

УДК 693.54
ББК 38.33
Р 34

Резван Игорь Васильевич, аспирант ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»;

Маилян Дмитрий Рафаэлович, профессор кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»;

Блягоз Алик Моссович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин технологического факультета Майкопского государственного технологического университета, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ СЕЧЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТОГО ТРУБОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА (рецензирована)

В статье рассматриваются вопросы, связанные с определением предела несущей способности трубобетона при различном уровне нагружения оболочки в продольном направлении, зависимости уровня использования обоямы в продольном направлении от соотношения прочностного и масштабного факторов.

Ключевые слова: сечение трубобетонной колонны, коэффициент упрочнения бетона, предел прочности трубобетонного элемента, несущая способность.

Rezvan Igor Vasylyevich, post graduate student of FSBEI HPE "Rostov State Construction University";

Mailyan Dmitry Rafaelovich, professor of the Department of Metal -concrete Structures of FSBEI HPE "Rostov State University of Civil Engineering";

Blyagoz Alec Mossovich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Construction and General Professional Disciplines of the Technological Faculty of Maikop State Technological University, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

OPTIMIZATION TECHNIQUES OF THE CUTTING OF CENTRAL PRESSED TUBE-CONCRETE ELEMENT (reviewed)

The article discusses issues related to the definition of the limit of load capacity of tube-concrete at different levels of loading the shell in the longitudinal direction, dependence of the level of use of cages in the longitudinal direction on the relation of the strength and scale factors.

Keywords: tube-concrete column cutting, the coefficient of concrete hardening, strength limit of the tube-concrete element, bearing capacity.

Применение трубобетона при проектировании сжатых конструкций позволяет уменьшить размер сечения элемента по сравнению с железобетонным, одновременно повысив экономическую эффективность конструкций. Это особенно актуально для сильно нагруженных вертикальных несущих элементов нижних этажей многоэтажных

зданий, большинство из которых работают как короткие и центрально-сжатые. Сечение таких элементов, запроектированных из железобетона зачастую понижает эффективность использования площади этажа. Так, одним из наиболее ярких примеров является проектирование нескольких этажей подземной парковки под высотным зданием, когда при достаточно густой сетке колонн $b \times b_m - 8 \times 8 \text{ м}$ использование колонн большого диаметра приводит к ощутимому сокращению количества парковочных мест.

Многие ученые отмечают увеличение несущей способности коротких центрально сжатых трубобетонных элементов по сравнению с железобетонными аналогами до 35% и более. При этом общий коэффициент упрочнения не является постоянной величиной, а зависит от многих параметров, таких как:

R_b, r_b – предел цилиндрической прочности и радиус бетонного ядра;

R_c, t – предел текучести и толщина стенки трубы,

удобно группируемых в масштабный

$$m = \frac{r_b}{t} \quad (1)$$

и прочностной

$$p = \frac{R_c}{R_b} \quad (2)$$

факторы, которые в свою очередь определяют коэффициент жесткости обоймы:

$$j = \frac{p}{m}. \quad (3)$$

Наиболее адекватные современные зависимости для расчета несущей способности центрально-сжатых трубобетонных элементов можно представить в обобщенном виде:

$$N = cR_b A_b + \alpha R_c A_c, \quad (4)$$

где

A_b - площадь сечения бетонного ядра;

A_c - площадь сечения стальной оболочки;

$c = \frac{R_{b,3}}{R_b}$ - коэффициент, повышающий прочность, достигаемую бетонным ядром

в условиях объемного сжатия по сравнению с его призмочной прочностью;

α - понижающий коэффициент, учитывающий перераспределение напряжений в стальной оболочке, вследствие ее распора бетонным ядром.

Экспериментальные данные, полученные автором в РГСУ при испытании образцов с оболочкой, рассеченной на отдельные кольца, расположенные с минимальным зазором, не допускающим передачу продольных усилий позволили получить зависимость для определения коэффициента упрочнения бетона:

$$c = 1 + \frac{5,0\sigma_0}{R_b} - 1,25\left(\frac{\sigma_0}{R_b}\right)^2, \quad (5)$$

где σ_0 - радиальные напряжения обжатия бетонного ядра, возникающие как реакция стальной оболочки на распор, вызываемый сжатием бетона в продольном направлении.

