
Технико-экономический расчет металлических, железобетонных и трубобетонных колонн с использованием вычислительных комплексов

Аишаф Аадсан, Дамиан Ортега Тенемаза, А.Ю. Кубасов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В данной статье рассмотрен расчет по различным методикам и сравнение экономической эффективности применения металлических, железобетонных и трубобетонных колонн при разработке проекта реконструкции производственного корпуса. Произведено технико-экономическое сравнение по следующим показателям: масса стали и бетона; стоимость основных материалов; трудоёмкость и стоимость изготовления. Анализ вариантов расчета строительных конструкций может помочь в выборе способа восстановления эксплуатационной надежности и несущей способности железобетонных сжатых элементов.

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

Эффективность применения строительных конструкций при возведении зданий и сооружений обусловлена расходом материалов, трудозатратами, стоимостью этих конструкций.

Одним из способов рационального сочетания свойств различных строительных материалов при их совместной работе, является использование в качестве несущих конструкций стальных труб, заполненных бетоном (трубобетона) [1].

Исследованию работы сжатых трубобетонных элементов посвятили свои работы отечественные и зарубежные ученые и инженеры: Альперина О.Н., Гвоздев А.А., Гнедовский В.И., Долженко А.А., Лукша Л.К., Людковский И.Г., Кикин А.И., Коврыга С.В., Кришан А.Л., Маилян Д.Р., Маренин А.Ф., Мартиросов Г.М., Матвеев В.Г., Мурашкин Г.В., А. Менаже, Сахаров А.А., Несветаев Г.В., Нестерович А.П., Нурадинов Б.Н., Передерий Г.П., Резван И.В., Ренский А.Б., Росновский В.А., Санжаровский Р.С., Скворцов Н.Ф., Стороженко Л.И., Трулль В.А., Фонов В.М., Шабров В.Л., Шахворостов А.И., Ф. Бойда, Г. Георгиус, Н. Гарднер, В. Годер, С. Дзонг, Р.С. Джонсон, Б. Дзяо, К. Дзю, Х. Дзу, Д.К. Ким, Т. Кибрия, У. Кофер, К. Клопель,

В.С. Лор, Д. Лам, Д. Макклин, Д. Севел, Н. Такео, Р.В. Фурлонг, Д.Ф. Хаджар, Ш.-Х. Цай, Т. Чапмен, С.П. Шнейдер, М. Юхансон, Т. Ямамото и др. В них отмечается эффективность применения трубобетонных колонн, их высокая несущая способность. Значительно повышается прочность и деформативность бетона, улучшаются его реологические свойства.

Высокая несущая способность трубобетона позволяет принимать небольшие размеры поперечного сечения элементов, что является образцом рационального сочетания прочностных характеристик стали и бетона. При бетонировании конструктивных элементов поперечное и продольное армирование бетона обеспечивают стальные трубы, выполняющие роль несъемной опалубки [2,3].

Применение трубобетонных элементов позволяет сократить сроки строительства, уменьшить размеры поперечного сечения вертикальных несущих элементов зданий и сооружений, а также снизить расход бетона и стали. Снижение ветровых воздействий на здания и сооружения, происходит за счет аэродинамических свойств цилиндрических стержней. При одинаковых расчетных длинах стержни круглого сечения являются равноустойчивыми [4,5,8].

Целью магистерской диссертационной работы является расчет по различным методикам и сравнение экономической эффективности применения металлических, железобетонных и трубобетонных колонн при разработке проекта реконструкции производственного корпуса.

1. Расчет сборной железобетонной колонны (СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003).

Бетон тяжелый, класс В20, рабочая продольная арматура класса А400, поперечная арматура А240.

