древесины и фанеры при ступенчато возрастающих нагрузках	64
---	----

В помощь проектировщику

Краснощеков Ю.В., Украинцев М.П. Особенности взаимодействия стальных ферм с железобетонным ребристым настилом в покрытиях зданий	71
Марутян А.С. Разработка и исследование управляемых металлических конструкций нового поколения	75

Наши юбиляры

К 60-летию Трушина С.И.	84
------------------------------	----

Список корреспондентских пунктов журнала СМ и РС

1. Волгоград, ВолГАСУ	акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., ректор В.А. Игнатьев
2. Воронеж, ВорГАСУ	д-р техн. наук, проф., зав. каф. высшей математики С.М. Алейников
3. Омск, СибАДИ	д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительной механики Г.М. Кадисов
4. Орел, ОрелГТУ	акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., директор АСИ ОрелГТУ В.И. Колчунов
5. Пермь, ПГТУ	д-р техн. наук, зав. каф. строительной механики Г.Г. Кашеварова
6. Ростов-на-Дону, РГСУ	д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительной механики Г.В. Васильков
7. Тбилиси, ИСМиС им. К.С. Завриева, Грузия	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. ИА Грузии, директор ИСМиС П.А. Реквава

Вл.И. КОЛЧУНОВ¹, д-р техн. наук, проф., В.С. ФЕДОРОВ², д-р техн. наук, проф.,
Д.В. КАЗАКОВ³, ст. преп., И.А. ЯКОВЕНКО¹, канд. техн. наук, доц.

¹ Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина, ² Московский институт инженеров транспорта, г. Москва, ³ Государственный университет — УНПК, г. Орел

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОГИБОВ СОСТАВНЫХ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрена методика расчета составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций по определению прогибов на участках с трещинами и без трещин. Методика построена на итерационном процессе, что исключает громоздкую алгебраизацию формул. Важным является и правильное распределение силовых потоков для каждого из составляющих стержней.

Ключевые слова: железобетон, составные стержни, внецентренное сжатие, прогибы.

Для обеспечения инженерной обзримости выполнения расчета, методика определения прогибов составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций построена на итерационном процессе, что исключает громоздкую алгебраизацию формул.

Схема передачи нагрузки с консоли в геометрические центры составных стержней, образующих внецентренно сжатую железобетонную конструкцию приведена на рис. 1. Распределение силовых потоков для каждого из составляющих стержней является далеко не ординарной задачей.

После определения геометрических центров каждого из составных стержней и вычисления моментов инерции каждого из составных стержней, находим в первом приближении эксцентриситет, приведя сечение к тавровому:

$$e_0^{np} = h - y_{red} + c, \quad (1)$$

где c — расстояние между точкой приложения силы и краем сечения.

Затем, распределение продольных сил и изгибающих моментов по каждому из стержней составного стержня уточняется.

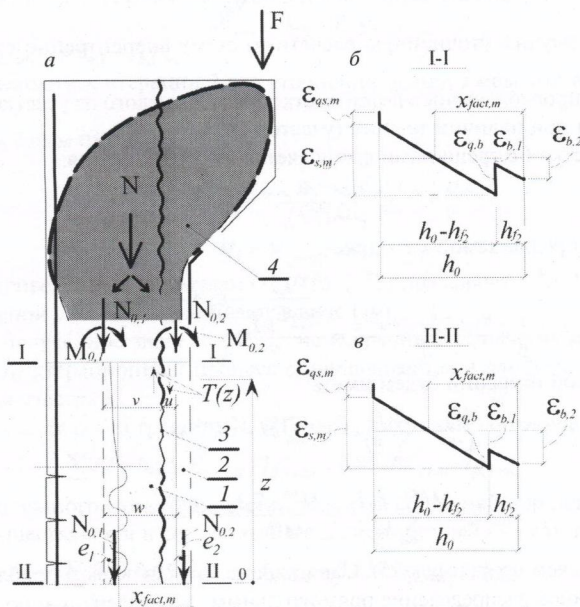


Рис. 1. Особенности напряженно деформированного состояния при передаче нагрузки с консоли в геометрические центры составных стержней, образующих внецентренно сжатую железобетонную конструкцию: *a* — схема передачи нагрузки; *б, в* — эпюры относительных деформаций в сечениях I—I (при отсутствии трещин) и II—II (при наличии трещин), соответственно; *1* — первый бетон; *2* — второй бетон; *3* — шов между бетонами; *4* — зона концентрированного силового потока