Установив связь между продольными, радиальными и тангенциальными компонентами напряжений в стальной оболочке через уравнение Генки-Мизеса для тонкостенного стального цилиндра и выразив радиальные напряжения через предел текучести стали, запишем (4) в следующем виде:

$$N = \left(1 + \frac{5\beta R_c}{m R_b} - 1,25\left(\frac{\beta R_c}{m R_b}\right)^2\right) R_b A_b + \alpha R_c A_c, \quad (6)$$

где

$$\beta = \frac{\sigma_\tau}{R_c}, \quad (7)$$

$$\sigma_\tau = \sigma_0 m, \quad (8)$$

$$\alpha = 1 - 0,6\beta - 0,4\beta^2, m \in [5; 25]; \quad \alpha = 1 - 0,44\beta - 0,54\beta^2, m \geq 25; \quad (9)$$

$$\beta = 1 - 0,6\alpha - 0,4\alpha^2, m \in [5; 25]; \quad \beta = 1 - 0,44\alpha - 0,54\alpha^2, m \geq 25. \quad (10)$$

Подставив в (6) значения (2) и (3) получим

$$N = (1 + 5\beta j - 1,25(\beta j)^2) R_b A_b + \alpha R_c A_c. \quad (11)$$

Данная функция дает возможность построить спектр кривых теоретического предела прочности на центральное сжатие для трубобетонных элементов круглого сечения как набор функций

$$N = f(\alpha). \quad (12)$$

Фактический предел прочности трубобетонного элемента будет являться точкой, принадлежащей соответствующей кривой. При этом при $\alpha=100\%$ кривые покажут предел прочности железобетонных образцов, а для $\alpha=0$ предел прочности

трубобетонного образца с оболочкой, не воспринимающей продольные усилия, т.е. рассеченной на кольца. Для образцов, испытанных различными авторами в их исследованиях, данные кривые примут следующий вид (рис.1):