Усилия от постоянной нагрузки:

$$(n - 1) \cdot G1 + G2 + G3 + (n - 1) \cdot G4 =$$



$$(5 - 1) \cdot 152,059 + 140,157 + 16,302 + (5 - 1) \cdot 7,759 = 795,731 \text{ кН.}$$

Усилия от длительно действующей временной нагрузки на перекрытиях:

$$(n - 1) \cdot P1 = (5-1) \cdot 249,934 = 999,736 \text{ кН.}$$

Усилие от кратковременной нагрузки на перекрытиях:

$$(n - 1) \cdot P2 = (5 - 1) \cdot 71,410 = 285,640 \text{ кН.}$$

Усилие от длительно действующей и кратковременной части снеговой нагрузки:

$$P3 = P4 = 26,779 \text{ кН.}$$

Основное сочетание нагрузок (постоянная, длительные, одна кратковременная):

$$N = 795,731 + 999,736 + 26,779 + 285,640 = 2107,886 \text{ кН.}$$

Максимальное усилие в колонне $N = 2107,886$ кН, в том числе длительно действующее: $N_l = 795,731 + 999,736 + 26,779 = 1822,246$ кН.

$$\text{Гибкость колонны: } \lambda = l_0 / h = 390 / 40 = 9,75.$$

Площадь продольной арматуры находим из условия прочности:

$$N \leq \varphi \cdot (R_b \cdot A + R_{sc} \cdot A_s),$$

где φ – коэффициент продольного изгиба.

$$\varphi = \varphi_b + 2(\varphi_{sb} - \varphi_b) \cdot \alpha_s,$$

$$\varphi = 0,895 + 2 \cdot (0,904 - 0,895) \cdot \frac{355}{11,5} \cdot 0,01 = 0,884 \leq 0,904.$$

$$A_s = \frac{N / \varphi - R_b \cdot A}{R_{sc}};$$

$$A = b \times h = 40 \times 40 = 1600 \text{ см}^2;$$

$$A_s = \frac{2107886 / 0,884 - 11,5 \cdot 100 \cdot 1600}{355 \cdot 100} = 14,917 \text{ см}^2 = 1491,7 \text{ мм}^2.$$

Принимаем: 4Ø22 А400, $A_{s, fact} = 1521 \text{ мм}^2$.

Поперечная арматура: Ø6 А240.

Шаг хомутов $S = 400$ мм.

Принимаем колонну 2КБД4.48-4.3.

2. Расчет трубобетонной колонны квадратного сечения [6,7]

Принят профиль стальной, гнутый, замкнутый, сварной, квадратный для строительных конструкций 200x200x6,5 (ГОСТ 30245—2012).

Расчётный предел текучести стали $R_c = 235$ МПа; площадь поперечного сечения стальной трубы $A_c = 48,86$ см²; площадь бетонного ядра $A_b = 349$ см²; $E_b = 27 \cdot 10^4$ МПа; $E_c = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; класс бетона В20; $R_b = 11,5$ МПа.

$$N = R_c \cdot A_c \left(1 + \frac{E_b}{E_c} \cdot \frac{A_b}{A_c} \right);$$

$$k_b = 1 + \frac{E_b}{E_c} \cdot \frac{A_b}{A_c};$$

$$N = k_b \cdot R_c \cdot A_c;$$

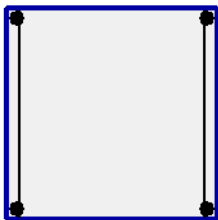
$$N = 235 \cdot 10^{-4} \cdot 48,86 \cdot \left(1 + \frac{2,7 \cdot 10^4}{2,1 \cdot 10^5} \cdot \frac{349}{48,86} \right) = 2,19 \text{ MN} = 2190 \text{ kH}.$$

3. Экспертиза колонны

Расчет выполнен программой «АРБАТ» [9].

Таблица № 1

Заданное армирование

Арматура	Сечение
$S_1 - 2\text{Ø}28, S_2 - 2\text{Ø}28.$ Поперечная арматура вдоль оси Z: 25Ø6, шаг поперечной арматуры 150 мм. Поперечная арматура вдоль оси Y: 25Ø6, шаг поперечной арматуры 150 мм.	