При этом вначале используется пропорция:

$$\frac{N_{01}}{N_{02}} = \frac{M_{01}}{M_{02}}; \frac{N_{01}}{N_{02}} = k; N_{01} = k \cdot N_{02}. \quad (2)$$

Из суммы $N_{01} + N_{02} = N_0$ (N_0 известно из исходных данных для второй группы предельных состояний) вычисляется значение N_{02} .

Изгибающие моменты от внешней нагрузки в каждом из железобетонных стержней M_{01} и M_{02} определяются из следующих соображений. Сначала определяются моменты от внешней нагрузки и усилий в связях сдвига в каждом из железобетонных стержней.

При этом

$$\frac{M_2}{M^{np}} = \frac{E_2 I_2}{\sum EI}, \quad (3)$$

где $\sum EI = 0,85 \cdot E_{b,1,red} \cdot I_{b,1,red} + 0,85 \cdot E_{b,2,red} \cdot I_{b,2,red}$ – при отсутствии трещин и $\sum EI = M^{np} \cdot \rho$ – при наличии трещин.

Тогда

$$M_2 = \frac{M^{np} \cdot E_2 I_2}{\sum EI}. \quad (4)$$

$$M_1 = M^{np} - M_2. \quad (5)$$

Сдвигающие усилия T определяются из решения дифференциального уравнения составного стержня. При этом, в целях исключения трудоемких алгебраических преобразований, при составлении алгоритма целесообразно также использовать итерационный процесс.

При этом

$$M_{01} = M_1 + T_1 \cdot v \text{ и } M_{02} = M_2 + T_1 \cdot u. \quad (6)$$

Зная N_{01} , N_{02} и M_{01} , M_{02} можно найти эксцентриситеты e_1 , e_2 :

$$M_{01} = N_{01} \cdot e_1, \quad e_1 = \frac{M_{01}}{N_{01}}, \quad (7)$$

$$M_{02} = N_{02} \cdot e_2, \quad e_2 = \frac{M_{02}}{N_{02}}. \quad (8)$$

Таким образом, получим уточненную расчетную схему внецентренно сжатого составного стержня (рис. 2).

Для определения прогиба, вычисляются жесткости для каждого из участков (рис. 2) без трещин (участки II, III) и при наличии трещин (участок I).

Жесткость на участке I с трещинами вычисляется из соотношения:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{(EI)_1}, \quad (9)$$

где $\frac{1}{\rho}$ вычисляется по предлагаемой методике*:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_{b,2} - \varepsilon_q + \varepsilon_s \Psi_s}{h_0} = \frac{\frac{\sigma_{b,2}}{v_{b,2} E_{b,2}} - \varepsilon_q + \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \Psi_s}{h_0}. \quad (10)$$

При этом, на первой итерации будем иметь:

$$\frac{M_2}{M^{np}} = \frac{E_2 I_2}{\sum EI}, \text{ где } \sum EI = M^{np} \cdot \rho. \quad (11)$$

Тогда

$$M_2 = \frac{M^{np} \cdot E_2 I_2}{\sum EI} = \frac{M^{np} \cdot E_2 I_2}{M^{np} \cdot \rho} = \frac{E_2 I_2}{\rho}. \quad (12)$$

Момент M_1 определяем по формуле (5). Сдвигающие силы, в первом приближении, находим заменяя их криволинейное распределение прямоугольным, эквивалентным по площади (рис. 3).

$$T^I = \frac{N_l}{N_u} \cdot 0,1 \cdot 0,5 \cdot R_{br,1} \cdot b \cdot l_1, \quad (13)$$

* Казаков, Д.В. Специфика деформирования составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций [Текст] / Д.В. Казаков, Вл.И. Колчунов // Строительство и реконструкция. — Орел: ОрелГТУ, 2010. №5 (31). С. 8–17.