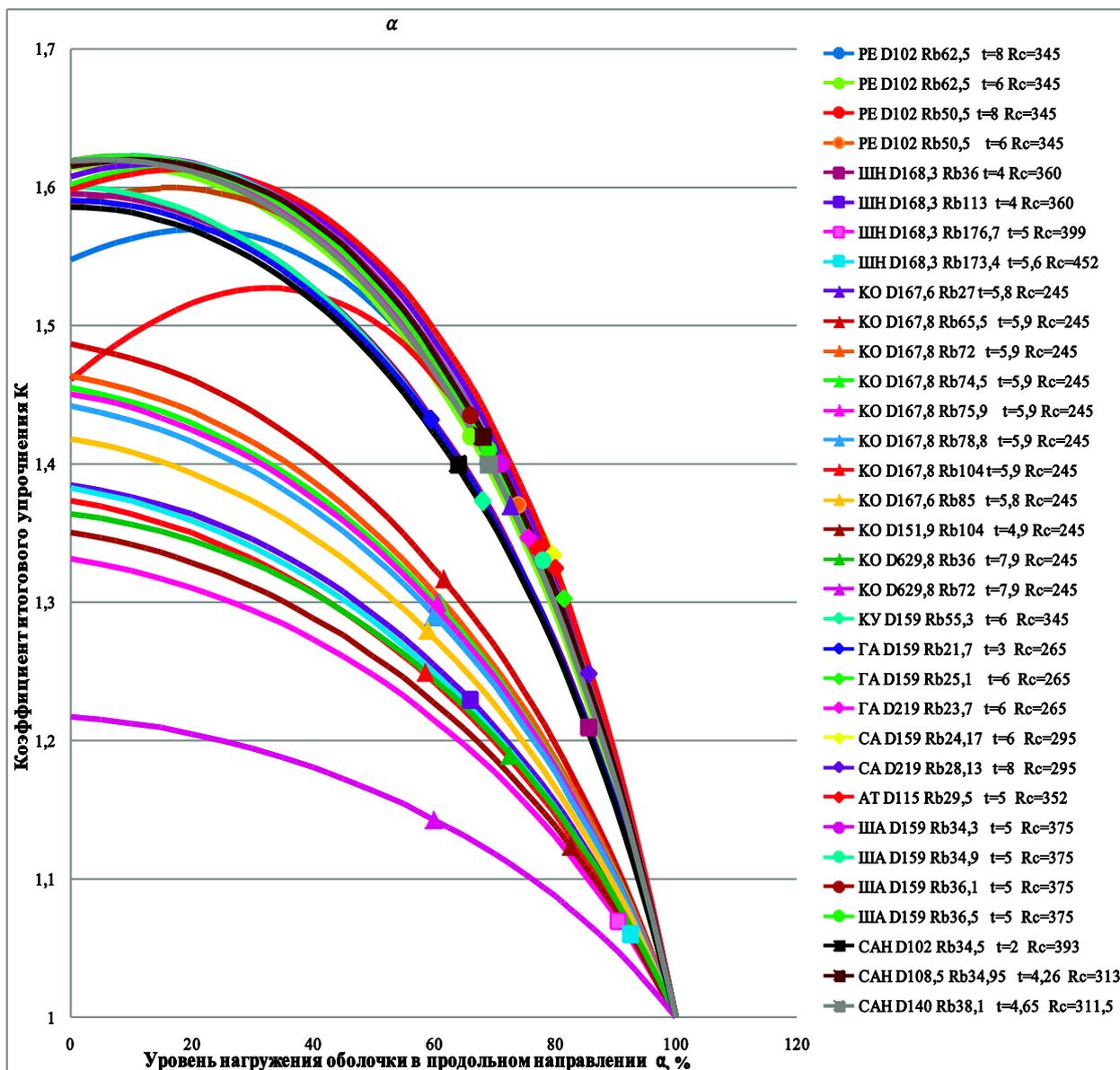


Рис. 1. Теоретический предел несущей способности трубобетона при различном уровне нагружения оболочки в продольном направлении. Для каждой кривой теоретического предела несущей способности трубобетона указаны основные параметры, формирующие коэффициент жесткости ободы. Данные сгруппированы по фамилиям исследователей: PE - Резван И.В., ШН - Шнайдер Х., КО - Коврыга С.В., КУ - Кузнецов К.С., ГА - Гареев М. Ш., СА - Сагадатов А.И., АТ - Аткишкин И. В., ША - Шахворостов А.И., САН - Санжаровский Р.С.

Из рис.1 очевидны два основных критерия оптимизации сечения трубобетонного элемента: во-первых сечение должно принадлежать кривой, идущей к наибольшему значению коэффициента упругого упрочнения, т.е. одной из верхних кривых, не имеющих экстремума на интервале $0 \leq \alpha \leq 100\%$; во-вторых - уровень нагружения оболочки в продольном направлении должен быть минимален, т.е. исходя из экспериментальных

данных стремиться к 60%. Интерес представляет так же тот факт, что на графике наблюдаются две противоположно направленные тенденции: уменьшения α при увеличении жесткости обоймы по данным Шнайдера Х., а так же некоторым данным Коврыги С.В. и увеличение α при увеличении жесткости обоймы по данным Резвана И.В., Гареева М.Ш., Сагадатов А.И., Шахворостова А.И. и др. Таким образом, необходимо построить зависимость (рис.2):

