



REFERENCES

1. Lamps B. B. Otsenka vliyaniya osobennostey konstruktssii i nagruzki na napryazhyonnoe sostoyanie i prochnost ezdovykh poyasov sistem tipa podkranovo-podstropilnykh ferm [Assessment of the influence of the design features and load on the stress state and strength of the riding belts of the systems such as crane-sub-trusses]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01. 01.02.03 / Gorkovskiy ordena trudovogo krasnogo znameniy inzhenerno-stroitelnyy institut im. V. P. Chkalova. Gorky, 1983. – 220 p.
2. Eryomin K. I., Shulga S. N. Napryazhyonno-deformirovannoye sostoyaniye uzlov podkranovo-podstropilnykh ferm [The stress-strain state of sub-assemblies of crane-sub-trusses] // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]. – 2012. – № 4. – P. 52–54.
3. Lamps B. B., Khazov P. A., Markina Yu. D., Brikkel D. M. Vliyaniye zhyostkosti elementov reshyotki na podatlivost ezdovogo poyasa podkranovo-podstropilnoy fermy (PPF) [The effect of the rigidity of the grid elements on the pliability of the crane-sub-truss riding belt (PPF)] // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitekturo-stroitelnyy un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 2. – P. 29–37.
4. Perelmuter A. V., Slivker V. I. Raschyotnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza [Design models of structures and the possibility of their analysis]. – Izd. 4-e, pererab. i dop. Moscow: Izd-vo SKAD Soft, 2011. – 709 p. : il., tabl. – ISBN 978-5-903683-12-3.
5. SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdeystviya [Nagruzki i vozdeystviya]: aktualizirivannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85*. – Moscow: Minstroy Rossii, 2016. – 80 p.

© Б. Б. Лампси, Ю. Д. Маркина, П. А. Хазов, 2023

Получено: 02.12.2022 г.

УДК 624.046

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики, зав. лабораторией непрерывного контроля технического состояния зданий и сооружений; **Е. А. ЧИБАКОВА**, студент; **Г. А. КАЛИНИНА**, студент; **А. П. ПОМАЗОВ**, аспирант кафедры теории сооружений и технической механики, ассистент кафедры строительных конструкций

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НОРМАТИВНЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919;
эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

Ключевые слова: центрально-сжатый стержень, стальная труба, устойчивость, коэффициент продольного изгиба.

Приведены результаты испытаний круглых стальных труб различных длин и сечений на центральное сжатие. В результате потери устойчивости определены критические силы. По соотношениям критических сил выполнена оценка значений коэффициентов продольного изгиба. Выполнен расчет потери устойчивости по нормативной методике с учетом экспериментальных данных.

Введение

Результаты исследований в области прочности и устойчивости стальных труб и трубобетонных колонн различных расчетных длин и сечений содержат актуальные сведения о центрально-сжатых конструкциях [1–13]. Не менее значимой является тема исследований потери устойчивости, их численного и математического моделирования [7]. При этом актуальность экспериментального исследования не вызывает сомнений [4, 6, 7, 11, 13].

Стальные стрелы, работающие на центральное сжатие, находят широкое применение в строительной практике [2, 8, 9, 12]. Рассматриваемые элементы могут быть представлены как отдельными несущими конструкциями – колоннами металлических каркасов, так и составляющими систем – сжатыми стержнями рам, ферм, вантовых систем.

Нормативная методика позволяет произвести расчет критической силы, возникающей в стальном центрально-сжатом стержне в момент потери его устойчивости [14]. Однако достоверно оценить усилия и дать прогноз поведения стержня возможно только опытным путем. В связи с этим целью настоящей работы является оценка нормативных методик расчета потери устойчивости элементов стальных конструкций сквозного сечения при центральном сжатии.

Материалы и методы

Для изучения процесса потери устойчивости центрально-сжатых стержней из конструкционной стали марки 09Г2С были изготовлены образцы четырех видов: две трубы длиной 100 мм с сечениями 60×2 мм и 76×3 мм, две трубы длиной 700 мм с сечениями 60×2 мм и 76×3 мм (рис. 1).

Указанная производителем марка стали была подтверждена результатом испытания образца – разрушением с помощью пресса [13].