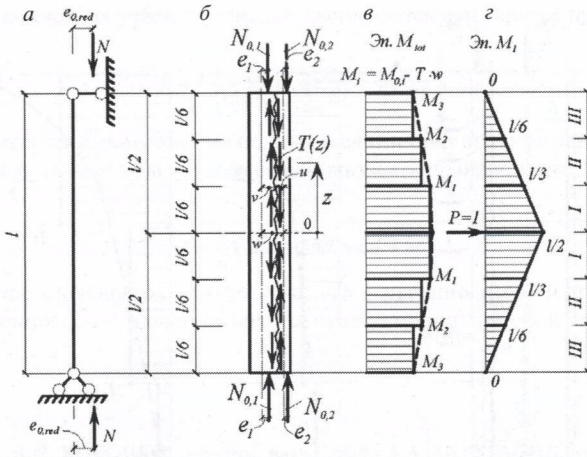


Рис. 2. К расчету прогибов составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций: а – расчетная схема, принятая в нормах; б, в, z – расчетная схема составного стержня, эпюра полного грузовой момента и эпюра единичного момента, соответственно

$$M_1 = M_{01} - T \cdot v, M_2 = M_{02} - T \cdot u, \tag{14}$$

M_{01} ; M_{02} — определяются по формулам (6) с учетом формул (2).

Из суммы $N_{01} + N_{02} = N_0$ (N_0 известно из исходных данных для второй группы предельных состояний) вычисляется значение N_{02} .

Зная N_{01} , N_{02} и M_{01} , M_{02} можно найти эксцентриситеты e_1 , e_2 по формулам (7), (8).

Тогда

$$M_0 = N_{01} \cdot e_1 + N_{02} \cdot e_2. \tag{15}$$

Полный момент всей составной системы можно записать в виде:

$$M_{полн} = M_0 - T \cdot w, \tag{16}$$

где $w = u + v$, $u = y_{b,2,red}$, $v = h_{b,1} - y_{b,1,red}$.

Зная $M_{полн}$ переходим к итерации 2 для уточнения полного момента всей составной системы на участке I.

На итерации 2 будем иметь

$$M_2 = \frac{M_{полн} \cdot E_2 I_2}{\sum EI} = \frac{M_{полн} \cdot E_2 I_2}{M_{полн} \cdot \rho} = \frac{E_2 I_2}{\rho}; \tag{17}$$

$$M_1 = M_{полн} - M_2. \tag{18}$$

Далее по уже приведенным формулам (13), (6), (15) определяют T^I ; M_{01} ; M_{02} ; M_0 . Полный момент всей составной системы записывают в виде (16).

Сравнивается полученное значение $M_{полн}$ на итерации 2 с значением на итерации 1. Если значения совпадают, итерационный процесс останавливается и для дальнейшего расчета принимается $M_{полн}$ для участка I.

Жесткости на участках без трещин (II, III) вычисляются из соотношения

$$\sum EI = 0,85 \cdot E_{b,1,red} \cdot I_{b,1,red} + 0,85 \cdot E_{b,2,red} \cdot I_{b,2,red}. \tag{19}$$

Распределение полного момента, действующего на составной образец по верхнему и нижнему стержням осуществляется в соответствии с зависимостями (3)–(5), в которых

$$\sum EI = 0,85 \cdot E_{b,1,red} \cdot I_{b,1,red} + 0,85 \cdot E_{b,2,red} \cdot I_{b,2,red}.$$

Аналогично участку I, на участках II, III вычисляются значения моментов M_{02} , M_{01} , где T вычисляется по формулам для соответствующих участков:

