



(18)-0373-1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЁТА СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ОТЕЧЕСТВЕННЫМ МЕТОДИКАМ РАСЧЁТА И EUROCODE 4

**В. М. Анищенко¹, А. Н. Миронов², С. О. Титков³,
А. Н. Волчков⁴, Е. А. Миргородова⁵**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.*

*E-mail: ¹ovve.ne@mail.ru, ²andreyexp@mail.ru, ³titkvs@mail.ru,
⁴VoLckov56@List.ru, ⁵katrin_mirgorodova@mail.ru.*

Получена 08 февраля 2018; принята 23 марта 2018.

Анотация. В статье приведен сравнительный анализ расчёта сжато-изгибаемых трубобетонных (ТБ) элементов по отечественным методикам расчёта и европейскому нормативному документу Eurocode 4 «Проектирование сталежелезобетонных конструкций». Рассматривалось 16-этажное здание с рамным каркасом, размерами в плане 36×18 м и высотой 64 м. В качестве несущих элементов каркаса были применены трубобетонные колонны диаметром 720×14 мм и ригели двутаврового сечения 30Б1. Расчетные комбинации усилий в виде изгибающих моментов и продольных сил определялись по результатам расчета модели рамного каркаса здания в программном комплексе ЛИРА-САПР 2017. По результатам статического расчета рамы было подобрано поперечное сечение трубобетонной колонны по отечественным методикам расчета и произведен расчет несущей способности ТБ по Eurocode 4. В дальнейшем это позволило определить общую разницу в подходах и результатах расчета несущей способности ТБ по двум методикам расчета.

Ключевые слова: рамный каркас, жесткий рамный узел, продольная сила, изгибающий момент, трубобетонный элемент, расчетное сопротивление бетона в трубе, приведенная гибкость элемента, коэффициент продольного изгиба, несущая способность трубобетона на сжатие, расчетное значение несущей способности сталежелезобетонного сечения по изгибающему моменту в пластической стадии при полном объединении.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ СТИСНУТО- ЗГИНАЛЬНИХ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ВІТЧИЗНЯНИМИ МЕТОДИКАМИ РОЗРАХУНКУ ТА EUROCODE 4

**В. М. Аніщенко¹, А. М. Миронов², С. О. Тітков³,
А. М. Волчков⁴, К. О. Миргородова⁵**

*ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.*

*E-mail: ¹ovve.ne@mail.ru, ²andreyexp@mail.ru, ³titkvs@mail.ru,
⁴VoLckov56@List.ru, ⁵katrin_mirgorodova@mail.ru.*

Отримана 08 лютого 2018; прийнята 23 березня 2018.

Аннотація. У статті наведено порівняльний аналіз розрахунку стиснуто-згинальних трубобетонних (ТБ) елементів за вітчизняними методиками розрахунку та європейським нормативним документом Eurocode 4 «Проектування сталеалюмінієбетонних конструкцій». Розглядалась 16-поверхова будівля з рамним каркасом, розмірами в плані 36×18 м і висотою 64 м. За несучі елементи каркаса були застосовані трубобетонні колони діаметром 720×14 мм і ригелі двотаврового перерізу 30Б1. Розрахункові комбінації зусиль у вигляді згинальних моментів і поздовжніх сил визначалися за результатами розрахунку

моделі рамного каркаса будівлі у програмному комплексі ЛІРА-САПР 2017. За результатами статичного розрахунку рами було підібрано поперечний переріз труобетонної колони (ТБ) за вітчизняними методиками розрахунку та виконано розрахунок несучої здатності ТБ за Eurocode 4. Надалі це дозволило визначити загальну різницю в підходах і результатах розрахунку несучої здатності ТБ за двома методиками розрахунку.

Ключові слова: рамний каркас, жорсткий рамний вузол, поздовжня сила, згинальний момент, труобетонний елемент, розрахунковий опір бетону в трубі, наведена гнучкість елемента, коефіцієнт поздовжнього згину, несуча здатність труобетону на стискання, розрахункові значення несучої здатності сталезалізобетонного перерізу по згинальному моменту в пластичній стадії при повному об'єднанні.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION OF COMPRESSED-BENT PIPE-CONCRETE ELEMENTS ACCORDING TO DOMESTIC CALCULATION METHODS AND EUROCODE 4

Vladimir Anishchenkov¹, Andrei Myronov², Sergey Titkov³,
Alexander Volchikov⁴, Ekaterina Mirgorodova⁵

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: ¹ vove.ne@mail.ru, ² andreyexp@mail.ru, ³ titkvs@mail.ru,
⁴ VoLckov56@List.ru, ⁵ katrin_mirgorodova@mail.ru.*

Received 08 February 2018; accepted 23 March 2018.

Abstract. The article presents a comparative analysis of the calculation of compressed-bent pipe-concrete elements by domestic methods of calculation and the European normative document Eurocode 4 «Design of steel-concrete structures». It was considered a multi-storey 16-storey building with a frame frame, dimensions in terms of 36×18 m and a height of 64 M. As the supporting elements of the frame were used concrete columns with a diameter of 720×14 mm and crossbars I-section 30B1. The calculated combinations of forces in the form of bending moments and longitudinal forces were determined by the results of the calculation of the frame frame model of the building in the program complex LIRA-SAPR 2017. According to the results of static calculation of the frame, the cross-section of the pipe-concrete column (TB) was selected according to the domestic calculation methods and the calculation of the load-bearing capacity of TB by Eurocode 4. In the future, this allowed us to determine the overall difference in approaches and results of the calculation of the bearing capacity of TB by two calculation methods.

