
Исследование применения трубобетонных элементов в условиях реконструкции

Хайянь Цзянг, Чэньин Чжай, А.Ю. Кубасов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В данной статье приведена история развития и эффективность применения трубобетонных конструкций при возведении зданий и сооружений различного технического назначения. Рассмотрен вариант применения трубобетонных колонн с целью восстановления эксплуатационной надежности и несущей способности сборных железобетонных конструкций производственного корпуса при его реконструкции. Произведен расчёт на несущую способность с учётом дополнительных нагрузок и проверка на прочность сечений трубобетонной колонны по деформационной модели.

Ключевые слова: бетон, трубобетон, несущая способность, железобетон, строительные конструкции, арматура, постоянная нагрузка, прочность, эксплуатационная надёжность, деформации.

Трубобетонная конструкция представляет собой бетон, заключенный в оболочку круглой или более сложной формы. Трубобетон с металлической оболочкой используется в гражданском, транспортном, промышленном, а в последние годы в высотном строительстве [1].

Металлическая оболочка предназначена не только в качестве несъемной опалубки бетона и одновременно продольной и поперечной арматуры, но и создает идеальные условия для работы бетонного ядра под нагрузкой, что значительно ускоряет и упрощает процесс строительства [2–3].

Трубобетонные конструкции способны выдерживать большие нагрузки, прикладываемые в произвольных направлениях. Металлическая оболочка создает эффективные условия для работы бетонного ядра, препятствуя расширению в поперечном направлении и развитию трещин. Бетон, заполнив оболочку, увеличивает общую и местную устойчивость конструкции, а также повышает ее жесткость [4, 6].

Идея армирования бетона стальной круглой трубой появилась сто лет назад в США, где стальные трубы, заполненные бетоном, применили как несущие колонны для многоэтажных зданий (до 6 этажей). В 1930-х годах в

России был построен железнодорожный трубобетонный арочный мост через реку Исеть пролетом 140 м, и профессор А.А. Гвоздев впервые создал теорию расчета трубобетонных конструкций по методу предельного равновесия.

Наиболее широко в последние десятилетия трубобетон начал применяться в КНР, где создана нормативная база его применения в строительстве. За последние годы с применением технологии трубобетона в КНР построено уже более 100 небоскребов. Среди них здание с каркасом из трубобетона на площади Сайгэ в Шэньчжэне построенное за 15 месяцев по проекту профессора Цао Шао Хуая - главного разработчика конструкции и технологии трубобетона в КНР (аспиранта профессора Гвоздева А. А.). В наземной части - 72 этажа, в подземной - 4, общая высота составляет 291,6 м, общая площадь здания превышает 160 тыс. кв. м [5–6].

Исследования и практический опыт возведения малоэтажных и высотных зданий, проведенные в США, Германии, Японии, Великобритании, Австралии, КНР показывают конструктивно-технологическую и экономическую эффективность применения технологии трубобетона при возведении зданий и сооружений различного технического назначения.

Теория и практика применения трубобетона свидетельствует о том, что трубобетон помимо высокой силы сжатия, легкости, устойчивости к нагрузкам, ударостойкости обладает еще следующими преимуществами:

- высокая несущая способность трубобетонных колонн;
- эффективность работы стальной обоймы - трубы вместо арматуры;
- повышение прочностных показателей, долговечности и стойкости бетона;
- снижение массы несущего каркаса здания;
- повышение огнестойкости стальных конструкций каркаса;
- высокая стойкость здания к сейсмическим воздействиям;

- работа в зимнее время;
- высокая скорость возведения каркасов из трубобетона;
- снижение объемов сварочных работ в 2–3 раза;
- сокращение расхода металла на возведение каркасов здания в 1,8–2 раза;
- сокращение сроков строительства в 1,5–2 раза;
- снижение себестоимости строительства каркаса зданий и сооружений на 25–30% [7–8].

Целью магистерского исследования является расчет несущей способности сборных железобетонных конструкций производственного корпуса при малых эксцентриситетах приложения продольной силы.

Расчет на несущую способность центрально сжатой трубобетонной колонны произведен по методике, разработанной в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко [9].

$N = 3000 \text{ кН}$; $D_p = 0,5 \text{ м}$; $t_p = 0,008 \text{ м}$; $\gamma_{bl} = 0,9$, при длительной нагрузке.

Класс бетона В30; $R_b = 17 \cdot \gamma_{bl} = 17 \cdot 0,9 = 15,3 \text{ МПа}$; сталь трубы С235 (ГОСТ 10704-91); $R_y = 225 \text{ МПа}$; $L = 3 \text{ м}$.

Случайный эксцентриситет:

$$L / 600 = 3/600 = 0,005 \text{ м};$$

$$D / 30 = 0,5/30 = 0,016667 \text{ м};$$

принимается $e_a = 0,016667 \text{ м}$.

Радиус бетонного ядра: $r_b = (D_p - 2 \cdot t_p) / 2 = (0,5 - 2 \cdot 0,008) / 2 = 0,242 \text{ м}$;

срединной поверхности трубы:

$$r_p = (D_p - t_p) / 2 = (0,5 - 0,008) / 2 = 0,246 \text{ м}.$$

Площадь металла в поперечном сечении трубы:

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D_p - 2 \cdot t_p)^2}{4} = \\ &= \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} - \frac{\pi \cdot (0,5 - 2 \cdot 0,008)^2}{4} = 0,012365 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Площадь поперечного сечения бетонного ядра:

$$A_b = \frac{\pi \cdot (D_p - 2 \cdot t_p)^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,5 - 2 \cdot 0,008)^2}{4} = 0,183984 \text{ м}^2.$$

Эксцентриситет приложения нагрузки относительно центра тяжести сечения: $e_0 = e_a$.

$a = 2$; $b = 2,52$ – безразмерные; $c = 25$ МН; $R_p = R_y$.

$$\Delta R_b = R_b \left(a + b e^{\frac{-1}{c}(R_p A_p + R_b A_b)} \right) \cdot \frac{t_p}{D_p - z t_p} \cdot \frac{R_p}{R_b} =$$
$$15,3 \left(2 + 2,52 e^{\frac{-1}{25}(225 \cdot 0,012365 + 15,3 \cdot 0,183984)} \right) \frac{0,008}{0,5 - 2 \cdot 0,008} \cdot \frac{225}{15,3} = 16,809915 \text{ МПа}.$$

$$\Delta R_{bp} = R_b + \Delta R_b \left(1 - \frac{7,5e}{D_p - z t_p} \right) =$$

$$= 15,3 + 16,809915 \left(1 - \frac{7,5 \cdot 0,01667}{0,5 - 2 \cdot 0,008} \right) = 27,768512 \text{ МПа}.$$

$$R_{pc} = R_y - \frac{1}{4} R_y \left(1 - \frac{7,5e}{D_p - z t_p} \right) = 225 - \frac{1}{4} 225 \left(1 - \frac{7,5 \cdot 0,01667}{0,5 - 2 \cdot 0,008} \right) = 183,277376.$$

$$r_b^2 \left(\alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right) R_{bp} + \frac{\alpha}{\pi} A_s R_{sc} - \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right) A_s R_s + \frac{\alpha}{\pi} A_p R_{pc} - \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right) A_p R_y = N.$$

$$0,242^2 \left(\alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right) \cdot 27,768512 + \frac{\alpha}{\pi} \cdot 0,012365 - \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right) 0,012365 \cdot 225 = 3.$$

$\alpha = 1,716244$ радиан.

$$M_{ult} = \frac{2}{3} r_b^3 R_{bp} \sin^2 \alpha + \frac{1}{\pi} A_s r_s \sin \alpha (R_s + R_{sc}) + \frac{1}{\pi} A_p r_t \sin \alpha (R_y + R_{pc}).$$

$$M_{ult} = \frac{2}{3} 0,242^3 \cdot 27,768512 \cdot \sin^2(1,716244) + \frac{1}{\pi} \cdot 0,012365 \cdot 0,246 \cdot$$
$$\cdot \sin(1,716244) \cdot (225 + 183,277376) = 0,647998 \text{ МН} \approx 648 \text{ кН}.$$

$$M = N \cdot e_0 = 3 \cdot 0,016667 = 0,05 \text{ МН м} < 0,647998 \text{ МН.}$$

Проверка на прочность сечений трубобетонной колонны по деформационной модели (СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003) произведена по программе ЭСПРИ 2014 (Электронный справочник инженера)[10].

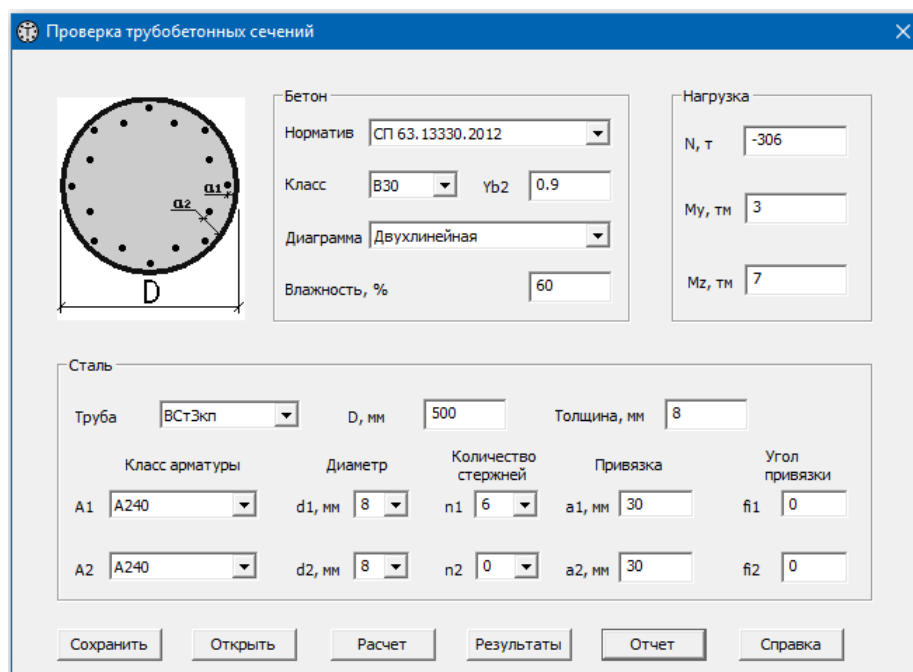


Таблица № 1

Результаты проверки

Процент армирования сечения, %	6,91128
Относительная высота сжатой зоны бетона	$k_{si}=1$
Высота сжатой зоны бетона, мм	$x=484$
Ширина раскрытия трещин, мм	$a_{crс}=0$
Максимальная глубина трещин, мм	$h_{crс}=0$
Частота трещин, м	$l_{crс}=0$
Координаты приведенного центра тяжести	$Y=0 \text{ м}$ $Z=0 \text{ м}$
Приведенные жесткости сечения	$E A_{red}=414378 \text{ Т}$ $E I_y=10047,2 \text{ Т} \cdot \text{м}^2$ $E I_z=10047,2 \text{ Т} \cdot \text{м}^2$

Относительная деформация крайнего сжатого волокна бетона	$E_{ps}B_{Max}=0,00087375$
Коэффициент упрочнения сжатого бетона	$R_b^*/R_b=1,53906$

Литература

1. S.-H. Cai. Modern Street Tube Confined Concrete Structures. Shanghai, China Communication Press, 2003, p. 358.

2. Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li. A unified formulation for circle and polygon concrete filled steel tube columns under axial compression / Engineering Structures. - 2013. - 49. - pp. 1-10.

3. Афанасьев А.А., Курочкин А.В. Использование трубобетона в жилищном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. - 2011. - №3. – с. 14-15.

4. Оценка прочности трубобетона. Несветаев Г.В., Резван И.В. // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 12 (часть 3) – с. 580-583.

5. Маилян Д.Р., Кубасов А.Ю. К вопросу обеспечения устойчивости арматурных стержней при их предварительном сжатии // Научное обозрение. – 2015. – №10. – с. 173 – 176.

6. Резван И.В., Маилян Д.Р. Несущая способность бетонного ядра трубобетонных колонн // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2011. – №3. – с. 18 – 25.

7. Резван И.В., Маилян Д.Р., Резван А.В. Построение диаграммы «напряжения-деформации» бетона в условиях пассивного бокового обжатия // Инженерный вестник Дона, 2012, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1127.

8. Д.Р. Маилян, Г.В. Несветаев. Зависимость относительной несущей способности колонн от относительного эксцентриситета // Инженерный вестник Дона, 2012, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334.

9. Научно-технический отчет по теме: «Разработка стандарта организации «Сталежелезобетонные конструкции. Правила проектирования». ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, НИЦ «Строительство». – М.: 2015. – 78 с.

10. ЛИРА-САПР, ЭСПРИ: URL: liraland.ru/.

References

1. S.-H. Cai. Shanghai, China Communication Press, 2003, p. 358.
2. Min Yu, XiaoxiongZha, Jianqiao Ye, Yuting Li. Engineering Structures, 2013, pp. 1-10.
3. Afanas'ev A.A., Kurochkin A.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2011. №3, pp. 14-15.
4. Nesvetaev G.V., Rezvan I.V. Fundamental'nye issledovaniya. 2011. № 12 (chast' 3), pp. 580-583.
5. Mailyan D.R., Kubasov A.YU. Nauchnoe obozrenie. 2015. №10, pp. 173-176.
6. Rezvan I.V., Mailyan D.R. Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2011. №3, pp. 18-25.
7. Rezvan I.V., Mailyan D.R., Rezvan A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1127.
8. D.R. Mailyan, G.V. Nesvetaev. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1334.
9. Razrabotka standartov organizacii «Stalezhelezobetonnye konstrukcii. Pravila proektirovaniya» [Development of the standard of the organization "Steel Reinforced Concrete Structures. Design rules"]. CNIISK im. V.A. Kucherenko, NIC «Stroitel'stvo». Moscow, 2015, 78 p.
10. LIRA-SAPR, EHSPRI: URL: liraland.ru.