– на втором участке

$$T^{II} = \frac{N_i}{N_u} \cdot (0,1 \cdot 0,5 \cdot R_{bt,1} \cdot b \cdot l_2 + 0,27 \cdot 0,5 \cdot R_{bt,1} \cdot b \cdot l_2); \tag{20}$$

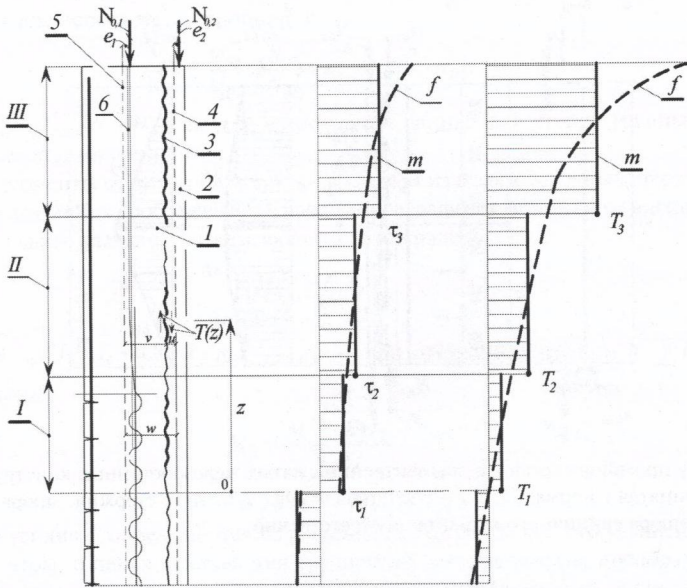


Рис. 3. Разделение составного внецентренно сжатого железобетонного стержня на участки с усреднением действительных касательных усилий: *a* – схема составного стержня с обозначенным началом координат – т. О; *б* – действительная (*f*) и усредненная (*m*) эпюры касательных напряжений в шве; *в* – действительная (*f*) и усредненная (*m*) эпюры сдвигающих усилий в шве; 1 – первый бетон; 2 – второй бетон; 3 – шов между бетонами; 4, 5 – геометрические оси второго и первого стержня соответственно; 6 – физическая нейтральная ось составного стержня; I–III – участки усреднения

– на третьем участке

$$T^{III} = \frac{N_i}{N_u} \cdot (0,27 \cdot 0,5 \cdot R_{br,1} \cdot b \cdot l_3 + 0,6 \cdot 0,5 \cdot R_{br,1} \cdot b \cdot l_3). \quad (21)$$

При необходимости, на третьей и последующих итерациях, используя результаты ранее проделанных итераций определяется величина усредненного момента $M_{0,m}$ от внешней нагрузки по формуле:

$$M_{0,m} = \frac{M_0^I + M_0^{II} + M_0^{III}}{3}. \quad (22)$$

Определяются уточняющие коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ для каждого из участков, применительно к силам T :

$$\alpha_1 = \frac{M_{0,m}}{M_0^I}, \quad \alpha_2 = \frac{M_{0,m}}{M_0^{II}}, \quad \alpha_3 = \frac{M_{0,m}}{M_0^{III}}. \quad (23)$$

Зная коэффициенты перехода $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ для каждого из участков, уточняются значения сил T , возникающих в составном железобетонном стержне.

$$T^I = \alpha_1 \cdot \frac{N_i}{N_u} \cdot 0,1 \cdot 0,5 \cdot R_{br,1} \cdot b \cdot l_1, \quad (24)$$

$$T^{II} = \alpha_2 \cdot \frac{N_i}{N_u} \cdot (0,1 \cdot 0,5 \cdot R_{br,1} \cdot b \cdot l_2 + 0,27 \cdot 0,5 \cdot R_{br,1} \cdot b \cdot l_2); \quad (25)$$

$$T^{III} = \alpha_3 \cdot \frac{N_i}{N_u} \cdot (0,27 \cdot 0,5 \cdot R_{br,1} \cdot b \cdot l_3 + 0,6 \cdot 0,5 \cdot R_{br,1} \cdot b \cdot l_3). \quad (26)$$

Определяются значения полных моментов, действующих на каждом из участков:

$$M_{полн}^i = M_{0,m} - T^i \cdot w. \quad (27)$$

Вычисляется значение $M_{полн}$ на соответствующем участке до требуемой погрешности сходимости итерационного процесса.