Keywords: frame frame, rigid frame Assembly, longitudinal force, bending moment, pipe-concrete element, calculated resistance of concrete in the pipe, reduced flexibility of the element, the coefficient of longitudinal bending, the bearing capacity of concrete compression, the calculated value of the bearing capacity of steel-concrete cross-section bending moment in the plastic stage with full integration.

Введение

Введение в практику проектирования Еврокодов предоставит возможность альтернативного выбора в применении проектировщиками строительных норм, разработанных на основе национальных технологических традиций и национальных стандартов, гармонизированных с Еврокодами. Сегодня проектировщик практически имеет возможность на основании введенного механизма осуществлять проектирование зда-

ний и сооружений I, II, III, IV категорий сложности с применением Еврокодов.

Вместе с тем еще много нужно сделать по разработке стандартов, поддерживающих Еврокоды, оснащению предприятий и испытательных лабораторий необходимым оборудованием и приборами, разработке пособий для проектирования по Еврокодам, разработке учебных программ для повышения квалификации проектировщиков и проведению обучения специалистов.

ГПНИИСК, как базовая организация по научно-технической деятельности, непосредственно занимается шестью Еврокодами, а именно: железобетонные конструкции, сталежелезобетонные конструкции, каменные конструкции, деревянные конструкции, геотехническое проектирование, проектирование сейсмостойких конструкций [1].

Анализ исследований

Для высотных зданий наиболее подходящей является каркасная или каркасно-ствольная несущая система. В данных системах изгибающие моменты, возникающие от горизонтальных нагрузок, воспринимаются преимущественно монолитными стволами или ядрами жесткости, а в каркасных системах вертикальными связевыми фермами или жесткими рамными узлами. Для многоэтажных высотных зданий ставятся вопросы создания эффективных конструкций высокой надежности и минимального веса [5].

Этим требованиям удовлетворяют строительные конструкции из ТБ. ТБ является комплексной конструкцией, состоящей из стальной оболочки и бетонного ядра, которые работают совместно. ТБ элементы, имеющие небольшую гибкость и малые эксцентриситеты приложения продольной силы (что характерно для вертикальных несущих элементов каркасов высотных зданий), обладают исключительно высокой несущей способностью при относительно малых поперечных сечениях, являясь примером удачного сочетания ценных свойств металла и бетона. Это дает существенную экономию стали и бетона, приводит к уменьшению размеров сечений элементов, их массы и транспортных затрат, а также сохранению всех достоинств металлических конструкций в плане монтажа [8].

Значительный вклад в развитие технологии и расчета ТБ конструкций внесли следующие ученые: А. А. Долженко, А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, А. Л. Кришан, М. Я. Бикбау, А. В. Курочкин, Л. И. Стороженко, А. В. Семко и др. Были установлены преимущества ТБ при возведении жилых и общественных зданий повышенной этажности. В развитие высотного домостроения существенный вклад внесли работы С. В. Николаева, Ю. Г. Граника, В. И. Травуша, А. И. Карпенко, В. А. Харитонова и др.

Основным моментом при возведении высотных зданий с учетом применения ТБ элементов является обеспечение совместной работы бетонного ядра и стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках, что является существенным конструктивным недостатком данных конструкций. Ввиду разности начальных коэффициентов поперечной деформации бетона и стали ($\nu_b \approx 0,18$, $\nu_s \approx 0,3$), в процессе постепенного нагружения, ядро и обойма работают совместно только в начальный период загрузки. Затем из-за указанной разницы в деформационных свойствах и низкой прочности сцепления бетона со сталью внешняя оболочка стремится оторваться от поверхности бетона, способствуя возникновению в нем радиальных растягивающих напряжений, что приводит к нарушению сцепления. В этот момент, естественно, никакого поперечного обжатия бетона в трубе происходить не может и бетон работает в условиях одноосного сжатия, а труба – как продольная арматура. В связи с данным недостатком не решен вопрос моделирования ТБ элемента в простых вычислительных комплексах (SCAD, Лира и т. п.), учитывающий в комплексе свойства материалов [6], [7].

Широкому применению ТБ конструкций в России и Украине препятствует отсутствие отечественных нормативных документов по их расчету и проектированию.

Хотя прочность ТБ изучалась многими исследователями на протяжении десятков лет, существующие методы расчета существенно отличаются друг от друга. В них не учитываются или учитываются не в комплексе свойства материалов, неполно отражаются основные особенности и специфика сопротивления трубобетона деформированию в зависимости от характера действующей нагрузки [10–12].

Основная часть

1. Объект исследования

В данной статье рассматривается многоэтажное здание в осях А–Д; 1–3 и размерами в плане 36×18 м (рис. 1).

Конструкция каркаса здания имеет рамную систему. В качестве несущих конструкций применялись ТБ колонны, на которые опираются ригели двутаврового сечения с жесткими узлами

примыкания. Здание 16-этажное с общей высотой 64 м, высота каждого этажа составляет 4,0 м (рис. 2). Расчёт модели производился на следующие нагрузки: постоянные, полезная на конструкции перекрытий, снеговая на покрытие, ветровая.

Расчетной моделью являлась плоская многоэтажная 4-пролетная рама с жестким примыканием ригелей к колоннам. Моделирование и расчет рамы производился в программном комплексе ПК ЛИРА-САПР 2017 при упругой работе материалов. По результатам расчёта в ПК ЛИРА-САПР 2017 было получено распределение продольных сил и изгибающих моментов в элементах рамы (рис. 3).