Бетон тяжелый В25. Плотность бетона 2,5 Т/м³.

Арматура А500, А240.

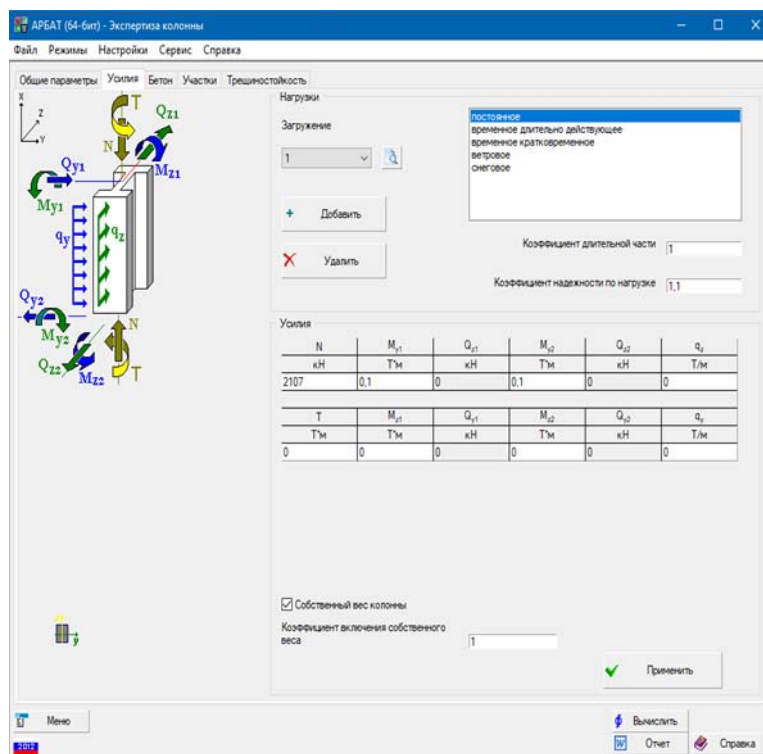
Влажность воздуха окружающей среды - 40-75%. Сечение: $b \times h = 400 \times$

400 мм; $a_1 = 4,5$ мм; $a_2 = 4,5$ мм.

Таблица № 2

Результаты расчета

Участок	Коэффициент использования	Проверка	Проверено по СНиП
1	0,696	Прочность по предельной продольной силе сечения	п. 8.1.18
	0,764	Прочность по предельному моменту сечения	п.п. 8.1.8-8.1.14
	0,546	Деформации в сжатом бетоне	пп. 8.1.20-8.1.30
	0,095	Продольная сила при учете прогиба при гибкости: $L_0/i > 14$	пп. 8.1.15, 7.1.11
	0,225	Предельная гибкость в плоскости XoY	п. 10.2.2
	0,225	Предельная гибкость в плоскости XoZ	п. 10.2.2



сталежелезобетонные. Правила проектирования – М.:Минрегион России, 2016). Расчет выполнен программой «Кристалл» [9].

Сталь: С345, категория 3.

Коэффициент надежности по ответственности 1,15.

Коэффициент условий работы 1.