$$\alpha = f(j), \quad (13)$$

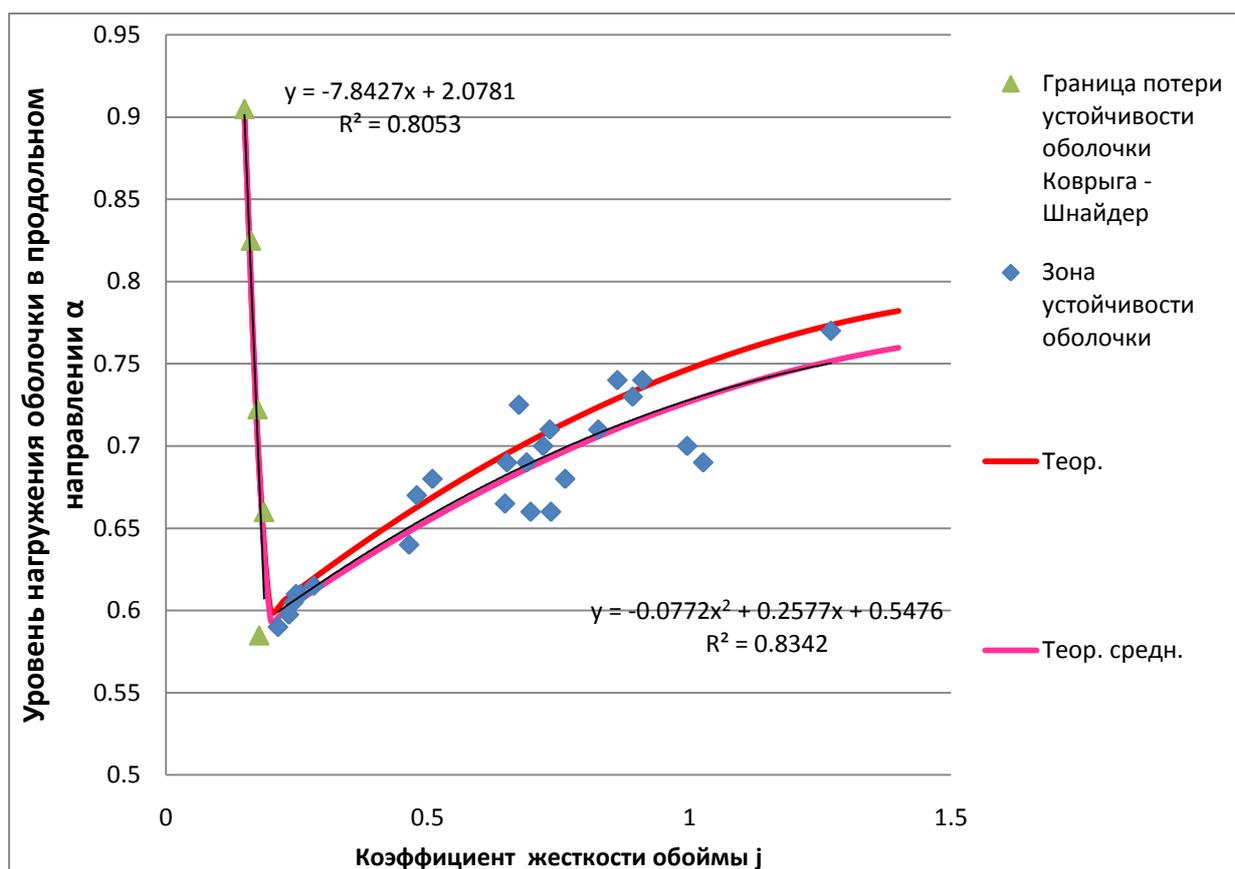


Рис.2. Зависимость уровня использования обоймы в продольном направлении от соотношения прочностного и масштабного факторов. Следует отметить, что левая восходящая часть графика фактически отражает не повышение уровня использования оболочки в продольном направлении, а усиление явлений локальной потери устойчивости оболочки вследствие недостаточной жесткости. В таких случаях зачастую происходит разрушение по наклонной трещине, характерное для усиленных оболочкой бетонных цилиндров.

На рис. 2 отчетливо видна граница потери устойчивости оболочки $j \leq 0,19$, за которой α для минимальной вероятной несущей способности можно аппроксимировать линейной кусочной функцией:

$$\alpha = -7,842j + 2,078 \text{ для } 0,14 \leq j \leq 0,19. \quad (14)$$

Очевидно, что нет смысла проектировать труботонные элементы, коэффициент жесткости которых находился бы за этой границей.