Расчетные усилия в заделке наиболее нагруженной средней колонны от расчетных значений нагрузок приведены в таблице 1. Расчетные сочетания усилий в сечении заделки средней колонны приведены в таблице 2.

2. Основные положения отечественной методики расчёта ТБ. Методика расчёта ТБ, разработанная Полтавским национальным техническим университетом им. Кондратюка [1]

Работа ТБ конструкций под действием нагрузок значительно отличается от работы стальных и железобетонных конструкций (рис. 4). Это

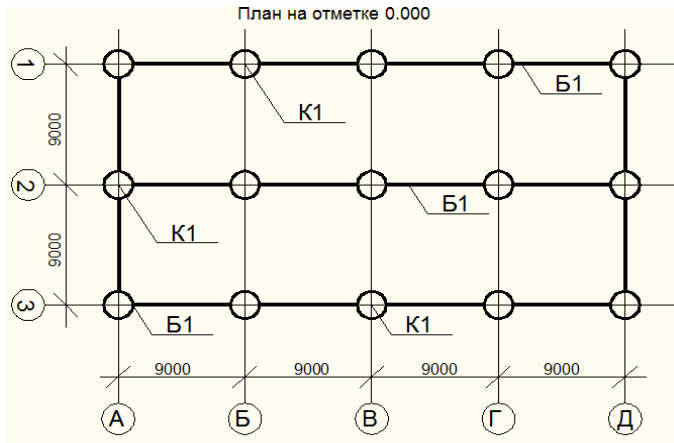


Рисунок 1. План здания в осях 1-3; А-Д.

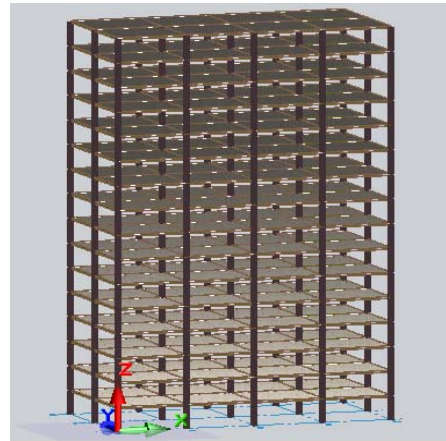


Рисунок 2. Модель каркаса исследуемого здания.

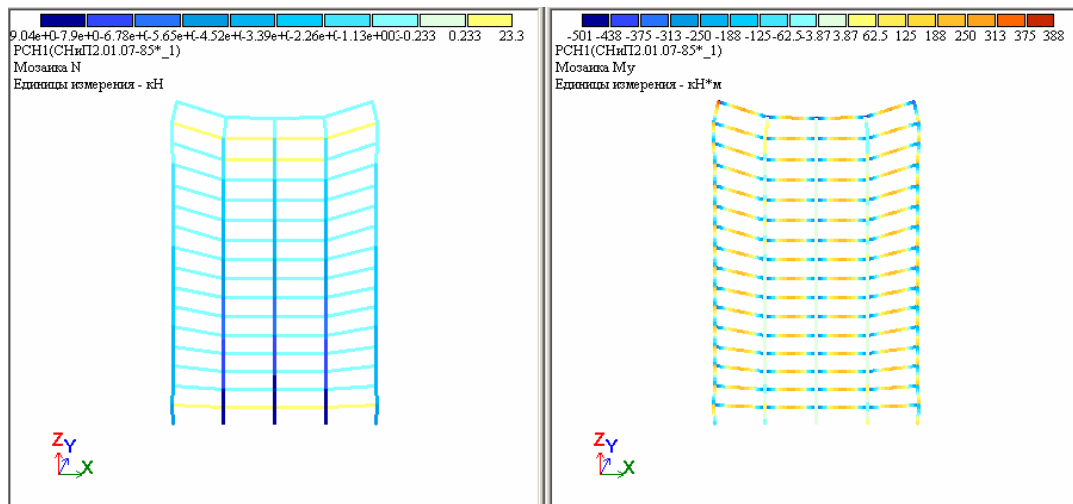


Рисунок 3. Цветовое распределение расчетных усилий в элементах рамы от расчетных значений нагрузок в ПК ЛИРА-САПР 2017.

Таблица 1. Расчетные значения усилий в заделке наиболее напряженной средней колонны

№п/п	Наименование нагрузки	Расчетные усилия	
		Изгибающий момент, М, кН·м	Продольная сила, N, кН
1.	Постоянная	389	-8 700,0
2.	Полезная при загрузении всех пролетов и этажей расчетной модели	487	209,0
3.	Снеговая	104	138,6
4.	Ветровая	413	756,9

Таблица 2. Определение расчетных сочетаний усилий

РСН1: $\sum q_n + S^{0,9} + W^{0,9}$	
Изгибающий момент, М, кН·м	Продольная сила, N, кН
1 393 кН·м (1+2+3+4)	-9 033 кН (1+2+3+4)

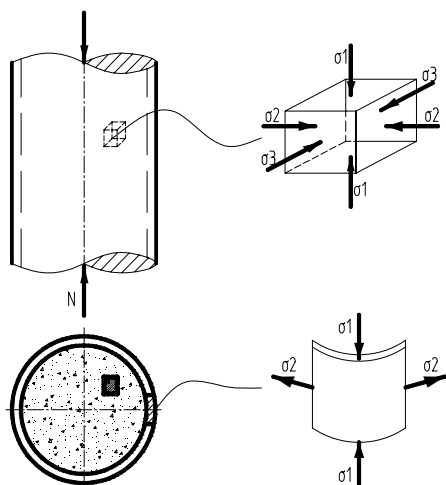


Рисунок 4. Работа составляющих ТБ элементов под действием сжимающих усилий.