Зная $M_{\text{полн}}$ на каждом из участков (рис. 2), вычисляется суммарный прогиб по формуле:

$$f = 2 \cdot \left(\frac{K_1}{M \cdot \rho} + \frac{K_2}{\sum EI} + \frac{K_3}{\sum EI} \right), \quad (28)$$

где K_1, K_2, K_3 — результат перемножения полных и единичных эпюр моментов на I—III участков соответственно (рис. 2). Здесь было удобнее использовать правило трапеций.

Тогда

$$K_i = \frac{l_i}{6} (2ac + 2bd + ad + bc), \quad (29)$$

где l_i — длина соответствующего i -ого участка; a, b — значения левой и правой границы первой эпюры соответственно; c, d — значения левой и правой границы второй эпюры соответственно.

УДК 624.04

В.И. КОРОБКО, д-р техн. наук, проф., **А.А. АКТУГАНОВ**, инж.
ФГОУ ВПО «Государственный университет — УНПК», г. Орел

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ПРОГИБА РОМБИЧЕСКИХ ПЛАСТИНОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С КОМБИНИРОВАННЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Задача поперечного изгиба ромбических пластинок с комбинированными граничными условиями (все возможные комбинации шарнирного опирания и жесткого защемления по сторонам) на упругом основании, нагруженных равномерно распределенной по всей площади нагрузкой, решается методом интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ). Для каждой комбинации граничных условий построены аппроксимирующие функции для подсчета двух вспомогательных коэффициентов, необходимых для выбора опорных решений при использовании методики МИКФ.

Ключевые слова: ромбические пластинки, комбинированные граничные условия, максимальный прогиб, упругое основание, коэффициент постели, коэффициент формы, метод интерполяции по коэффициенту формы.

Пластинки на упругом основании широко используются в строительстве. К ним относятся фундаменты зданий и сооружений, настилы, покрытия автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос аэродромов, днища резервуаров и емкостей. Как конструктивные элементы пластинки также распространены в судостроении. Физические характеристики упругого основания существенно влияют на напряженно-деформированное состояние всего сооружения. Расчет пластинок сложной формы с различными комбинациями граничных условий является весьма трудной задачей, которая решается в настоящее время в основном с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Однако по-прежнему в строительной механике актуальной остается проблема развития аналитических методов расчета пластинок, позволяющих с помощью достаточно простых аналитических зависимостей проводить анализ напряженно-деформированного состояния пластинок на упругом основании.

Аналитических решений задач по определению максимального прогиба ромбических пластинок на упругом основании в научной литературе практически не приводится.

Метод интерполяции по коэффициенту формы к расчету ромбических пластинок на упругом основании до настоящего времени не применялся. В статье авторов [1] приводятся исследования, позволяющие сделать вывод о перспективности и необходимости применения этого метода к расчету таких пластинок. Преимуществом этого метода является возможность получать удовлетворительные оценки интегральных физических характеристик пластинок (в нашем случае — значения максимального прогиба) без решения сложных дифференциальных уравнений и использования мощных ЭВМ.

Для расчета пластинок сложных форм с помощью МИКФ необходимо предварительно построить граничные кривые «максимальный прогиб — коэффициент формы», на которых будут лежать так называемые «опорные» решения [2]. Для параллелограммных пластинок одну из таких границ будут образовывать решения, полученные для ромбических пластинок, а другую — для прямоугольных. Настоящая статья посвящена построению границы, относящейся к ромбическим пластинкам с различными комбинациями граничных условий (рис. 1).