



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2015, ТОМ 21, НОМЕР 3, 119–133

УДК 624.014:624.012

(15)-0332-1

ОГЛЯД НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ ВИВЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРУБОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

І. М. Гаранжа ^a, Сальвадор Іборра-Чорро ^b

^a Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.

^b Університет Аліканте, Кампус де Універсідад, проспект Сан Вісенте,
м. Сан Вісенте дель Распеч, провінція Аліканте, Іспанія, 03690.

E-mail: ^a garigo@mail.ru, ^b sivorra@ua.es

Отримана 26 червня 2015; прийнята 25 вересня 2015.

Анотація. У статті наведено аналітичний огляд літературних джерел, у яких відображені результати вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень, спрямованих на вивчення особливостей складу та дозування компонентів бетону, що самоущільнюється, як одного з найбільш перспективних заповнювачів для сучасних трубобетонних конструкцій. Крім того, розглянуто результати чисельних і експериментальних досліджень напружено-деформованого стану трубобетону при дії різних силових факторів. Наведено опис та особливості існуючих аналітичних методик для визначення несучої здатності розглянутих конструкцій при стиску та згині. Виконано аналіз моделей деформування обтиснутого бетону в складі композитної конструкції, а також моделей нелінійної поведінки сталі з визначенням їх відмінних рис. Визначено основні підходи до кінцево-елементного моделювання трубобетонних конструкцій.

Ключові слова: трубобетонні конструкції, бетон, що самоущільнюється, мінеральні добавки, несуча здатність, напружено-деформований стан, центральний і позацентровий стиск, згин, кінцево-елементна модель, чисельні і експериментальні дослідження, модель нелінійної роботи сталі, модель деформування обтиснутого бетону.

ОБЗОР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

И. М. Гаранжа ^a, Сальвадор Иборра-Чорро ^b

^a Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.

^b Университет Аликанте, Кампус де Універсідад, проспект Сан Вісенте,
г. Сан Вісенте дель Распеч, провинция Аликанте, Испания, 03690.

E-mail: ^a garigo@mail.ru, ^b sivorra@ua.es

Получена 26 июня 2015; принята 25 сентября 2015.

Аннотация. В статье приведен аналитический обзор литературных источников, в которых отражены результаты отечественных и зарубежных научных исследований, направленных на изучение особенностей состава и дозировок компонентов самоуплотняющегося бетона как одного из наиболее перспективных заполнителей для современных трубобетонных конструкций. Кроме того, рассмотрены результаты численных и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния трубобетона при действии различных силовых факторов. Приведено описание и особенности

существующих аналитических методик для определения несущей способности рассматриваемых конструкций при сжатии и изгибе. Выполнен анализ моделей деформирования обжатого бетона в составе композитной конструкции, а также моделей нелинейной работы стали с указанием их отличительных особенностей. Определены основные подходы к конечно-элементному моделированию трубобетонных конструкций.

Ключевые слова: трубобетонные конструкции, самоуплотняющийся бетон, минеральные добавки, несущая способность, напряженно-деформированное состояние, центральное и внецентренное сжатие, изгиб, конечно-элементная модель, численные и экспериментальные исследования, модель нелинейной работы стали, модель деформирования обжатого бетона.

REVIEW OF RESEARCH IN THE FIELD STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF CONCRETE-FILLED STRUCTURES

Igor Garanzha ^a, Salvador Ivorra-Chorro ^b

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

^b University of Alicante, University Campus, San Vicente avenue,
San Vicende del Raspeig, Alicante province, Spain, 03690.

E-mail: ^a garigo@mail.ru, ^b sivorra@ua.es

Received 26 June 2015; accepted 25 September 2015.

Abstract. The paper presents an analytical review of the literature, which reflects the results of national and foreign scientific researches aimed to studying the features of the composition and dosage of components of self compacting concrete as one of the most promising aggregate for modern composite structures. In addition, the results of numerical and experimental researches of stress-strain state of composite structures (concrete-filled tubes) under the influence of various power factors, have been considered. The description and features of existing analytical methods for the determination of the bearing capacity of the considered structures under compression and bendings, have been given. The analysis of deformation model of confined concrete in a composition of the composite structure, as well as non-linear models of steel works with their distinctive features, has been carried out. The main approaches to the finite element modeling of composite structures have been determined.

Keywords: concrete-filled structures, self-compacting concrete, mineral supplements, bearing capacity, stress-strain state, central and eccentric compression, bending, finite-element model, numerical and experimental researches, nonlinear model of steel work, deformation model of confined concrete.

Введение

Создание надежных, долговечных и экономичных конструкций, а также конструкций, отвечающих требованиям эстетики и обладающих низким землеотводом, является главной целью проектирования зданий и сооружений. Не исключением в данном направлении являются и трубобетонные конструкции, которые в ближайшей перспективе будут использоваться в качестве несущих элементов сооружений городской инфраструктуры, таких как опоры распределительных электрических сетей (напряжением до 110 кВ), башни мобильной связи, осветительные опоры, стойки под контактную сеть горэлектротранспорта и т. д. [1–8].

Одной из основных предпосылкой для качественного проектирования строительных конструкций, и композитных в частности, есть степень изученности их действительной работы под нагрузкой, особенностей напряженно-деформированного состояния, уровня несущей способности, характера разрушения. На сегодняшний день как отечественными, так и зарубежными учеными проведен достаточно широкий спектр экспериментальных исследований, в процессе которых исследовались как трубобетонные конструкции в натуральную величину, так и лабораторные модели, созданные по принципу геометрического масштабирования относительно натуральных конструкций [5–8, 21–59].

В данной работе выполнен обзор отечественных и зарубежных научных исследований численного и экспериментального характера, которые направлены на изучение напряженно-деформированного состояния трубобетонных композитных конструкций и их особенностей.

Аналитический обзор исследования напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций

Аналитический обзор выполненных как отечественных так и зарубежных исследований, а также их результатов выполнен по 6 направлениям.

Область применения самоуплотняющегося бетона в строительстве, особенностей его состава и количественных дозировок компонентов

На сегодняшний день этот вид бетона не является новым и уже достаточно долгое время применяется в качестве несущих конструкций зданий и сооружений. Основной их особенностью следует считать удобоукладываемость и относительная дешевизна, что особенно важно при использовании данного вида бетона в густоармированных конструкциях, конструкциях с неравномерной поверхностью (например, металлические многогранные стойки), в труднодоступных для бетонирования областях и т. д. [9–19].

Основные результаты исследований в данном направлении изложены в работах основоположника самоуплотняющегося бетона как строительного материала Y. Okamura (Япония), а также Н. М. Зайченко, В. И. Братчуна, В. Н. Губаря, С. В. Коваля (Украина), С. С. Каприелова, А. В. Шейнфельд, Г. С. Кардумян, В. Г. Дондукова (Россия), P. Ramanathan, I. Basakar, P. Muthupriya и R. Venkatasubramani (Индия), К. Н. Khayat и Н. Monty (Швеция), А. Yahia, М. Tanimura и Y. Shimoyama (Япония), Saffwan A. Khedr, Ahmed F. Idriss (Египет), L. Galano, A. Vignoli (Италия) и т. д.

До недавних пор существовали только самоуплотняющиеся бетоны повышенной прочности и высокопрочные (до 100 МПа), что до-

стигалось введением в их состав минеральных добавок, таких как золы-уноса ТЭС или микрокремнезема. Для получения необходимой текучести бетона применяются различные виды пластификаторов и суперпластификаторов. В сочетании с многогранными металлическими оцинкованными трубами не использовались [9–19].

Трубобетонные конструкции в основном используются в качестве несущих конструкций каркасов зданий промышленного и гражданского назначения, как опорные части сталежелезобетонных мостов и эстакад, стоек уличного освещения (в США). В качестве каких-либо других видов строительных конструкций и опор воздушных линий электропередачи заполненные бетоном многогранные стойки не применялись [1–8].