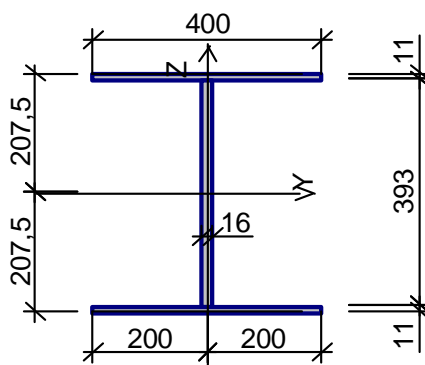
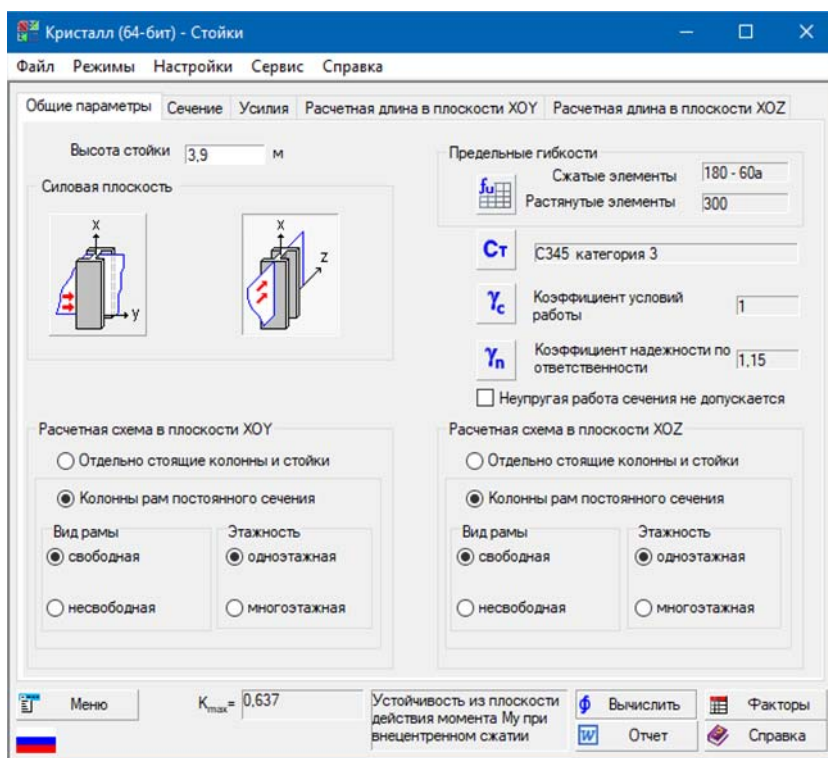


Рис. 1. – Сечение элемента

Таблица № 3

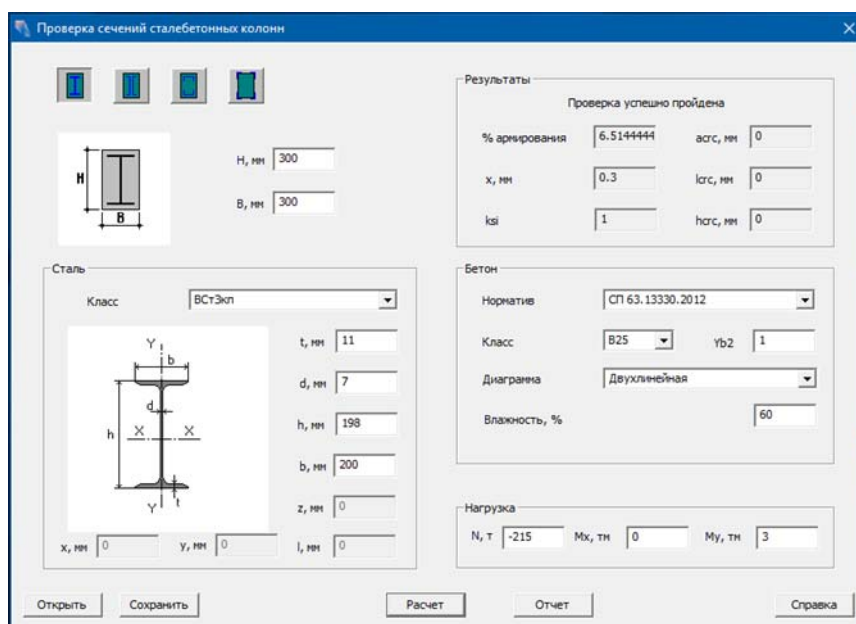
Результаты расчёта

Проверено по СНиП	Проверка	Коэффициент использования
п.5.12	Прочность при действии изгибающего момента M_z	0,045
пп.5.12,5.18	Прочность при действии поперечной силы Q_y	0,012
пп.5.24,5.25	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластичности	0,573
п.5.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	0,637
п.5.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	0,546
п.5.27	Устойчивость в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	0,637
пп.5.30-5.32	Устойчивость из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	0,546
пп.6.15,6.16	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,345
пп.6.15,6.16	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,113



Принимаем колонный двутавр40К1 (ГОСТ 26020-83).

5. Проверка на прочность сечений сталебетонных колонн на основе 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].



Принимаем двутавр колонный 20К2 (ГОСТ 26020-83).

Технико-экономический расчет металлических, железобетонных и трубобетонных колонн показывает, что, в сравнении с металлическими, экономия стали в трубобетонных конструкциях составляет до 40 %, а стоимость уменьшается до 1,6 раз; по сравнению с железобетонными масса уменьшается до 70 %.

Литература

1. Резван И.В., Маилян Д.Р., Блягоз А.М. Методика оптимизации сечения центрально-сжатого трубобетонного элемента // Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2011. – №4. – С. 18 – 25.
 2. Кришан А. Л., Мельничук А. С. Трубобетонные колонны квадратного сечения // Жилищное строительство. 2012. № 5. С. 19-21.
 3. Mailyan, D., Mailyan, L. Ecologically Safe and Techno Economically Efficient Reinforced Concrete Constructions of Equal Resistance// MATEC Web of Conferences, 2016, URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/36/matecconf_tpacce2016_04020/matecconf_tpacce2016_04020.
 4. T. Yu; Y.L. Wong; J.G. Teng; S.L. Dong; and E. S.S. Lam. Flexural Behavior of Hybrid FRP-Concrete-Steel Double-Skin Tubular Members // Journal of Composites for Construction, Vol. 10, No.5, October 1, 2006. pp. 443–452.
 5. Литвинский Г.Г., Фесенко Э.В. Теория расчёта центрально-сжатых трубобетонных конструкций крепи // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Выпуск 38. Алчевск – 2012, URL: sbornik.dstu.education/article.php?id=120.
 6. Мурадян В.А. Расчет оптимальной величины защитного слоя бетона колонн квадратного сечения // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1846.
-



7. К.Ю. Лыжненко, А.Ю. Кубасов, Д.Р. Маилян. К вопросу восстановления экспериментальной надежности железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4422.

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

9. SCAD Office: URL: scadsoft.com/.

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

References

1. Rezvan I.V., Mailyan D.R., Blyagoz A.M. Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2011. №4, pp. 18-25.

2. Krishan A. L., Mel'nichuk A. S. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2012. № 5, pp. 19-21.

3. Mailyan, D., Mailyan, L. MATEC Web of Conferences.2016, URL: matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/36/matecconf_tpacce2016_04020/matecconf_tpacce2016_04020.

4. T. Yu, Y.L. Wong, J.G. Teng, S.L. Dong, and E. S.S. Lam. Journal of Composites for Construction, vol. 10, №.5, October 1. 2006, pp. 443–452.

5. Litvinskij G.G., Fesenko E.H.V. Sbornik nauchnyh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Vypusk 38. Alchevsk. 2012, URL: http://sbornik.dstu.education/article.php?id=120.

6. Muradyan V.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1846.

7. K.YU. Lyzhnenko, A.YU. Kubasov, D.R. Mailyan. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4422.

8. Mailyan D.R., Kubasov A.YU. Nauchnoe obozrenie. 2015. №10, pp. 173-176.



9. SCAD Office: URL: scadsoft.com.

10. LIRA-SAPR, EHSPRI: URL: liraland.ru.