Оставшиеся данные можно усреднено аппроксимировать кривой

$$\alpha = -0,07j^2 + 0,25j + 0,547 \text{ для } 0,19 < j \leq 1,4. \quad (15)$$

Для того, чтобы повысить вероятность

$$\alpha_{теор} \geq \alpha_{пр} \quad (16)$$

автор рекомендует использовать следующую функцию вместо (15):

$$\alpha = -0,08j^2 + 0,28j + 0,547. \quad (17)$$

Итак, для того чтобы оптимизировать сечение трубобетонной колонны необходимо решить следующее неравенство:

$$K_{max} = \frac{(1 + 5j - 1,25j^2)R_b A_b}{R_b A_b + R_c A_c} \geq 1,6 \text{ для } j = 0,2, \quad (18)$$

задавшись тремя из четырех основных параметров сечения: R_b , r_b , R_c , t .

Упростить данную задачу может соблюдение одного из двух условий для масштабного фактора

$$m \in [5; 25) \text{ или } m \geq 25, \quad (19)$$

при том, что оптимальная зависимость

$$\beta = f(\alpha), \quad (20)$$

характерна для тонкостенных оболочек.

Подобрав сечение проверить расчетный коэффициент упрочнения можно по формуле:

$$K_{max} = \frac{(1 + 5\beta j - 1,25(\beta j)^2)R_b A_b + \alpha R_c A_c}{R_b A_b + R_c A_c}. \quad (21)$$

При недостаточной несущей способности подобранного элемента возможно пошаговое увеличение j до 1.

Использование трубобетонных колонн и разработанной методики автором оптимизации сечения позволяет с минимальными затратами предотвратить потерю от 30 до 50 % парковочных мест на этаже для сеток колонн 8x8 м и 6x6 м соответственно при увеличении расчетной нагрузки на 40 и более процентов по сравнению с железобетонным аналогом предельно допустимых габаритов.

Литература:

1. Аткишкин И. В. Длительная прочность сжатых трубобетонных элементов с внутренним стальным сердечником: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2006.

2. Гареев М. Ш. Прочность сжатых сталетрубобетонных элементов с предварительно обжатым ядром: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2004.
3. Коврыга С. В. Прочность и деформативность при осевом сжатии стальных труб, заполненным бетоном: дис. ... канд. техн. наук. М., 1992.
4. Кузнецов К.С. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром из высокопрочного бетона: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2007.
5. Сагадатов А.И. Напряженно-деформированное состояние сжатых трубобетонных элементов с внутренним стальным сердечником: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2006.
6. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Труль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Стройиздат, 1974. 144 с.
7. Шахворостов А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния трубобетона на напрягающем цементе: дис. ... канд. техн. наук. М., 2000.
8. Schneider H. Zum Tragverhalten kurzer, umschnürter, kreisförmiger Druckglieder aus ungefaserten UHFB: dis. ... Dr.-Ing. Leipzig, 2007.
9. EN 1994-1-1 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings.

References:

1. Atkishkin I. V. Long-term strength of compressed tube-concrete elements with an internal steel core: dis Cand. of Tech. Sciences. Magnitogorsk, 2006.
2. Gareev M. S. The strength of compressed steel-tubeconcrete elements with pre-compacted core: dis Cand. of Tech. Sciences. Magnitogorsk, 2004.
3. Kovryga S.V. Strength and deformation under axial compression of steel pipes filled with concrete: dis. Cand. of Tech. Sciences. M.. 1992.
4. Kuznetsov K.S. Durability of tube-concrete columns with pre-compacted core of high-strength concrete: dis Cand. of Tech. Sciences. Magnitogorsk, 2007.
5. Sagadatov A.I. Strained – deformed state of compressed tube- concrete elements with an internal steel core: dis Cand. Of Tech. Sciences. Magnitogorsk. 2006.
6. Kikin A.I., Sanzharovsky R.S., Trul V.A. Structures of steel pipes filled with concrete. M.: Stroizdat. 1974. 144 p.
7. Shahvorostov A.I. Investigation of the strained-deformed state of tube-concrete on the strained cement: dis Cand. Of Tech. Sciences. M., 2000.
8. Schneider H. Zum Tragverhalten kurzer, umschnürter, kreisförmiger Druckglieder aus ungefaserten UHFB: Dis Dr.-Ing. - Leipzig. 2007.
9. EN 1994-1-1 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings.