

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ ПРОДОЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН

А.Л. Кришан, Р.Р. Сабиров, Э.П. Чернышова

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск*

Колонны из стальных труб, заполненных бетоном, представляют собой один из немногих удачных примеров, когда бетон и сталь взаимно и существенно помогают сопротивляться силовым воздействиям, что приводит к повышению несущей способности элемента в целом.

Труبوبетонные конструкции обладают рядом существенных достоинств по сравнению с железобетонными или металлическими. Основные из них – высокие несущая способность, жесткость и надежность в эксплуатации, малая трудоемкость и высокая скорость возведения каркаса. В конечном счете, всё это приводит к сокращению расхода материальных и денежных ресурсов на изготовление.

Перспективными направлениями дальнейшего совершенствования труبوبетонных колонн являются предварительное боковое обжатие бетонного ядра или его рациональное армирование. В работе приведены основные результаты экспериментальных исследований несущей способности предварительно обжатых и традиционных труبوبетонных колонн со стержневым армированием бетонного ядра. На основании полученных данных сделан вывод, что рациональное использование в труبوبетонных колоннах предварительного обжатия и высокопрочной арматуры привело к повышению их несущей способности до 20 %. Предложены формулы, учитывающие влияние класса бетона и арматуры, а также процента армирования на величину расчетного сопротивления сжатию высокопрочной арматуры.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, труبوبетонные колонны, несущая способность, высокопрочная арматура, расчетное сопротивление сжатию.

Одним из направлений инновационных разработок кафедры проектирования зданий и строительных конструкций является усовершенствование конструкции и методов расчета труبوبетонных колонн (ТБК). Данные вертикальные несущие конструкции высокопрочны, экономичны и безопасны в эксплуатации. Такие элементы могут с успехом использоваться в специальном, промышленном, гражданском строительстве, в машиностроении, в мостостроении и других областях строительства [1]. Сравнительно небольшая площадь поперечного сечения труبوبетонных стоек делает эти конструкции привлекательными для возведения многоэтажных высотных зданий.

Ввиду существенных преимуществ [2, 3] труبوبетонные элементы представляют собой достаточно перспективную конструкцию. С другой стороны, эта конструкция нуждается в дальнейшем всестороннем экспериментально-теоретическом исследовании и совершенствовании.

Процесс совершенствования труبوبетонных конструкций осуществляется по трем направлениям:

– замена традиционного бетона на материалы, обладающие лучшими характеристиками для данных условий применения (серобетон и др.), или достижение высоких показателей за счет введения в бетонную смесь высокопрочных мелкодисперсных частиц (сталефибробетон и др.);

– дальнейшее развитие способов предварительного обжатия бетонной смеси и предваритель-

ного напряжения стальной оболочки труبوبетонного элемента в поперечном направлении;

– достижение более высоких показателей несущей способности ТБК за счет конструктивных изменений.

Одним из методов повышения несущей способности труبوبетонных конструкций является армирование бетонного ядра элемента стержнями в продольном направлении.

В лаборатории кафедры проектирования зданий и строительных конструкций ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» были выполнены экспериментальные исследования 13 серий образцов труبوبетонных колонн со стержневым армированием бетонного ядра по 4 образца в каждой. Образцы испытывались на осевое кратковременное сжатие с целью изучения их напряженно-деформированного состояния и прочностных характеристик. Диаметр сечения ТБК составлял 159 мм, толщина трубчатой оболочки – 6 и 3 мм. При этом в качестве продольной арматуры использовалась высокопрочная проволока $\varnothing 5$ В1400 – 8 или 4 стержней или арматура класса А800 – 4 стержня. Обжатие бетонного ядра осуществлялось либо механическим способом, либо за счет использования напрягающего бетона (НБ). Для получения напрягающего бетона использовался расширяющийся цемент Macflow.

Предварительный анализ [4, 5] показал, что бетон, заключенный в обойму, может иметь де-

Теория расчета строительных конструкций

формации, в 3–5 и более раз превышающие укорочения бетонных призм без обойм. Вследствие этого, в элементах, имеющих обойму в виде трубы, можно эффективно использовать высокопрочную арматуру при ее работе на сжатие.

Полученные экспериментальные данные подтвердили это предположение. Основные результаты испытаний отражены в таблице и на графике (см. рисунок).

Разрушение армированных трубобетонных образцов носило пластический характер и сопровождалось образованием гофров в стальных трубах на их боковых поверхностях. В зонах образования гофров происходила потеря местной устойчивости стенок оболочки и раздробление бетонного ядра.

Экспериментальные исследования показали, что трубобетонные элементы с армированным ядром работают более эффективно, чем аналогичные образцы без арматуры (рост несущей способности составил (5–10 %)); трубобетонные элементы с армированным обжатым ядром работают более эффективно, чем аналогичные образцы без обжатия (прирост несущей способности – 5–8 %); трубобетонные элементы с армированным бетонным ядром, выполненным из напрягающего бетона, работают более эффективно, чем аналогичные образцы, выполненные на основе обычного цемента (рост несущей способности – 7–9 %).

Повышение металлоемкости образца за счет увеличения стенки трубчатой оболочки или введения в бетонное ядро высокопрочной стержневой арматуры, а также предварительное обжатие бетонного ядра ТБК обеспечивают не только прирост несущей способности образца на сжатие, но и

более низкие значения деформаций образца при одних и тех же нагрузках.

Использование высокопрочной арматуры при изготовлении трубобетонных элементов может привести к существенному повышению несущей способности колонн или использованию труб меньшего диаметра, что даст существенный экономический эффект и экономии материала. Но для этого нужна достаточно точная методика расчета несущей способности таких колонн, позволяющая учесть работу арматуры.

Принятый в нормах подход к назначению расчетного сопротивления сжатию высокопрочной арматуры не вполне соответствует современным данным о деформативности бетона. Это было доказано в [6–8]. Там же были предложены формулы по определению относительной деформации бетона ε_{b0} , % при осевом сжатии:

$$\varepsilon_{b0} = 1,2 + 0,16\sqrt{B}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_{b0} = 1,2 + 0,19\sqrt{R_{bn}}. \quad (2)$$

Для определения разрушающей нагрузки короткого центрально сжатого трубобетонного элемента использовалась формула

$$N_u = \sigma_{pz} A_p + R_{b3} A + \sigma_{su} A_s, \quad (3)$$

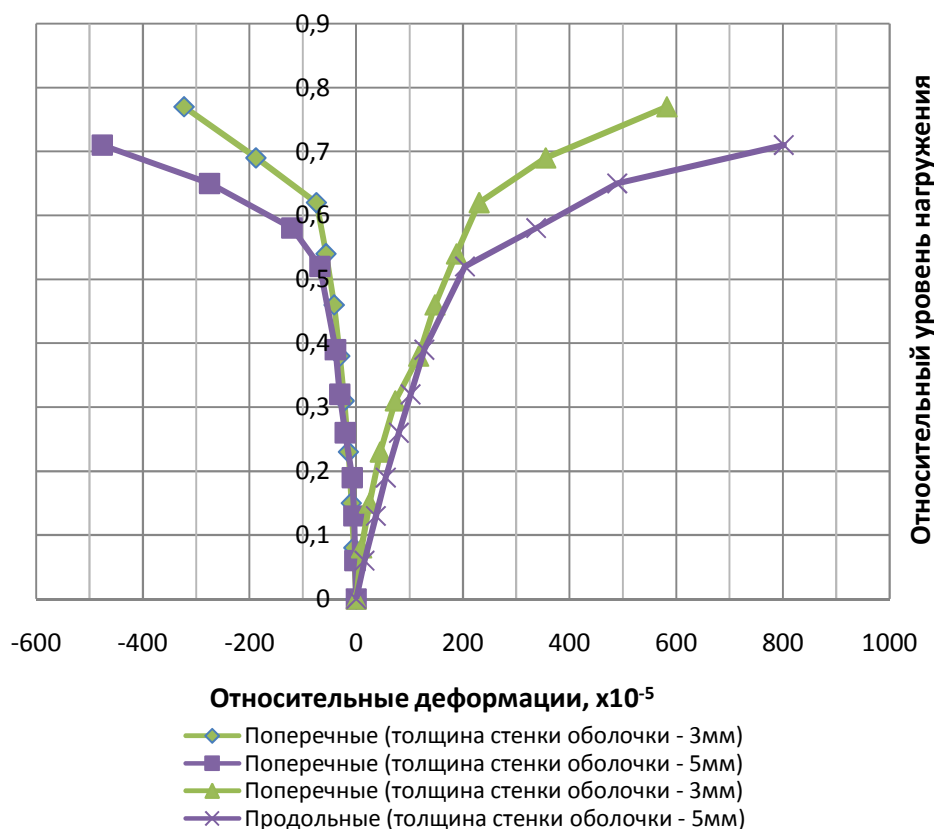
где σ_{su} – предельные напряжения в сжатой арматуре ($\sigma_{su} \leq \sigma_y$, σ_y – предел текучести арматуры);

R_{b3} – прочность объемно-сжатого бетонного ядра; σ_{pz} – сжимающее напряжение осевого направления в стальной оболочке; A – площадь поперечного сечения бетона; A_p – площадь поперечного

Средние значения разрушающей нагрузки и относительных деформаций по сериям

Серия, образец	Кубиковая прочность, МПа	Разрушающая нагрузка, N_u , т	Относительные деформации образца, зафиксированные при максимальной нагрузке, $\times 10^{-5}$
НЦ.В1400.8.153.3-1	55,18	216,67	1100
ОЦ.В1400.8.153.3-1		235,83	1350
НЦ.В1400.8.159.6-1	52,14	298,33	1400
ОЦ.В1400.8.159.6-1		325,0	1700
ОЦ.В1400.4.159.6-2		291,67	1250
НЦ.А800.4.159.6-1	58,76	331,67	1180
ОЦ.А800.4.159.6-2		343,33	1400
НЦВТ.В1400.8.159.6-1	49,64	271,67	1300
ОЦВТ.В1400.8.159.6-2		288,33	1650
НЦНБ.В1400.8.159.6-1	54,92	290,0	1350
ОЦНБ.В1400.8.159.6-1		316,67	1750
НЦН.В1400.8.159.6-1	59,79	321,67	850
ОЦН.В1400.8.159.6-1		340,0	2000

Примечание. В маркировке серий приняты следующие условные обозначения: НЦ – цилиндрический образец с необжатым ядром; ОЦ – цилиндрический образец с обжатым ядром; НБ – напрягающий бетон на основе цемента Macflow; В1400 или А800 – класс стали арматуры; 8 или 4 – количество арматурных стержней в бетонном ядре; 159 или 153 – внешний диаметр стальной оболочки в мм; 3 или 6 – толщина оболочки в мм.



Относительные продольные и поперечные деформации
необжатых трубобетонных образцов при кратковременном осевом сжатии

сечения оболочки; A_s – площадь поперечного сечения арматуры.

В результате анализа было определено, что расчетное сопротивление арматуры сжатию следует определять по аналогии с расчетным сопротивлением на растяжение, согласно СП 63.13330.2012. В соответствии с трехлинейной диаграммой деформирования арматуры R_{sc} рассчитывается по формуле

$$R_{sc} = \left(0,1 \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{s1}} + 0,9\right) R_s \leq 1,1 R_s. \quad (4)$$

Предлагаемые формулы учитывают влияние класса бетона и арматуры, процента армирования на величину расчетного сопротивления сжатию высокопрочной арматуры и позволяют более эффективно использовать ее прочностные свойства.

Литература

1. Кришан, А.Л. Перспективы применения трубобетонных колонн на строительных объектах России / А.Л. Кришан, М.А. Кришан, Р.Р. Сабиров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1 (45). – С. 137–140.

2. Кришан, А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром: моногр. / А.Л. Кришан. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 372 с.

3. Кришан, А.Л. Трубобетонные колонны высотных зданий: моногр. / А.Л. Кришан, А.И. Заикин, А.И. Сагадатов. – Магнитогорск: ООО «МиниТип», 2010. – 195 с.

4. Кришан, А.Л. Прочность и деформативность трубобетонных колонн со стержневым армированием / Р.Р. Сабиров, Д.Р. Шагеев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – Магнитогорск, 2012. – Т. 2. – № 70. – С. 247–248.

5. Кришан, А.Л. Расчет прочности сжатых железобетонных элементов с косвенным армированием сетками / А.Л. Кришан, Р.Р. Сабиров, М.А. Кришан // Архитектура. Строительство. Образование. – 2014. – № 1(3). – С. 215–224.

6. Кришан, А.Л. К определению деформаций объемно сжатого бетона трубобетонных колонн / А.Л. Кришан, А.И. Заикин, М.А. Кришан // Архитектура. Строительство. Образование. – Магнитогорск, 2014. – № 1(3). – С. 210–215.

7. Определение деформационных характеристик бетона / А.Л. Кришан, М.А. Астафьева, М.Ю. Наркевич, В.И. Римшин // Естественные и технические науки. – 2014. – № 9–10(77). – С. 367–369.

8. Кришан, А.Л. Предельные относительные деформации центрально-сжатых железобетонных элементов / А.Л. Кришан, М.А. Астафьева, В.И. Римшин // Естественные и технические науки. – № 9–10 (77). – С. 370–372.

Кришан Анатолий Леонидович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой проектирования зданий и строительных конструкций института строительства, архитектуры и искусства, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск), kris_al@mail.ru

Сабиров Рустам Равильевич, аспирант, ассистент кафедры проектирования зданий и строительных конструкций института строительства, архитектуры и искусства, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск), sabirov_rustam66@mail.ru

Чернышова Эльвира Петровна, доцент, кандидат философских наук, член СПбПО, член СД России, заместитель директора института строительства, архитектуры и искусства по научной работе, доцент кафедры архитектуры, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск), ch-elvira@bk.ru

Поступила в редакцию 23 апреля 2015 г.

ON DEFINITION OF THE DESIGN RESISTANCE TO COMPRESSION OF LONGITUDINAL REINFORCEMENT OF TUBE CONFINED CONCRETE COLUMNS

A.L. Krishan, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, kris_al@mail.ru

R.R. Sabirov, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, sabirov_rustam66@mail.ru

E.P. Chernyshova, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, ch-elvira@bk.ru

Columns made of steel pipes, filled with concrete, are one of the few successful examples when concrete and steel are mutually and substantially help to resist force effects, which results in increased bearing capacity of the element as a whole. Tube confined concrete constructions have a number of significant advantages compared to reinforced concrete or metal ones. The main of them are high bearing capacity, rigidity and reliability, low labor intensity and high speed of building a frame. Eventually, all this leads to reduced consumption of material and financial resources for manufacturing. The promising areas for further improvement of steel tube confined concrete columns are preliminary lateral compression of the concrete core or its rational reinforcement. The paper presents the main results of experimental research studies on the bearing capacity of prestressed and traditional tube confined concrete columns with reinforcing of the concrete core. Based on these data it's concluded that the rational use of prestressing and high-tensile reinforcement in steel tube confined concrete columns has led to an increase in their bearing capacity up to 20 %. The authors have proposed formulas, which take into account the effect of a concrete and reinforcement grade, as well as the reinforcement ratio on the value of design resistance to compression of high-tensile reinforcement.

Keywords: experimental research studies, steel tube confined concrete columns, bearing capacity, high-tensile reinforcement, design resistance to compression.

References

1. Krishan A.L., Krishan M.A., Sabirov R.R. [Perspectives to Apply Concrete Filled Steel Tube Columns at Construction Projects of Russia]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. Magnitogorsk, 2014, no. 1(45), pp. 137–140 (in Russ).
2. Krishan A.L. *Trubobetonnye kolonny s predvaritel'no obzhatym yadrom* [Concrete Filled Steel Tube Columns with Prestressed Core]. Rostov-on-Don, RSUCE Publ., 2011. 372 p.
3. Krishan A.L., Zaikin A.I., Sagadatov A.I. *Trubobetonnye kolonny vysotnykh zdaniy* [Concrete Filled Steel Tube Columns of High-Rise Buildings]. Magnitogorsk, MiniTip Publ., 2010. 195 p.
4. Krishan A.L., Sabirov R.R., Shageev D.R. [Strength and Deformability of Concrete Filled Steel Tube Columns with Rod Reinforcement]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Actual Problems of Modern Science, Technology and Education]. Magnitogorsk, 2012, vol.2, no. 70, pp. 247–248 (in Russ).
5. Krishan A.L., Sabirov R.R., Krishan M.A. [Durability Calculation of Compressed Reinforced Concrete Elements with Confinement Reinforcement Made by Fabrics]. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovanie* [Architecture. Construction. Education]. Magnitogorsk, 2014, no. 1(3), pp. 215–224 (in Russ).

6. Krishan A.L., Zaikin A.I., Krishan M.A. [Definition of Deformations of Volume Compressed Concrete Filled Steel Tube Columns]. *Arkhitktura. Stroitel'stvo. Obrazovanie* [Architecture. Construction. Education]. Magnitogorsk, 2014, no. 1(3), pp. 210–215 (in Russ).

7. Krishan A.L., Astafeva M.A., Narkevich M.Y. [Definition of Deformation Characteristics of Concrete]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. [Natural and Technical Sciences]. Moscow, 2014, no. 9–10(77), pp. 367–369 (in Russ).

8. Krishan A.L., Astafeva M.A., Rimshin V.I. [Ultimate Tensile Deformation of Central Compressed Concrete Elements]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences]. Moscow, 2014, no. 9–10(77), pp. 370–372 (in Russ).

Received 23 April 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кришан, А.Л. К определению расчетного сопротивления сжатию продольной арматуры трубобетонных колонн / А.Л. Кришан, Р.Р. Сабиров, Э.П. Чернышова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 15–19.

FOR CITATION

Krishan A.L., Sabirov R.R., Chernyshova E.P. On Definition of the Design Resistance to Compression of Longitudinal Reinforcement of Tube Confined Concrete Columns. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015, vol. 15, no. 3, pp. 15–19. (in Russ.)