объясняется тем, что сталь и бетон в ТБ конструкции находятся в условиях объемного напряженно-деформированного состояния (НДС), что дает возможность получить экономию материалов.

Для оценки эффективности работы ТБ элемента обычно используют два коэффициента:

- коэффициент эффективности работы бетонного ядра

$$\eta = \frac{\sigma_b}{R_b},$$

где R_b – призматическая прочность бетона;
 σ_b – продольные напряжения в бетоне в момент достижения элементом предельного состояния по прочности:

$$\sigma_b = \frac{N - R_s \cdot A_s}{A_b};$$

A_s и A_b – соответственно площади сечений стальной трубы и бетонного ядра;

N – несущая способность ТБ элемента;

- коэффициент эффективности работы ТБ элемента, равный отношению несущей способности ТБ к несущей способности ядра и оболочки, определенных независимо:

$$m = \frac{N}{R_b \cdot A_b + R_s \cdot A_s}.$$

В результате экспериментальных исследований доказано, что коэффициенты η и m зависят от толщины стенки трубы и прочности бетона. Коэффициент η находится в пределах 1,5–3,0, а коэффициент m – в пределах 1,3–2,0. Таким образом, ТБ имеет в полтора–два раза большую несущую способность по сравнению с железобетонном при одинаковых затратах бетона и стали.

Экспериментальные исследования показывают, что под нагрузкой ТБ элементы разрушаются по-разному в зависимости от прочности бетона. В трубах, заполненных бетоном обычной прочности, после достижения продольными относительными деформациями значений $\varepsilon = (2,4 - 3,0) \cdot 10^{-3}$

деформации продолжают интенсивно нарастать при незначительном увеличении нагрузки – происходит процесс текучести. В элементах, заполненных высокопрочным бетоном, нагрузки увеличиваются вплоть до достижения продольными деформациями значений $\varepsilon = (4,5 - 5,0) \cdot 10^{-3}$, после чего происходит хрупкое разрушение. Процесс текучести при этом полностью отсутствует [10], [11].

По приросту продольных и поперечных деформаций ε определены коэффициенты поперечной деформации ТБ ν , которые достигают значений 0,5–0,6. Анализ закономерности увеличения этого коэффициента говорит о наличии бокового давления между трубой и бетоном и развитием микротрещин в бетоне с увеличением нагрузки. Благодаря численным исследованиям раскрыта сущность работы ТБ под нагрузкой. С достижением предела текучести рост продольных деформаций в трубе-оболочке практически прекращается. Поперечные деформации в трубе в начальный период нагружения увеличиваются незначительно. В поперечном направлении в начальной стадии нагружения обжатие бетона незначительно, однако с увеличением нагрузки оно резко увеличивается. Боковое давление на бетон создает объемное напряженное состояние, которое препятствует расширению бетона и развитию микротрещин – этим объясняются положительные свойства ТБ, связанные с его высокой несущей способностью и высокой деформативностью. Сложное напряженное состояние бетонного ядра препятствует появлению трещин. Благодаря боковому обжатию бетона процесс его деформирования без нарушения целостности может продолжаться до стадии перехода бетона в псевдопластическое состояние [13, 15].

Несущая способность ТБ зависит от способа приложения нагрузки. Элементы, в которых нагрузка приложена на комплексное сечение или только на бетон, имеют приблизительно одинаковую несущую способность, а элементы, в которых нагрузка приложена только к трубе, имеют значительно меньшую несущую способность.

Существует три вида разрушения ТБ при сжатии. Элементы со значительной толщиной стенки (соотношение толщины стенки трубы к ее диаметру $t/d > 0,03$) характеризуется достижением значительных продольных деформаций

и возникновением кольцевых складок в трубе-оболочке. В элементах, имеющих меньшую толщину стенки, в предельном состоянии по прочности наблюдается появление продольных трещин в трубе-оболочке. В трубах, заполненных высокопрочным бетоном, наблюдается разрушение бетонного ядра от сдвига верхней части относительно нижней под углом примерно в 60° .

При внецентренном сжатии деформации в растянутой зоне трубы растут значительно медленнее, чем в сжатой, что объясняется активной работой сжатого бетона. С увеличением эксцентриситета эффективность работы ТБ значительно уменьшается.

Предельным состоянием по прочности для ТБ элемента принято считать таким, при котором продольные деформации в трубе-оболочке достигают предела текучести. Продольные напряжения в бетонном ядре в это время превышают призмную прочность [19, 20].

Инженерная методика расчета ТБ, предложенная в [1] и [2], предполагает следующий алгоритм расчета:

1. Задаются классом бетона и маркой стали трубы.
2. Определяют оптимальное значение коэффициента армирования ТБ μ_{pb} .
3. Определяют расчетное сопротивление бетона в трубе.
4. Определяется уравнение для определения диаметра бетонного ядра по коэффициенту продольного изгиба φ :

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

где B – значение класса бетона на прочность при сжатии;

$\mu_{pb} = (D/d)^2 - 1$ – коэффициент армирования трубобетона;

D – внешний диаметр стальной трубы;

d – внутренний диаметр трубы (диаметр бетонного ядра);

β – коэффициент, зависящий от класса бетона на прочность при сжатии,

$$d = \sqrt{\frac{1,273 \cdot N}{\varphi \cdot \gamma_{bs} \cdot (R_b^* + \gamma_{s2} \cdot \mu_{pb} \cdot R_y)}} = \sqrt{\frac{K_1}{\varphi}}. \quad (2)$$

5. Определяется приведенная гибкость элемента:

$$\lambda_{red} = \frac{2 \cdot l_p}{d \cdot \sqrt{0,5 - \frac{0,25}{1 + \mu_{pb} \cdot \frac{\psi}{\chi}}}} = \frac{K_2}{d}, \quad (3)$$

где $l_p = \mu \cdot l_{geom}$ – расчетная длина элемента;

$N_{red} = \gamma_{bs} \cdot (R_b^* \cdot A_b + \gamma_{s2} \cdot R_y \cdot A_{st})$ – несущая способность трубобетонного элемента при центральном сжатии;

$\gamma_{bs} = 1,1$ – коэффициент условий работы бетона и трубы;

R_b^* – расчетное сопротивление бетона сжатию в трубобетоне;

A_b – площадь сечения бетонного ядра;

$\gamma_{s2} = 0,9$ – коэффициент условий работы стали трубы, учитывающий снижение расчетного сопротивления стали при сложном напряженном состоянии;

R_y – расчетное сопротивление стали трубы;

A_{st} – площадь сечения стальной трубы.

6. С учетом системы двух уравнений методом последовательных приближений (итераций) определяется диаметр бетонного ядра d :

$$\begin{cases} d = \sqrt{\frac{K_1}{\varphi}} \\ d = \frac{K_2}{\lambda_{red}} \end{cases} \quad (4)$$

7. Определяется относительный эксцентриситет:

$$e_{red} = \frac{2 \cdot e_0}{d \cdot \sqrt{0,5 - \frac{0,25}{1 + \mu_{pb} \cdot \frac{\psi}{\chi}}}}, \quad (5)$$

где $e_0 = M / N + e_{случ}$ или $e_0 = M / N$ – эксцентриситет продольного усилия N относительно центра тяжести сечения;

M – расчетный изгибающий момент в элементе;

$d = D - 2 \cdot t$ – внутренний диаметр трубы (диаметр бетонного ядра);

$\mu_{pb} = (D/d)^2 - 1$ – коэффициент армирования трубобетона;

ψ и χ – коэффициенты, учитывающие соотношение механических характеристик бетона и стали в предельном состоянии.

8. Если $e_{red} \leq 0,1$, тогда несущая способность элемента проверяется по формуле:

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

где φ – коэффициент продольного изгиба, полученный из системы уравнений п. 4.

9. Если $e_{red} > 0,1$, тогда несущая способность элемента проверяется по формуле:

$$N \leq N_{stb} = \varphi_e \cdot \gamma_{bs} \cdot (R_b^* \cdot A_b + \gamma_{s2} \cdot R_y \cdot A_{st}).$$

10. Несущая способность элемента проверяется по формуле:

$$N \leq N_{stb} = \varphi_e \cdot \gamma_{bs} \cdot (R_b^* \cdot A_b + \gamma_{s2} \cdot R_y \cdot A_{st}) \quad (6)$$

3. Основные положения расчёта ТБ по Еврокод 4 «Проектирование сталежелезобетонных конструкций» [3]

В соответствии с [4] задача расчета ТБ элемента сводится к определению несущей способности сталежелезобетонного поперечного сечения на сжатие в пластической стадии $N_{pl,Rd}$:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + 0,85 A_c f_{cd} + A_s f_{sd}, \quad (7)$$

A_a – площадь поперечного сечения стального элемента;

A_c – площадь поперечного сечения бетона;

A_s – площадь поперечного сечения арматуры;

f_{yd} – расчетное значение предела текучести конструкционной стали;

f_{cd} – расчетное значение цилиндрической прочности бетона на сжатие;

f_{sd} – расчетное значение предела текучести арматурной стали.

При расчете заполненных бетоном труб круглого сечения может быть учтено упрочнение бетона вследствие его обжатия стальной трубой при условии, что условная гибкость λ не превышает 0,5 и $e/d < 0,1$, где e – эксцентриситет приложения нагрузки, определяемый из отношения M_{Ed}/N_{Ed} , а d – наружный диаметр колонны. Несущую способность на сжатие в пластической стадии можно определить по следующей формуле:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} (1 + \eta_c \frac{t}{d} \cdot \frac{f_y}{f_{ck}}) + A_s f_{sd}, \quad (8)$$

где t – толщина стенки стальной трубы.

При отсутствии эксцентриситета значения ($e = 0$) $\eta_a = \eta_{a0}$ и $\eta_c = \eta_{c0}$ следует определять по формулам:

$$\eta_{ao} = 0,25(3 + \lambda), \quad (9)$$

$$\eta_{co} = 4,9 - (18,5\lambda + 17\lambda^2). \quad (10)$$

При совместном действии сжатия с изгибом при $0 < e/d \leq 0,1$ значения η_a и η_c следует определять по (11) и (12), где η_{ao} и η_{co} определяются по (9) и (10).

$$\eta_a = \eta_{ao} + (1 - \eta_{ao}) \cdot (10e/d), \quad (11)$$

$$\eta_c = \eta_{co} (1 - 10e/d). \quad (12)$$

При $e/d > 0,1$, $\eta_a = 1,0$ и $\eta_c = 0$.

Условную гибкость λ для рассматриваемой плоскости изгиба следует определять по формуле:

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{cr}}}, \quad (13)$$

где $N_{pl,Rd}$ — характеристическое значение несущей способности на сжатие в пластической стадии, принимаемое по (7), но вместо расчетных значений сопротивлений используют их характеристические значения;

N_{cr} — упругая критическая осевая сила для соответствующей формы потери устойчивости, вычисляемая с использованием эффективной изгибной жесткости $(EI)_{eff}$.

Для определения приведенной гибкости λ и упругой критической силы N_{cr} , характеристическое значение эффективной изгибной жесткости $(EI)_{eff}$ поперечного сечения сталежелезобетонной колонны следует вычислять по формуле:

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + E_s I_s + K_e E_{cm} I_c, \quad (14)$$

где K_e — поправочный коэффициент, который следует принимать равным 0,6;

I_a, I_c и I_s — соответственно моменты инерции стального сечения, бетонного сечения без трещин и арматуры для рассматриваемой плоскости изгиба.

$$N_{cr} = \sqrt{\frac{\pi^2 EI_{eff}}{\mu^2 L^2}}. \quad (15)$$

Должно выполняться следующее неравенство, базирующееся на кривой взаимодействия, определяемой в соответствии с:

$$\frac{M_{Ed}}{N_{pl,N,Rd}} = \frac{M_{Ed}}{\mu_d M_{pl,Rd}}, \quad (16)$$

где M_{Ed} — наибольшее из значений из концевых моментов и максимального изгибающего момента по длине колонны, учитывая, при необходимости, несовершенства и эффекты второго порядка;

$M_{pl,N,Rd}$ — несущая способность по изгибающему моменту в пластической стадии с учетом продольной силы N_{Ed} , определяемой по $\mu_d M_{pl,Rd}$ (рис. 5);

$M_{pl,Rd}$ — несущая способность по изгибающему моменту в пластической стадии, представленная точкой В на графике рисунка 6.

На рисунке 5:

$N_{pm,Rd}$ — расчетное значение несущей способности бетона по осевой сжимающей силе;

$M_{pl,Rd}$ — расчетное значение несущей способности сталежелезобетонного сечения по изгибающему моменту в пластической стадии при полном объединении;

$M_{max,Rd}$ — максимальное расчетное значение несущей способности по изгибающему мо-

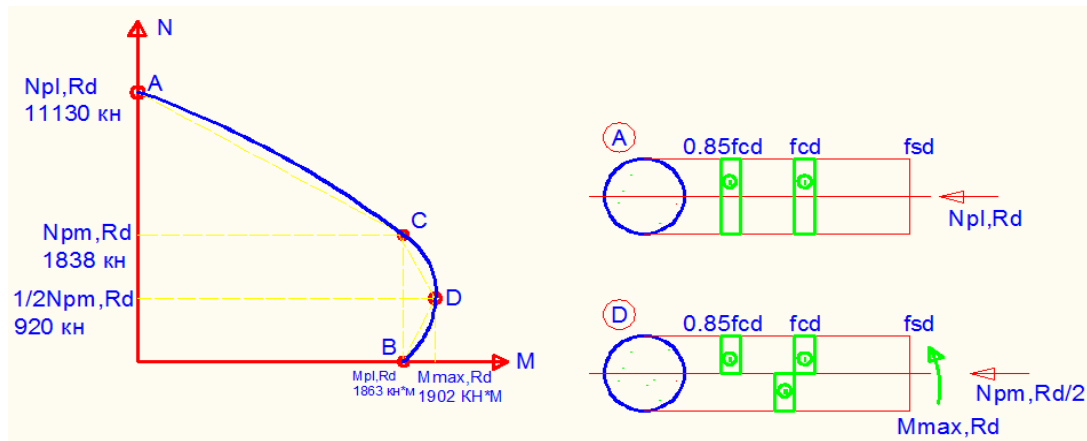


Рисунок 5. Упрощенная кривая взаимодействия и соответствующие распределения напряжений.

менту при наличии продольной сжимающей силы.

На рисунке 6:

$M_{pl,N,Rd}$ – расчетное значение несущей способности сталежелезобетонного сечения по изгибающему моменту в пластической стадии с учетом продольной сжимающей силы;

$M_{pl,Rd}$ – расчетное значение несущей способности сталежелезобетонного сечения по изгибающему моменту в пластической стадии при полном объединении;

N_{Ed} – расчетное значение продольного сжимающего усилия;

$N_{pl,Rd}$ – расчетное значение несущей способности сталежелезобетонного сечения по осевой сжимающей силе в пластической стадии.

Расчетное значение несущей способности бетона по осевой сжимающей силе определяется по формуле;

$$N_{pm,Rd} = 0,85 f_{cd} f_{sd}, \quad (17)$$

$$1/2 N_{pm,Rd} = \frac{N_{pm,Rd}}{2}. \quad (18)$$

Максимальное расчетное значение несущей способности по изгибающему моменту при наличии продольной сжимающей силы определяется по формуле.

$$M_{max,Rd} = M_{st} + M_{bet}, \quad (19)$$

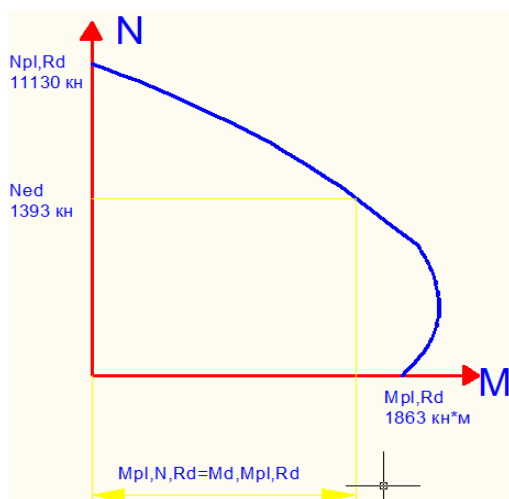


Рисунок 6. Кривая взаимодействия при совместном действии сжатия и плоского изгиба.

где M_{st} – максимальное расчетное значение несущей способности стали;

M_{bet} – максимальное расчетное значение несущей способности бетона.

Заключение

Переход на нормы Eurocode в области проектирования строительных конструкций позволит обеспечить единый подход к проектированию, не отличающийся от принятого в странах – членах ЕС.

Ввиду различий между нормативными базами, работа с Eurocode требует несколько иного подхода. Eurocode и действующие отечественные нормы проектирования по-разному учитывают нагрузки на конструкцию. Отличается подход к определению аварийных воздействий, расчету ветровой и снеговой нагрузки, учету собственного веса конструкции и нагрузки от перекрытия, что требует регулирования как на уровне национальных приложений, так и путем разработки соответствующих методик.

Система коэффициентов в документах Eurocode является гораздо более сложной, чем в отечественных нормах проектирования, а также требует одновременной работы с сопутствующими частями Eurocode. Расчет, выполненный по действующим нормам и Eurocode, не обеспечивает одинаковые показатели надежности конструкций. Для рассмотренного вертикального ТБ элемента при одних и тех же исходных данных параметры НДС, рассчитанных по Eurocode 4, имеют заниженные значения по сравнению с действующими нормами Украины. Различие в методиках расчета составляет до 5%.

По отечественным нормам проектирования недонапряжение поперечного ТБ сечения составляет:

$$\Delta = \frac{N - N_{stb}}{N_{stb}} \cdot 100\% = \frac{10167 - 8809}{10167} \cdot 100\% = 12,4\%,$$

а по Eurocode 4:

$$\Delta = \frac{M_{ED}}{M_{pl,RD}} \cdot 100\% = \frac{1393}{1868} = 0,75 \leq \alpha_m = 0,9;$$

$$\Delta = \frac{0,9 - 0,75}{0,9} \cdot 100\% = 16,7\%.$$

Литература

1. Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – М. : Стройиздат, 1974. – 145 с.
2. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 201 с.
3. Клименко, Ф. Є. Металеві конструкції : підручник / Ф. Є. Клименко, В. М. Барабаш, Л. І. Сторожено; за ред. Ф. Є. Клименка. – 2-ге видання, випр. і доп. – Львів : Світ, 2002. – 312 с.
4. Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий ТКП (EN1994-1-1-2009). – 107 с.
5. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий (EN 1992-1-1:2004+AC:2008, IDT). – 205 с.
6. Берг, О. Я. Исследование неупругих деформаций и структурных изменений высокопрочного бетона при длительном действии сжимающих напряжений / О. Я. Берг, А. И. Рожков // Тр. ЦНИИС. – 1969. Вып. 70. С. 11–18.
7. Скворцов, Н. Ф. Прочность сталетрубобетона : дисс. ... докт. техн. наук / Н. Ф. Скворцов. – М., 1953. – 453 с.
8. Нестерович, А. П. Прочность трубобетонных элементов диаметром 500 мм и более при осевом сжатии : дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А. П. Нестерович. – М., 1987. – 236 с.
9. Mills, L. L. Compressive strength of plain concrete under multi-axial loading conditions / L. L. Mills, R. M. Zimmerman // Journal of ACI. 1970. Issue 10. P. 802–807.
10. Долженко, А. А. Трубобетонные конструкции на строительстве производственного здания / А. А. Долженко // Промышленное строительство. 1965. № 6. С. 23–26.
11. Воскобийник, О. П. Особливості роботи трубобетонних стійок з корозійними пошкодженнями сталеві оболонки / О. П. Воскобийник, І. О. Пархоменко, Я. В. Томілін // Галузеве машинобудування, будівництво : зб. наук. праць. 2011. № 1 (29). С. 93–98.
12. Семко, О. В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій : монографія / О. В. Семко. – Київ : Сталь, 2004. – 316 с.
13. Римшин, В. И. Механика деформирования и разрушения усиленных железобетонных конструкций / В. И. Римшин, Ю. О. Кустикова // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 3 (15). С. 53–56.
14. Горев, В. Металлические конструкции : в 3 т. Т. 1. Элементы конструкций : учеб. для строит. вузов / В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филиппов – М. : Высшая школа, 2004. – 551 с.

References

1. Kikin, A. I.; Sanzharovsky, R. S.; Trull V. A. Designs from steel pipes filled with concrete. Moscow: Stroizdat, 1974. 145 p.
2. DBN V.2.6-163:2010. Building structures and structures. Steel constructions. Design, manufacturing and installation standards. Kyiv: Ukraine Ministry of Construction, 2010. 201 p.
3. Klimenko, F. Ye.; Barabash, V. M.; Storozhenko, L. I. Metal constructions: a textbook. 2nd ed. Lviv: Svit, 2002. 312 p.
4. EN1994-1-1-2009. Eurocode 4. Design of reinforced concrete structures. Part 1–1. General rules and rules for buildings. 107 p.
5. EN 1992-1-1:2004+AC:2008, IDT. Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1–1. General rules and rules for buildings. 205 p.
6. Berg, O. Ya; Rozhkov, A. I. Investigation of inelastic deformations and structural changes in high-strength concrete under long-term action of compressive stresses. In: *Scientific works of the Research Institute of Construction*, 1969, Issue 70, pp. 11–18.
7. Skvortsov, N. F. Strength of steel-concrete concrete: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Doctor of Engineering. Moscow, 1953. 453 p.
8. Nesterovich, A. P. Strength of pipe-concrete elements 500 mm in diameter and larger with axial compression: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Ph.D. (Engineering). Moscow, 1987. 236 p.
9. Mills, L. L.; Zimmerman, R. M. Compressive strength of plain concrete under multi-axial loading conditions. In: *Journal of ACI*, 1970, Issue 10, pp. 802–807.
10. Dolzhenko, A. A. Tube-concrete structures in the construction of a production building. In: *Industrial Engineering*, 1965, No. 6, pp. 23–26.
11. Voskobyinyk, O. P.; Parkhomenko, I. O.; Tomilin, Ya. V. Peculiarities of work of concrete concrete stalls with corrosion damage of steel shell. In: *Collections of scientific works «Sector engineering, construction»*, 2011, No. 1(29), pp. 93–98.
12. Semko, O. V. Critical Aspects of Calculation of Steel-Concrete Structures: Monograph. Kiyiv: Stal, 2004. 316 p.
13. Rimshin, V. I.; Kustikova Yu. O. Mechanics of deformation and destruction of reinforced concrete structures. In: *News of Orel State Technical University. Series: Construction and Transport*. 2007. No. 3(15), pp. 53–56.
14. Gorev, V. V.; Uvarov, B. Yu.; Filippov V. V. Metal structures: in 3 vol. Vol. 1. Elements of structures. Textbook for builds. universities. Moscow: Vishaya shkola, 2004. 551 p.
15. Shuler, V. High-rise buildings. Moscow: Stroizdat, 1979. 248 p. DG 2 1.8.
16. Gardner, N. J.; Jacobson E. R. Structural behavior of concrete filled steel tubes. In: *Journal of ACI*, 1967, Vol. 64, Issue 7, pp. 404–413.

15. Шуллер, В. Конструкции высотных зданий / В. Шуллер. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с. – ДГ 2 1.8.
16. Gardner, N. J. Structural behavior of concrete filled steel tubes / N. J. Gardner, E. R. Jacobson // Journal of ACI. 1967. Vol. 64. Issue 7. P. 404–413.
17. Boyd, P. F. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading / P. F. Boyd, W. F. Cofer, D. I. McLean // Journal of ACI. 1995. Vol. 92. №3. P. 353–364.
18. Chah, S. P. Effect of confinement on the ductility of lightweight concrete / S. P. Chah, A. E. Naamam, I. Moreno // Inter. Journal of Cement Composite a Lightweight Concrete. 1983. Vol. 5. Issue 1. P. 15–25.
19. Sheikh S. A. Analitical model model for concrete confinement in tied columns / S. A. Sheikh, S. M. Urumeri // Journal of the Structural Division. 1982. Vol. 108. Issue 12. P. 2707–2722.
17. Boyd, P. F.; Cofer, W. F.; McLean D. I. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading. In: *Journal of ACI*, 1995, Vol. 92, No. 3, pp. 353–364.
18. Chah, S. P.; Naamam, A. E.; Moreno I. Effect of confinement on the ductility of lightweight concrete. In: *Inter. Journal of Cement Composite a Lightweight Concrete*, 1983, Vol. 5, Issue 1, pp. 15–25.
19. Sheikh S. A.; Urumeri S. M. Analitical model model for concrete confinement in tied columns. In: *Journal of the Structural Division*, 1982, Vol. 108, Issue 12, pp. 2707–2722.

Анищенко Владимир Михайлович – ассистент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: прочность и деформативность рамных узлов со стойками из трубобетона и ригелями двутаврового сечения.

Мионов Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнutosварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций, в том числе трубобетонных конструкций.

Титков Сергей Олегович – ассистент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: возведение и реконструкция промышленных сооружений.

Волчков Александр Николаевич – старший преподаватель кафедры автоматизации и электроснабжения в строительстве ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование тензометрии для определения напряжённого состояния строительных конструкций.

Миргородова Екатерина Александровна – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: особенности определения параметров трубобетонного опорного контура мембранных покрытий.

Аніщенко Володимир Михайлович – асистент кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: міцність і деформативність рамних вузлів зі стійками з трубобетону і ригелями двотаврового перетину.

Мионов Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомлена міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широкополочкових двотаврів та гнutosварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталежелезобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

Тітков Сергій Олегович – аспірант кафедри технології і організації будівництва ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: зведення і реконструкція промислових споруд.

Волчков Олександр Миколайович – старший викладач кафедри автоматизації та електропостачання в будівництві ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання тензометрії для визначення напруженого стану будівельних конструкцій.

Миргородова Катерина Олександрівна – магістрант кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: особливості визначення параметрів трубобетонного опорного контуру мембранних покриттів.

Anishchenkov Vladimir – assistant, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: strength and deformation of frame units with columns from pipe-concrete and I-beam crossbars.

Mironov Andrei – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fatigue strength of metal structures, concentration of stresses in the nodes of trusses with the use of wide-flanges I-beams and roll-welded closed profiles, stress-strain state of composite structures including pipe-concrete structures..

Titkov Sergey – postgraduate, Construction Engineering and Management Department, Donbas National Academy of Construction and Architecture. Scientific interests: erection and reconstruction of industrial facilities.

Volchikov Alexander – senior lecturer, Department of Automation and Power Supply in Construction, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of strain gauges to determine the stress state of building structures.

Mirgorodova Ekaterina – master's student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: features of the definition of the parameters of the pipe-concrete support contour of membrane coatings.