Мировой опыт изучения напряженно-деформированного состояния сталебетонных элементов на основе круглых и прямоугольных труб, в том числе с использованием самоуплотняющегося бетона

Данный вид конструкций в строительной отрасли применяется в мире с 70-х годов прошлого столетия, с применением самоуплотняющегося бетона (совместно с тонкостенными круглыми трубами) с начала XXI-го столетия и является на сегодняшний день достаточно изученным как в теоретическом, так и в экспериментальном плане. В проведенных исследованиях рассматривалась работа конструкций при центральном и внецентренном сжатии, изгибе [20–52]. Вопросы, связанные с численным или экспериментальным определением коэффициента трения при контактном взаимодействии между поверхностями бетона и стали (особенно оцинкованной), а также вопросы, связанные с характером работы многогранных трубобетонных элементов при внецентренном сжатии, изгибе не рассматривались.

Особое внимание вопросу численного и экспериментального изучения напряженно-деформированного состояния круглых труб, заполненных классическим тяжелым бетоном [20–25, 53, 54], уделено в работах таких зарубежных ученых как Min Yua, Xiaoxiong Zhaa, Jianqiao Yeb, Chunyan Shea, Qing Yua, Zhong

Таоб, Wei Liu, Zhi-Bo Chen (Китай, Великобритания), моделирование чистого изгиба для круглых трубобетонных балок Hui Lu, Xiao-Ling Zhao (Австралия) (рис. 1), Haider M. Abdul Hussein, Ahmed N. Mohammed (Ирак) (рис. 2, 3), устойчивость при внецентренном сжатии G. Muciaccia, F. Giussani, G. Rosati, F. Mola (Италия) (рис. 4), Б. Бартеlemi и Ж. Крюппа (Франция), Г. Купфера (Германия) и др. Среди отечественных ученых, уделивших особое внимание в своих трудах вопросам исследования напряженно-деформированного состояния трубобетонных конструкций под действием

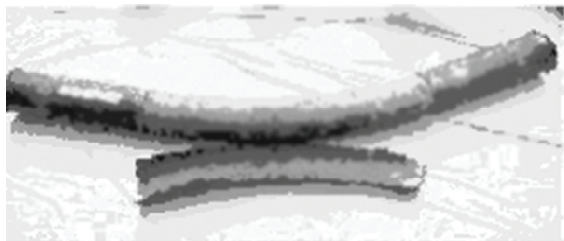
различных силовых факторов и оценке их прочностных свойств, следует выделить Л. И. Стороженко, Д. А. Ермоленко, В. Ф. Пенца (Украина), М. А. Бондаренко, В. М. Бондаренко (Беларусь), С. В. Александровского, О. Я. Берга, А. А. Гвоздева, О. С. Городецкого, Б. Б. Григорьяна, Б. Г. Демчини, Н. И. Карпенко, Ф. Е. Клименко, З. Ф. Клованича, В. И. Корсуна, О. П. Кричевского, В. Н. Левина, А. В. Ликова, А. Ф. Милованова, Г. А. Молодченка, А. В. Разживина, С. Л. Фомина, Е. Д. Чихладзе, О. Л. Шагина, В. С. Шмуклера, А. И. Яковлева, О. Ф. Яременко, А. В. Яшина.

Эксперимент

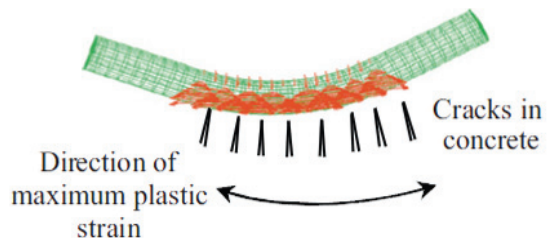


Трубобетонная балка (типичный режим отказа)

КЭ анализ



Бетон внутри трубы



Пустотелая стальная труба при изгибе



Рисунок 1. Режимы отказа конструкций стальных труб с бетоном и без него.

Эксперимент



КЭ анализ

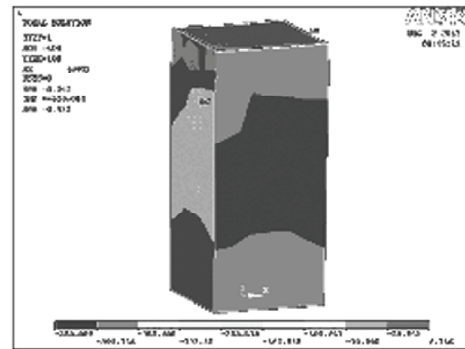
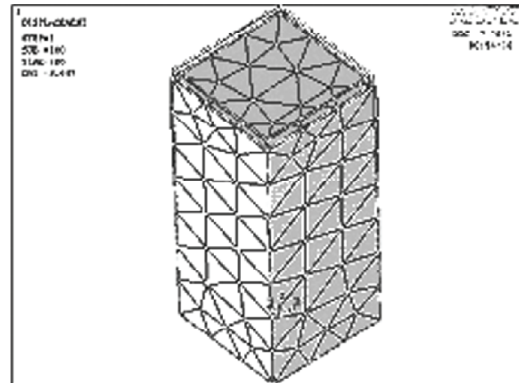


Рисунок 2. Исследования квадратного трубобетона при центральном сжатии.

Эксперимент



КЭ анализ

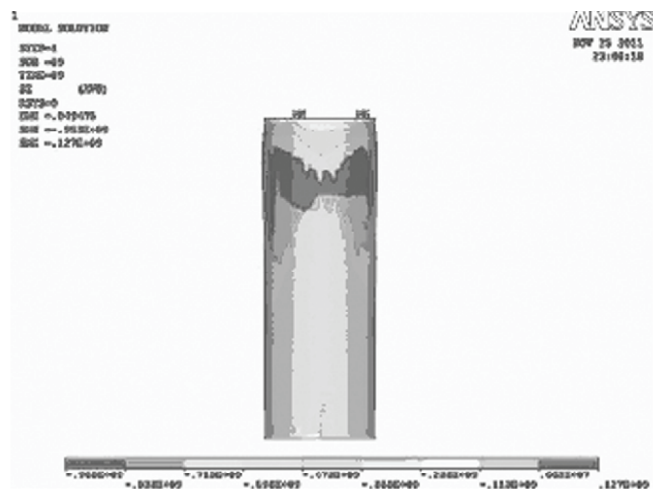
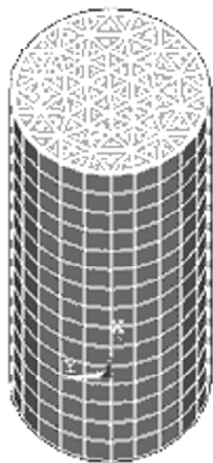


Рисунок 3. Исследования круглого трубобетона при центральном сжатии.

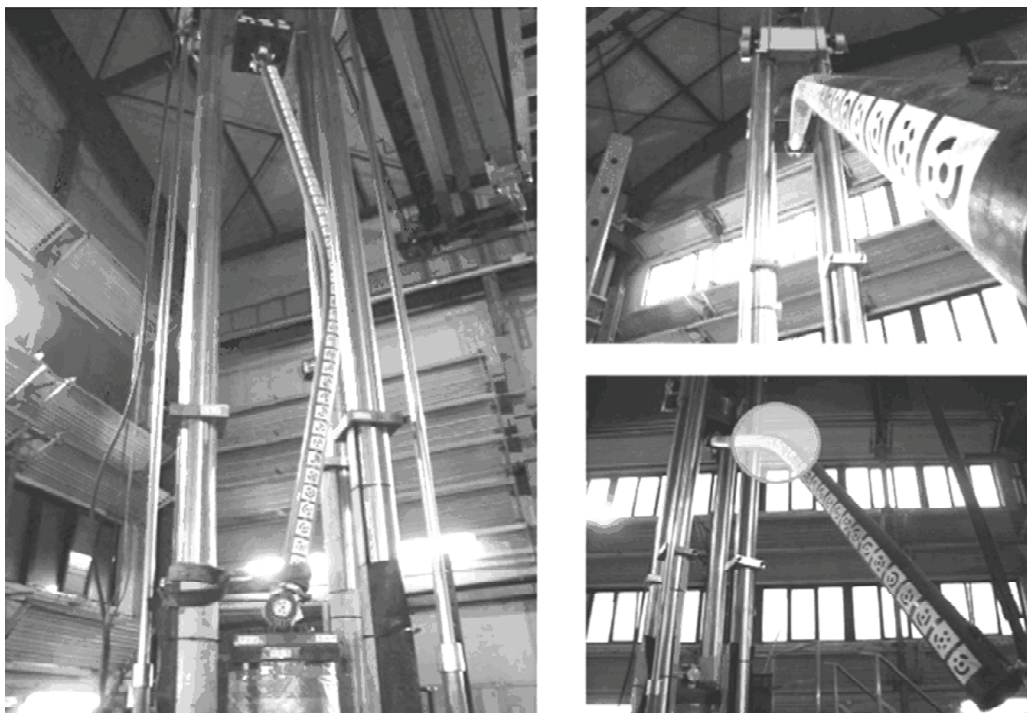


Рисунок 4. Исследование тонкостенных образцов на устойчивость.

Существующие аналитические методики определения несущей способности трубобетонных конструкций различного поперечного сечения (цилиндрические, многогранные)

Китайскими учеными Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li предложена унифицированная методика для расчета прочности и устойчивости многогранных и цилиндрических трубобетонных конструкций (в том числе и «полых») при центральной сжатии [53, 54] (рис. 5). Она представляет собой два математических выражения для вычисления критических сжимающих сил N_0 (1) и N_u (2), которые и определяют несущую способность конструкции до наступления состояния потери прочности и устойчивости соответственно.

В общем виде вышеупомянутые выражения представлены ниже:

$$N_0 = (1 + \eta) \cdot (f_y A_s + f_c A_{ck}), \quad (1)$$

где η – коэффициент повышения прочности за счет обжатия бетона трубой (рис. 6), зависящий от количества граней n , характеристик применяемых материалов, а также коэффициента «полости» ψ (в случае проектирования «пустотелого трубобетона»). При использовании выражения (1) для расчета круглого трубобетона параметр n принимается равным ∞ ;

$$N_{st} = \varphi_{sc} N_0, \quad (2)$$

где φ_{sc} – фактор устойчивости (коэффициент продольного изгиба), также зависящий от количества граней n , характеристик приме-

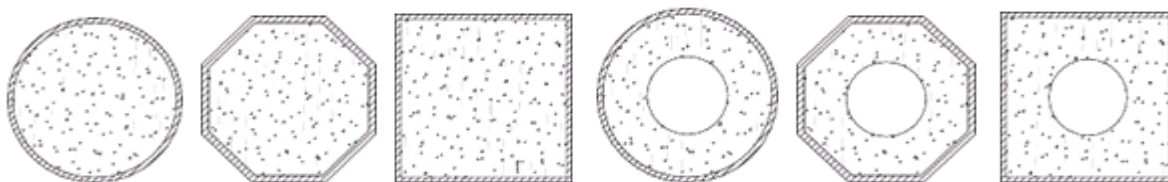


Рисунок 5. Разновидности типов сечений трубобетонных конструкций.

няемых материалов, а также от приведенной гибкости λ_{sc} и изгибной жесткости приведенного трубобетонного сечения $E_{sc} I_{sc} = E_c I_c + E_s I_s$. Данная методика экспериментально подтверждена на основании результатов механических испытаний квадратных и 8-ми гранных трубобетонных элементов (рис. 7).

Кроме того, этими же китайскими учеными предложена унифицированная методика для определения несущей способности трубобетонных конструкций (в том числе и «полых») при центральной сжатии, которая не учитывает количество граней и, соответственно, может быть применена при расчете только круглых сечений. Порядок использования данной методики следующий:

- определение предела текучести трубобетонного элемента по формуле (3):

$$f_{sc} = \left[1 + \frac{\Omega \xi_{sc}}{\left[2\Omega + 0,05 \xi_{sc} + (0,2 \frac{f_{ck}}{f_y} - 0,05) \xi_{sc} \Omega \right] (\Omega + \xi_{sc})} \right]; \quad (3)$$

- вычисление предельной нагрузки на элемент (из условий прочности) по формуле (4):

$$N_0 = f_{sc} A_{sc}; \quad (4)$$

- определение фактора устойчивости (коэффициента продольного изгиба) из выражения (5):

$$\varphi_{sc} = \frac{1}{2\lambda_{sc}^2} \cdot \left[\lambda_{sc}^{-2} + 0,25\beta\lambda_{sc}^{-2} + 1 - \sqrt{(\lambda_{sc}^{-2} + 0,25\beta\lambda_{sc}^{-2} + 1)^2 - 4\lambda_{sc}^{-2}} \right]; \quad (5)$$

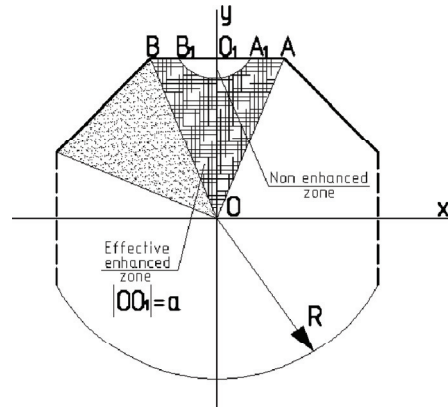


Рисунок 6. Зона повышения прочности за счет эффективного обжатия бетона многогранной трубой.

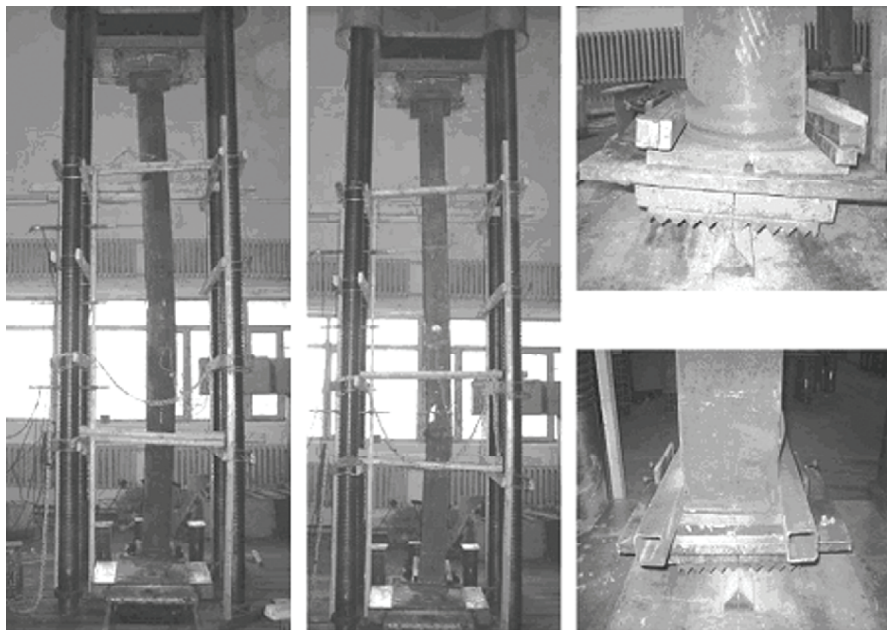


Рисунок 7. Экспериментальные исследования трубобетонных колонн.

– вычисление предельной нагрузки на элемент (из условий устойчивости) по формуле (6):

$$N_{st} = \varphi_{sc} f_{sc} A_{sc}. \quad (6)$$

Альтернативной зарубежным методикам определения несущей способности трубобетонных конструкций при сжатии является отечественная методика Л. И. Стороженко, позволяющая определить предельно-допустимую нагрузку на трубобетонный элемент при центральном сжатии [8, 30, 31]. Данная методика применима только для конструкций круглого сечения и изложена в выражениях (7), (8):

– определяется расчетное сопротивление бетона в круглой трубе

$$R_b^* = 0,65 \cdot B \cdot (1 + 16,1 \mu_{pb} \beta), \quad (7)$$

где $\mu_{pb} = (D / (D - 2t))^2 - 1$ – коэффициент армирования трубобетона (основной параметр, учитывающий соотношения толщины трубы и наружного диаметра конструкции);

– определяется несущая способность:

$$N_{stb} = \gamma_{bs} \cdot (R_b^* A_b + \gamma_{s2} R_y A_{st}), \quad (8)$$

где γ_{bs} и γ_{s2} – коэффициенты, учитывающие особенности совместной работы бетона и стальной трубы.

Для расчета трубобетонных конструкций на изгиб (круглых и квадратных) существует методика, предложенная украинскими учеными Л. И. Стороженко, Д. А. Ермоленко, В. Ф. Пенцом, которая заключается в определении предельного значения изгибающего момента, который способен воспринять трубобетонный элемент до наступления предельного состояния (8):

$$M_{пред} = \frac{r^2}{1 + \cos \alpha} (2\pi t R_y + r \beta R_b \frac{\sin \alpha}{32}), \quad (9)$$

где α – угол, зависящий от отношений r/t (радиуса трубы к толщине) и E_s/E_b (модулей упругости материалов);

$\beta = 1,15$ – коэффициент эффективности работы бетона в трубе на изгиб.

Аналитические методики, позволяющие определять несущую способность многогранного трубобетона на изгиб с учетом особенностей работы данного вида трубчатых конструкций и условий контакта поверхностей материалов внутри трубы, отсутствуют.

В отличие от отечественных зарубежные аналитические методики расчета трубобетонных конструкций имеют некоторые отрицательные особенности, которые, предположительно, должны влиять на точность полученных результатов, а именно:

- из геометрических характеристик в расчет принимается только площадь поперечного сечения и игнорируются толщина стенки трубы t и наружный диаметр конструкции D ;
- не учитывается отношение t/D , которое является одним из важнейших параметров определяющих несущую способность;
- не учитывается сцепление между материалами, что, безусловно, повлияет на значение предельного усилия в элементе.

Таким образом, согласно зарубежным методикам, при одинаковой площади эквивалентных сечений конструкции будут иметь одинаковую несущую способность, но данный вывод не может быть справедливым.

Модели деформирования бетона, находящегося в условиях обжатия металлической оболочкой и их отличительные особенности

С точки зрения определения расчетного сопротивления обжатого бетона и его работы после достижения расчетного сопротивления наиболее популярной, максимально точно описывающей поведение замкнутого бетона в трубе, считается модель американских ученых J. V. Mander, J. N. Priestley, R. N. Park (рис. 8). Эта модель применялась в ходе численных и экспериментальных исследований многогранных трубобетонных конструкций в рамках стажировки [55–59].

Принцип моделирования физически нелинейного характера работы стали

Модели нелинейного поведения стали и методы аппроксимации диаграммы ее деформирования, которые могут быть использованы при конечно-элементном анализе строительных конструкций (и трубобетонных в частности) в специализированных программных комплексах (например, Lira, ANSYS, ABAQUS, NASTRAN и др.), позволяющих учитывать в

расчете физически нелинейный характер работы материалов [31–35]. Существует две основных модели нелинейного поведения стали (два закона упрочнения):

- изотропное упрочнение (предполагается одинаковый механизм упрочнения как при растяжении, так и при сжатии; используется как при малых, так и при больших дефор-

мациях, однако не может использоваться для циклических нагрузок);

- кинематическое упрочнение (учитывает эффект Баушингера, который важен при расчетах циклических нагрузок, сопровождающихся пластическими деформациями; данный закон не приемлем при больших деформациях более 5–10 %).

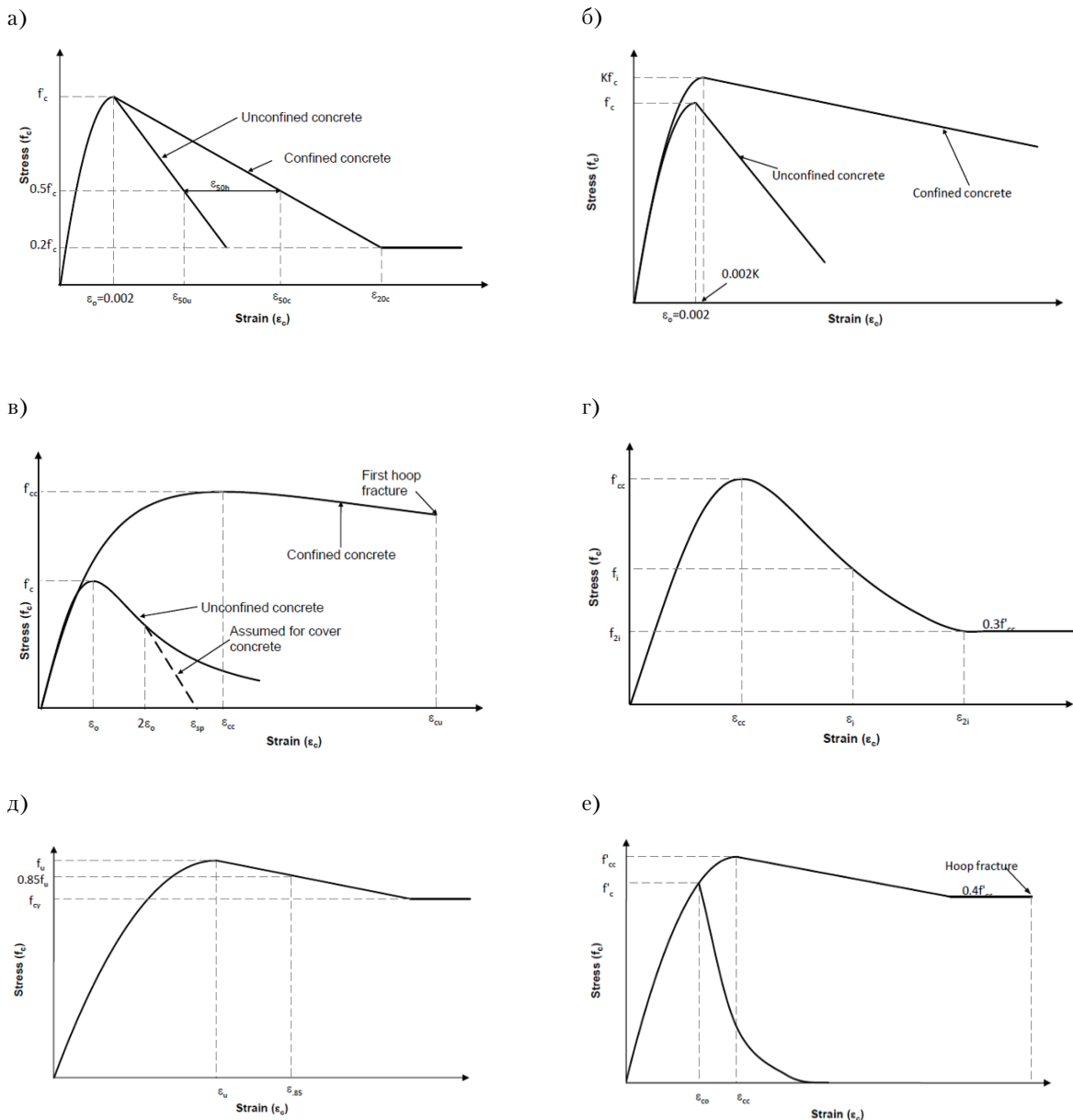


Рисунок 8. Модели работы бетона в условиях обжатия: а) модель Kent and Park (1971), б) модифицированная модель Kent and Park (1982) (прямоугольная труба), в) модель Mander и др. (1988), г) модель Yong и др. (1989), д) модель Bjerkeli (1991), е) модель Li (2001).

Наиболее популярными способами учета в расчетах конструкций нелинейного характера работы стали является применение кривых Рамберга–Осгуда и Банкина–Дзюбы–Хватана, которые могут использоваться как для высокопрочных, так и для сталей нормальной прочности. Данные кривые основаны на двух основных методах аппроксимации реальной кривой деформирования стали (рис. 9):

- билинейной (используется при сравнительно небольших деформациях $\leq 5\%$);
- мультилинейной (используется при больших деформациях $> 5\%$).

При билинейной и мультилинейной аппроксимации используются зависимости между напряжениями σ и деформациями ε , описанные выражениями (10) и (11) соответственно:

$$\sigma = \begin{cases} Ee \\ \sigma_T + 0,35m(Ee - \sigma_T) \end{cases} \begin{cases} \text{при } e < \sigma_T / E; \\ \text{при } e \geq \sigma_T / E; \end{cases} \quad (10)$$

$$\sigma = \begin{cases} Ee \\ \sigma_T \left(\frac{e}{e_T}\right)^m \end{cases} \begin{cases} \text{при } e < \sigma_T / E \\ \text{при } e \text{ от } \sigma_T / E \text{ до } 5 \sigma_T / E, \end{cases} \quad (11)$$

где m – показатель упрочнения стали [31, 33, 35].

Особенности построения КЭ моделей

Подходы к конечно-элементному моделированию, на основе которых определены основные способы построения геометрии расчетных моделей, рекомендуемые виды конечных элементов для различных материалов и видов расчета, наиболее популярные модели материалов и

методология их использования, заложенные в современные программные комплексы (например, ANSYS APDL Multiphysics, ANSYS Workbench, ABAQUS, NASTRAN, SAP 2000, Robot Structural Analysis, SCAD, Lira и др.), а также другие опции, необходимые для максимального точного отражения в результатах реальной работы конструкций [40–52]. В проанализированных работах не оговариваются особенности создания геометрии расчетных моделей, отсутствуют рекомендации по созданию и оценке качества конечно-элементных сеток, не рассматриваются вопросы, связанные с заданием ограничений степеней свободы, а также условия контакта между материалами, что, безусловно, оказывает существенное влияние на скорость и точность расчетов.

Выводы

В результате проведенной обзорно-аналитической работы выявлена необходимость в проведении углубленных научных исследований по следующим направлениям:

- 1) численное и экспериментальное изучение напряженно-деформированного состояния не только круглых, но и многогранных трубобетонных конструкций при действии различных силовых факторов (в частности сжато-изгибаемых башенных сооружений, к которым относятся опоры воздушных линий электропередач, башни ветроэнергетических установок, башни мобильной связи, осветительные опоры и т. д.);

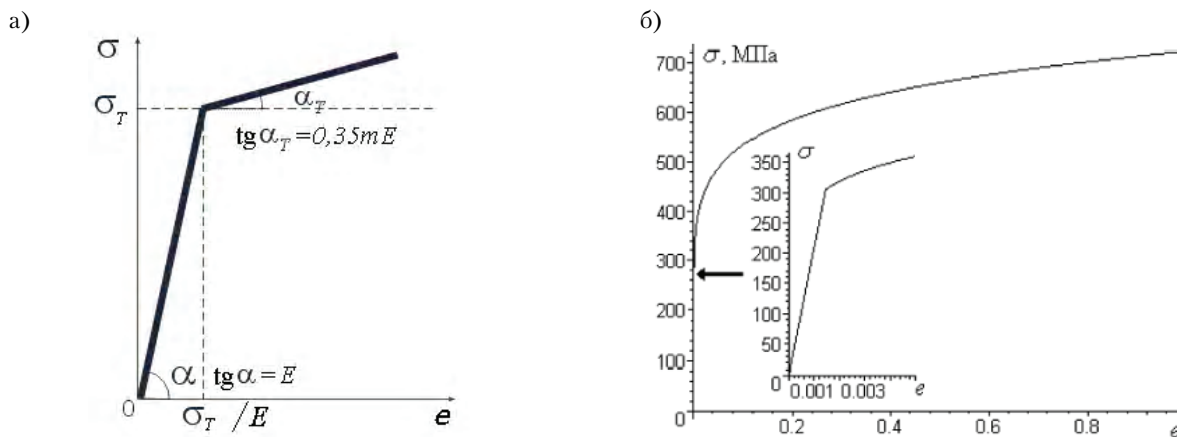


Рисунок 9. Аппроксимации диаграмм деформирования стали: а) билинейная, б) мультилинейная.

- 2) экспериментальное изучение условий контакта между сталью и бетоном в составе композитных конструкций с целью их корректного учета при конечно-элементном, аналитическом моделировании и расчете трубобетонных элементов;
- 3) уточнение и модификация существующих аналитических методик расчета трубобетонных конструкций, направленных на повышение точности получаемых результатов, что даст возможность создавать здания и сооружения с высокими показателями надежности;
- 4) создание единого подхода к созданию конечно-элементных моделей в современных про-

граммно-вычислительных комплексах с целью повышения качества проектирования трубобетонных конструкций в современных условиях, что позволит создать достаточно серьезную конкуренцию классическим железобетонным и металлическим конструкциям;

- 5) разработка новых экономичных составов самоуплотняющегося бетона для применения в рассматриваемых композитных конструкциях;
- 6) выполнение детального обоснования экономической целесообразности применения тех и иных видов трубобетонных конструкций в современных условиях.

Литература

1. Перспективные направления повышения эффективности работы воздушных линий электропередачи в Украине [Текст] / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, И. М. Гаранжа, А. А. Лещенко // Металлические конструкции. 2013. Т. 19, № 2. С. 67–80.
2. Гаранжа, И. М. Модифицированные опоры воздушных линий электропередачи на основе металлических многогранных стоек [Текст] / И. М. Гаранжа // Воздушные линии. Санкт-Петербург, 2013. № 3(12). С. 15–20.
3. Гаранжа, И. М. Эффективные электросетевые конструкции на основе многогранных трубобетонных стоек [Текст] / И. М. Гаранжа // Современные строительные конструкции из металла и древесины : Сборник научных трудов / Одес. гос. акад. стр-ва и архитектуры. 2013. № 17. С. 45–50.
4. Garanzha, I. Analytical methods for determination a load capacity of concrete-filled tubes under axial compression [Текст] / I. Garanzha, N. Vatin // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 633–634. P. 965–971.
5. Duvanova, I. Composite columns in a construction of tall buildings and structures [Текст] / I. Duvanova, I. Salmanov // Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. № 6(21). P. 89–103.
6. Shaohuay, Ts. A new application experience of concrete-filled tubes in China [Текст] / Ts. Shaohuay // Concrete & Reinforcement Concrete. 2001. № 3. P. 20–24.
7. Cai, S. H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures [Текст] / S. H. Cai. – China : Communication Press, 2003. – 358 p.
8. Стороженко, Л. И. Сталежелезобетонные конструкции [Текст] / Л. И. Стороженко, А. В. Семко, В. Ф. Пенц. – Полтава : ПолНТУ, 2005. – 182 с.
9. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю. М. Баженов,

References

1. Gorokhov, Yevgen; Vasylev, Volodymyr; Garanzha, Igor; Leshchenko, Olexandr. The perspective directions of increase overhead power lines performance efficiency in Ukraine. In: *Metal Constructions*, 2013, Volume 19, Number 2, p. 67–80. (in Russian)
2. Garanzha, I. M. Modified supports of overhead transmission lines based on metal many-sided bars. In: *Overhead lines*, 2013, № 3(12), p. 15–20. (in Russian)
3. Garanzha, I. M. Powerful electricity supply network constructions based on many-sided tube confined concrete bars. In: *Edited volume «State-of-the-industry engineering constructions made from metal and wood»*, 2013, № 17, p. 45–50. (in Russian)
4. Garanzha, I.; Vatin, N. Analytical methods for determination a load capacity of concrete-filled tubes under axial compression. In: *Applied Mechanics and Materials*, 2014, Vol. 633–634, p. 965–971.
5. Duvanova, I.; Salmanov, I. Composite columns in a construction of tall buildings and structures. In: *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2014, № 6(21), p. 89–103.
6. Shaohuay, Ts. A new application experience of concrete-filled tubes in China. In: *Concrete & Reinforcement Concrete*, 2001, № 3, p. 20–24.
7. Cai, S. H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures. China: Communication Press, 2003. 358 p.
8. Storozhenko, L. I.; Semko, A. V.; Pents, V. F. Reinforced concrete construction. Poltava: PolNTU, 2005. 182 p. (in Russian)
9. Bazhenov, Yu. M.; Demianova, V. S.; Kalashnikov, V. I. Modified high quality concrete. Moscow: ASV, 2006. 368 p. (in Russian)
10. Zaichenko, N. M.; Haliushev, A. K.; Sahoshko, E. V. Optimization of compound of high quality concrete according to criterion of remoulding effort of mixtures and concrete strength. In: *Mercury of Odessa*

- В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
10. Зайченко, Н. М. Оптимизация состава высокопрочного бетона по критериям удобоукладываемости смесей и прочности бетона [Текст] / Н. М. Зайченко, А. К. Халюшев, Е. В. Сахошко // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. Одеса : МПП «ЕВЕН», 2004. Вип. 15. С. 126–133.
 11. Зайченко, Н. М. Самоуплотняющиеся бетоны, дисперсно-армированные полимерными волокнами [Текст] / Н. М. Зайченко, С. В. Лахтарина // Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. 2013. Вип. 22. С. 63–70.
 12. Болотских, О. Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика [Текст] / О. Н. Болотских // Бетон и железобетон в Украине. 2006. № 6. С. 2–6.
 13. Bartos, P.J.M. Self-compacting concrete [Текст] / P.J.M. Bartos // Concrete. 1999. Vol. 33(4). P. 9–14.
 14. Bouzoubaa, N. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class Fly ash: Preliminary results [Текст] / N. Bouzoubaa, M. Lachemi // Cem Concr Res. 2001. Vol. 31, № 3. P. 413–420.
 15. Domone, P.L. Self-compacting concrete: an analysis of 11 years of case studies [Текст] / P.L. Domone // Cem Concr Compos. 2006. Vol. 28. P. 197–208.
 16. El Barrak, M. Self-compacting concrete paste constituents: hierarchical classification of their influence on flow properties of the paste [Текст] / M. El Barrak, M. Mouret, A. Bascoul // Cem Concr Compos. 2009. Vol. 1. P. 2–21.
 17. Jacobs, F. Design of self-compacting concrete for durable concrete structures [Текст] / F. Jacobs, F. Hunkeler // First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden / Editors: A. Skarendahl, O. Petersson. – [S. l.] : RILEM Publications SARL, 1999. – P. 397–407.
 18. Hillemeier, B.; Buchenau, G.; Herr, R.; Huttel, R. New modifications of self-compacting concrete [Текст] / B. Hillemeier, G. Buchenau, R. Herr, R. Huttel // Spezialbetone. Berlin : Ernst & Sohn, 2006. № 42(1). P. 534–549.
 19. Performance of Self-Compacting Concrete Containing Different Mineral Admixtures [Текст] / P. Ramanathan, I. Baskar, P. Muthupriya, R. Venkatasubramani // KSCE Journal of Civil Engineering. 2013. № 17(2). P. 465–472.
 20. Garanzha, I. About Approaches to the Calculation of Composite Tubes in Ukraine and Abroad [Текст] / I. Garanzha // Metal Structures. 2014. Vol. 20, № 1. P. 45–53.
 21. Hajjar, J. F. Representation of concrete-filled steel tube cross-section strength [Текст] / J. F. Hajjar, B. C. Gourley // Engineering Structures. 1996. № 122(11). P. 1327–1336.
 22. Johansson, M. Mechanical behavior of circular steel-concrete composite stub columns [Текст] / M. Johansson, K. Gylltoft // Engineering Structures. 2002. № 128(8). P. 1073–1081.
 23. Han, Lin-Hai. Experimental behavior of thin-walled steel tube confined concrete column to RC beam [Текст] / National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2004, Issue 15, p. 126–133. (in Russian)
 24. Zaichenko, N. M.; Lahtarina, S. V. Self Compacting concrete, dispersed metal clad by polymeric fiber. In: *Edited Volume «Resource efficient materials, constructions, buildings and structures»*, 2013, Issue 22, p. 63–70. (in Russian)
 12. Bolotskih, O. N. Self compacting concrete and its diagnostic operation. In: *Concrete and reinforced concrete in Ukraine*, 2006, № 6, p. 2–6. (in Russian)
 13. Bartos, P.J.M. Self-compacting concrete. In: *Concrete*, 1999, Vol. 33(4), p. 9–14.
 14. Bouzoubaa, N.; Lachemi, M. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class Fly ash: Preliminary results. In: *Cem Concr Res*, 2001, Vol. 31, № 3, p. 413–420.
 15. Domone, P.L. Self-compacting concrete: an analysis of 11 years of case studies. In: *Cem Concr Compos*, 2006, Vol. 28, p. 197–208.
 16. El Barrak, M.; Mouret, M.; Bascoul, A. Self-compacting concrete paste constituents: hierarchical classification of their influence on flow properties of the paste. In: *Cem Concr Compos*, 2009, Vol. 1, p. 2–21.
 17. Jacobs, F.; Hunkeler, F. Design of self-compacting concrete for durable concrete structures. In: *First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden / Editors: A. Skarendahl, O. Petersson*. [S. l.]: RILEM Publications SARL, 1999, p. 397–407.
 18. Hillemeier, B.; Buchenau, G.; Herr, R.; Huttel, R. New modifications of self-compacting concrete. In: *Spezialbetone, Berlin: Ernst & Sohn*, 2006, № 42(1), p. 534–549.
 19. Ramanathan, P.; Baskar, I.; Muthupriya, P.; Venkatasubramani, R. Performance of Self-Compacting Concrete Containing Different Mineral Admixtures. In: *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2013, № 17(2), p. 465–472.
 20. Garanzha, I. About Approaches to the Calculation of Composite Tubes in Ukraine and Abroad. In: *Metal Structures*, 2014, Vol. 20, № 1, p. 45–53.
 21. Hajjar, J. F.; Gourley, B. C. Representation of concrete-filled steel tube cross-section strength. In: *Engineering Structures*, 1996, № 122(11), p. 1327–1336.
 22. Johansson, M.; Gylltoft, K. Mechanical behavior of circular steel-concrete composite stub columns. In: *Engineering Structures*, 2002, № 128(8), p. 1073–1081.
 23. Han, Lin-Hai; Qu, Hui; Tao, Zhong; Wang, Zai-Feng. Experimental behavior of thin-walled steel tube confined concrete column to RC beam joints under cyclic loading. In: *Thin-Walled Structures*, 2009, Volume 47, Issues 8–9, p. 847–857.
 24. Trull, V.; Sanzharovskii, R. Experimental analysis of load-carrying ability of tube concrete constructions. In: *News of Higher Educational Institutions. Civil Engineering and Architecture*, 1968, № 3, p. 27–30. (in Russian)

- joints under cyclic loading [Текст] / Lin-Hai Han, Hui Qu, Zhong Tao, Zai-Feng Wang // *Thin-Walled Structures*. 2009. Volume 47, Issues 8–9. P. 847–857.
24. Труль, В. Экспериментальные исследования несущей способности трубобетонных конструкций [Текст] / В. Труль, Р. Санжаровский // *Известия ВУЗов. Строительство и архитектура*. 1968. № 3. С. 27–30.
25. Schneider, S. P. Experimental behavior of connections to concrete-filled steel tubes [Текст] / S. P. Schneider, Y. M. Alostaz // *Journal of Constructional Steel Research*. 1998. № 45(3). P. 321–352.
26. Xiao, Y. Experimental study on design method to prevent shear failure of reinforced concrete short circular columns by confining in steel tube [Текст] / Y. Xiao, M. Tomii, K. Sakino // *Transactions of the Japan Concrete Institute*. 1986. № 8. P. 535–542.
27. Chen, Ju. Experimental investigation of thin-walled complex section concrete-filled steel stub columns [Текст] / Chen Ju, Jin Weiliang // *Thin-Walled Structures*. 2010. № 48. P. 718–724.
28. Full-Scale Tests of Slender Concrete-Filled Tubes Axial Behavior [Текст] / Tiziano Perea, Roberto T. Leon, Jerome F. Hajjar and Mark D. Denavit // *Engineering Structures*. 2013. № 10. P. 1943–1957.
29. Высокоэффективные технологии в композитных конструкциях [Текст]: монография / О. А. Онищенко, С. Ф. Пичугин, В. О. Онищенко [и др.]. – Полтава: Формика, 2009. – 404 с.
30. Стороженко, Л. И. Трубобетонные конструкции промышленных зданий [Текст]: монография / Л. И. Стороженко, В. Ф. Пенц, С. Г. Коршун. – Полтава: ПолНТУ, 2008. – 202 с.
31. Єрмоленко, Д. А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів [Текст]: монографія / Д. А. Єрмоленко. – Полтава: Видавець Шевченко Р. А., 2012. – 316 с.
32. Morino, S. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan [Текст] / S. Morino, K. Tsuba // *Earthquake and Engineering Seismology*. 2005. No. 1, Vol. 4. P. 51–73.
33. Rosnovskiy, V. A research of concrete-filled tubes [Текст] / V. Rosnovskiy, A. Lipatov // *Railway construction*. 1952. № 11. P. 27–30.
34. Lipatov, A. A strength researches of concrete-filled elements [Текст] / A. Lipatov // *Col. of papers «Works of CNIISK»*. 1956. Vol. 19. P. 15–25.
35. Marenin, V. Strength problems of steel concrete-filled tubes [Текст] / V. Marenin, A. Rensky // *Materials by metal structures*. 1959. № 4. P. 58–64.
36. Gonçalves, R. A geometrically exact approach to lateral-torsional buckling of thin-walled beams with deformable cross-section [Текст] / R. Gonçalves // *Computers and Structures*. 2012. № 106–107. P. 9–19.
37. Bleich, F. Buckling strength of metal structures [Текст] / F. Bleich. – New York, USA: McGraw-Hill, 1952. – 242 p.
38. Власов, В. З. Тонкостенные стержни [Текст] / В. З. Власов. – М.: Физматгиз, 1962. – 363 с.
39. Timoshenko, S.; Gere, J. Theory of elastic stability. New York, USA: McGraw-Hill, 1961. 541 p.
40. Trahair, N. S. Flexural-torsional buckling of structures. London, England: E & FNSpon; 1993. 115 p.
41. Garifullin, M.; Trubina, D.; Vatin, N. Local Buckling of Cold-Formed Steel Members with Edge Stiffened Holes. In: *Applied Mechanics and Materials*. 2014, Vol. 725–726, p. 697–702.
42. Gonçalves, R.; Camotim, D. Buckling behaviour of thin-walled regular polygonal tubes subjected to
25. Schneider, S. P.; Alostaz, Y. M. Experimental behavior of connections to concrete-filled steel tubes. In: *Journal of Constructional Steel Research*, 1998, № 45(3), p. 321–352.
26. Xiao, Y.; Tomii, M.; Sakino, K. Experimental study on design method to prevent shear failure of reinforced concrete short circular columns by confining in steel tube. In: *Transactions of the Japan Concrete Institute*, 1986, № 8, p. 535–542.
27. Chen, Ju; Jin, Weiliang. Experimental investigation of thin-walled complex section concrete-filled steel stub columns. In: *Thin-Walled Structures*, 2010, № 48, p. 718–724.
28. Perea, Tiziano; Leon, Roberto T.; Hajjar, Jerome F.; Denavit, Mark D. Full-Scale Tests of Slender Concrete-Filled Tubes Axial Behavior. In: *Engineering Structures*, 2013, № 10, p. 1943–1957.
29. Onishchenko, O.; Pichugin, S.; Onishchenko, V. and others. High efficiency technologies and complex structures in the constructions: Monograph. Poltava: Formika, 2009. 404 p. (in Russian)
30. Storozhenko, L.; Pents, F.; Korshun, S. Concrete-filled structures of industrial buildings: Monograph. Poltava: PolNTU, 2008. 202 p. (in Russian)
31. Ermolenko, D. Three-dementional stress-strain state of concrete-filled tubes' elements: Monograph. Poltava: Publisher Shevchenko R., 2012. 316 p. (in Ukrainian)
32. Morino, S.; Tsuba, K. Design and Construction of Concrete-Filled Steel Tube Column System in Japan. In: *Earthquake and Engineering Seismology*, 2005, No. 1. Vol. 4, p. 51–73.
33. Rosnovskiy, V.; Lipatov, A. A research of concrete-filled tubes. In: *Railway construction*, 1952, № 11, p. 27–30.
34. Lipatov, A. A strength researches of concrete-filled elements. In: *Col. of papers «Works of CNIISK»*, 1956, Vol. 19, p. 15–25.
35. Marenin, V.; Rensky, A. Strength problems of steel concrete-filled tubes. In: *Materials by metal structures*, 1959, № 4, p. 58–64.
36. Gonçalves, R. A geometrically exact approach to lateral-torsional buckling of thin-walled beams with deformable cross-section. In: *Computers and Structures*, 2012, № 106–107, p. 9–19.
37. Bleich, F. Buckling strength of metal structures. New York, USA: McGraw-Hill, 1952. 242 p.
38. Vlasov, V. Z. Thin-walled bars. Moscow: Fizmatgiz, 1962. 363 p. (in Russian)

39. Timoshenko, S. Theory of elastic stability [Текст] / S. Timoshenko, J. Gere. – New York, USA : McGraw-Hill, 1961. – 541 p.
40. Trahair, N. S. Flexural-torsional buckling of structures [Текст] / N. S. Trahair. – London, England : E & FNSpon, 1993. – 115 p.
41. Garifullin, M. Local Buckling of Cold-Formed Steel Members with Edge Stiffened Holes [Текст] / M. Garifullin, D. Trubina, N. Vatin // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 725–726. P. 697–702.
42. Gonçalves, R. Buckling behaviour of thin-walled regular polygonal tubes subjected to bending or torsion [Текст] / R. Gonçalves, D. Camotim // Thin-Walled Structures. 2013. № 73. P. 185–197.
43. Gonçalves, R. Elastic buckling of uniformly compressed thin-walled regular polygonal tubes [Текст] / R. Gonçalves, D. Camotim // Thin-Walled Structures. 2013. № 71. P. 35–45.
44. Gonçalves, R. On the behavior of thin-walled steel regular polygonal tubular members [Текст] / R. Gonçalves, D. Camotim // Thin-Walled Structures. 2013. № 62. P. 191–205.
45. Avent, R. Elastic stability of polygon folded plate columns [Текст] / R. Avent, J. Robinson // Journal of the Structural Division, ASCE. 1976. № 102(5). P. 1015–1029.
46. Aoki, T. Local buckling strength of closed polygon folded section columns [Текст] / T. Aoki, Y. Migita, Y. Fukumoto // Journal of Constructional Steel Research. 1991. № 20(4). P. 259–270.
47. Ellobody, E. Nonlinear analysis of concrete-filled steel SHS and RHS columns [Текст] / E. Ellobody, B. Young // Thin-Walled Structures. 2006. № 44(8). P. 919–930.
48. Nonlinear analysis of axially loaded concrete-filled tube columns with confinement effect [Текст] / H. T. Hu, C. S. Huang, M. H. Wu [et al.] // J Struct. Eng. 2003. № 129(10). P. 1322–1329.
49. Nonlinear analysis of concrete-filled square stainless steel stub columns under axial compression [Текст] / Z. Tao, B. Uy, F. Y. Liao, L. H. Han // Construction Steel Researches. 2011. № 67(11). P. 1719–1732.
50. Dai, X. Numerical modelling of the axial compressive behavior of short concrete-filled elliptical steel columns [Текст] / X. Dai, D. Lam // Construction Steel Researches. 2010. № 66(4). P. 542–555.
51. Georgios, G. Axial capacity of circular concrete-filled tube columns [Текст] / G. Georgios, D. Lam // Journal of Constructional Steel Research. 2004. Vol. 60. P. 1049–1068.
52. Simulation and design recommendations of eccentrically loaded slender concrete-filled tubular columns [Текст] / J. M. Portoles, M. L. Romero, F. C. Filippou, J. L. Bonet // Engineering Structures. 2013. № 33(5). P. 1576–1593.
53. A unified formulation for circle and polygon concrete-filled steel tube columns under axial compression [Текст] / Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li // Engineering Structures. 2013. 49. P. 1–10.
54. A unified formulation for hollow and solid concrete-filled steel tube columns under axial compression bending or torsion. In: *Thin-Walled Structures*, 2013, № 73, p. 185–197.
43. Gonçalves, R.; Camotim, D. Elastic buckling of uniformly compressed thin-walled regular polygonal tubes. In: *Thin-Walled Structures*, 2013, № 71, p. 35–45.
44. Gonçalves, R.; Camotim, D. On the behavior of thin-walled steel regular polygonal tubular members. In: *Thin-Walled Structures*, 2013, № 62, p. 191–205.
45. Avent, R.; Robinson, J. Elastic stability of polygon folded plate columns. In: *Journal of the Structural Division, ASCE*, 1976, № 102(5), p. 1015–1029.
46. Aoki, T.; Migita, Y.; Fukumoto, Y. Local buckling strength of closed polygon folded section columns. In: *Journal of Constructional Steel Research*, 1991, № 20(4), p. 259–270.
47. Ellobody, E.; Young, B. Nonlinear analysis of concrete-filled steel SHS and RHS columns. In: *Thin-Walled Structures*, 2006, № 44(8), p. 919–930.
48. Hu, H. T.; Huang, C. S.; Wu, M. H. et al. Nonlinear analysis of axially loaded concrete-filled tube columns with confinement effect. In: *J Struct. Eng.*, 2003, № 129(10), p. 1322–1329.
49. Tao, Z.; Uy, B.; Liao, F.Y.; Han, L. H. Nonlinear analysis of concrete-filled square stainless steel stub columns under axial compression. In: *Construction Steel Researches*, 2011, № 67(11), p. 1719–1732.
50. Dai, X.; Lam, D. Numerical modelling of the axial compressive behavior of short concrete-filled elliptical steel columns. In: *Construction Steel Researches*, 2010, № 66(4), p. 542–555.
51. Georgios, G.; Lam, D. Axial capacity of circular concrete-filled tube columns. In: *Journal of Constructional Steel Research*, 2004, Vol. 60, p. 1049–1068.
52. Portoles, J. M.; Romero, M. L.; Filippou, F. C.; Bonet, J. L. Simulation and design recommendations of eccentrically loaded slender concrete-filled tubular columns. In: *Engineering Structures*, 2013, № 33(5), p. 1576–1593.
53. Min, Yu.; Xiaoxiong, Zha; Jianqiao, Ye.; Yuting, Li. A unified formulation for circle and polygon concrete-filled steel tube columns under axial compression. In: *Engineering Structures*, 2013, 49, p. 1–10.
54. Min, Yu.; Xiaoxiong, Zha; Jianqiao, Ye.; Chunyan, She. A unified formulation for hollow and solid concrete-filled steel tube columns under axial compression. In: *Engineering Structures*, 2010, Volume 32, Issue 4, p. 1046–1053.
55. Mander, J. B.; Priestley, J. N.; Park, R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. In: *Engineering Structures*, 1989, 116, p. 1804–1825.
56. Mander, J. B.; Priestley, J. N.; Park, R. Observed stress-strain behavior of confined concrete. In: *Engineering Structures*, 1988, 114, p. 1827–1849.
57. Bresler, B.; Bertero, V. V. Influences of High Strain Rate and Cyclic Loading on Behavior of Unconfined and Confined Concrete in Compression. In: *Second Canadian Conference on Earthquake Engineering, June 5–6, 1975, McMaster University : Proceedings / Canadian National Committee for Earthquake Engineering, McMaster University, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics.*

- [Текст] / Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Chunyan She. // Engineering Structures. 2010. Volume 32, Issue 4. P. 1046–1053.
55. Mander, J. B. Theoretical stress-strain model for confined concrete [Текст] / J. B. Mander, J. N. Priestley, R. Park // Engineering Structures. 1989. 116. P. 1804–1825.
56. Mander, J. B. Observed stress-strain behavior of confined concrete [Текст] / J. B. Mander, J. N. Priestley, R. Park // Engineering Structures. 1988. 114. P. 1827–1849.
57. Bresler, B. Influences of High Strain Rate and Cyclic Loading on Behavior of Unconfined and Confined Concrete in Compression [Текст] / B. Bresler, V. V. Bertero // Second Canadian Conference on Earthquake Engineering, June 5–6, 1975, McMaster University : Proceedings / Canadian National Committee for Earthquake Engineering, McMaster University, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics. – Hamilton, Ontario, Canada : McMaster University Bookstore, [1976?]. – P. 1–32.
58. Park, R. Ductility of square-confined concrete columns [Текст] / R. Park, M. J. Priestley, W. D. Gill // J. Struct. Div., ASCE. 1982. № 108(4). P. 929–950.
59. Popovics, S. A numerical approach to the complete stress-strain curves for concrete [Текст] / S. Popovics // Cement and Concrete Researches. 1973. № 3(5). P. 583–589.
- Hamilton, Ontario, Canada: McMaster University Bookstore, [1976?], p. 1–32.
58. Park, R.; Priestley, M. J.; Gill, W. D. Ductility of square-confined concrete columns. In: *J. Struct. Div., ASCE*, 1982, № 108(4), p. 929–950.
59. Popovics, S. A numerical approach to the complete stress-strain curves for concrete. In: *Cement and Concrete Researches*, 1973, № 3(5), p. 583–589.

Гаранжа Ігор Михайлович – к. т. н., доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих ґратчастих, багатограних листових і трубобетонних опор повітряних ліній електропередавання (ПЛ), створення нових конструктивних рішень опор ВЛ із застосуванням прогресивних технологій і матеріалів.

Сальвадор Іборра-Чорро – к. т. н., професор, завідувач відділенням «Будівельні конструкції» Вищої Політехнічної Школи Університету Аліканте. Наукові інтереси: надійність будівельних металевих та залізобетонних конструкцій; оптимізація методів проектування будівельних конструкцій.

Гаранжа Игорь Михайлович – к. т. н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение действительной работы металлических решетчатых, многогранных листовых и трубобетонных опор воздушных линий электропередачи (ВЛ), создание новых конструктивных решений опор ВЛ с применением прогрессивных технологий и материалов.

Сальвадор Иборра-Чорро – к. т. н., профессор, заведующий отделением «Строительные конструкции» Высшей Политехнической Школы Университета Аликанте. Научные интересы: надежность строительных металлических и железобетонных конструкций; оптимизация методов проектирования строительных конструкций.

Garanzha Igor – Ph.D. (Engineering), Associated Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of the valid work steel lattice, multifaceted and composite supports of overhead power transmission lines, creation of new constructive decisions of OPTL supports with application progressive technologies and materials.

Salvador Ivorra-Chorro – Ph.D. (Engineering), Professor; Head of Building Structures Department of High Polytechnical School, University of Alicante. Scientific interests: reliability of metal and reinforced concrete structures; optimization of structural design methods.