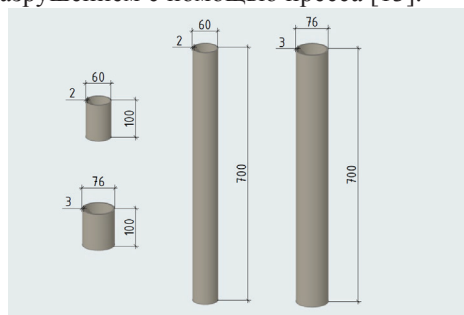


Рис. 1. Изготовленные стальные образцы

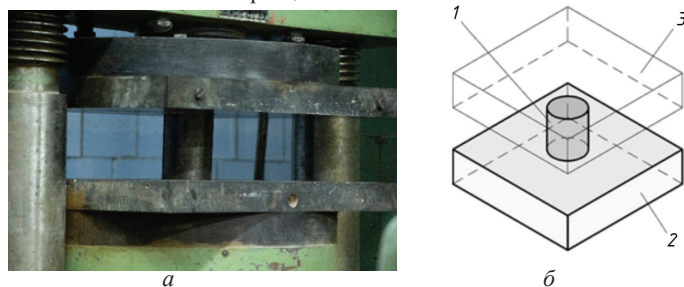


Рис. 2. Испытания образцов длиной 100 мм сечением 60×2 мм и 76×3 мм: *а* – общий вид экспериментальной установки; *б* – принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – испытуемый образец; 2 – подвижная загрузающая пластина; 3 – неподвижная загрузающая пластина

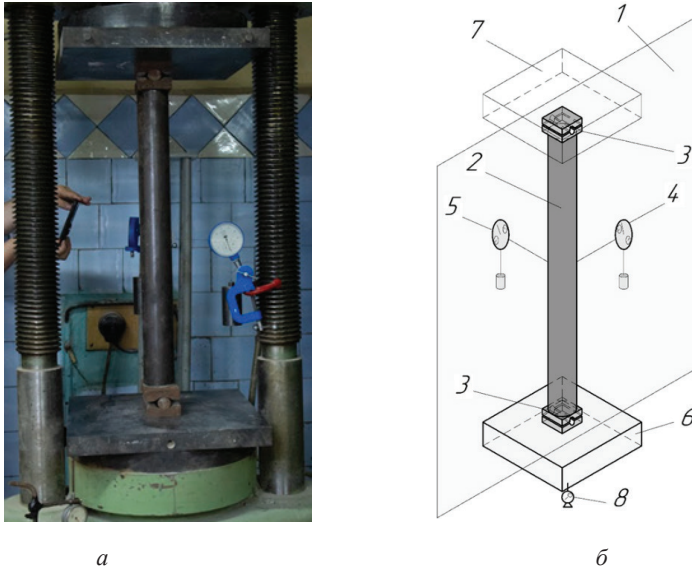


Рис. 3. Испытания образцов длиной 700 мм сечением 60×2 мм и 76×3 мм: *а* – общий вид экспериментальной установки; *б* – принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – плоскость потери устойчивости; 2 – испытуемый образец; 3 – цилиндрический опорный шарнир; 4 – прогибомер в плоскости потери устойчивости; 5 – прогибомер из плоскости потери устойчивости; 6 – подвижная загрузающая пластина; 7 – неподвижная загрузающая пластина; 8 – индикатор для регистрации сближения пластин

Для определения коэффициентов устойчивости при центральном сжатии образцы доводились до критического напряжения с помощью прессы П-125 с максимальной сжимающей нагрузкой 1200 кН. Образцы длиной 100 мм были испытаны по схеме, представленной на рис. 2. Испытания труб длиной 700 мм производились при условиях закрепления «шарнир-шарнир», при этом расчетная длина образцов соответствовала расстоянию между центрами шарниров и составляла 770 мм (рис. 3).

Результаты исследования

В серии испытаний о достижении критического напряжения свидетельствовала потеря устойчивости стенки образца (рис. 4*а, б*) или выпучивание образца (рис. 4*в, г*).

Потеря устойчивости произошла при максимальной нагрузке для каждого из образцов соответственно: длиной 100 мм и сечением 60×2 – 119 кН, сечением 76×3 – 220 кН, длиной 700 мм и сечением 60×2 – 103 кН, сечением 76×3 – 205 кН. Марка стали также была подтверждена по результатам испытаний 2 образцов: марка соответствовала 09Г2С с условным пределом текучести 320 МПа [13].

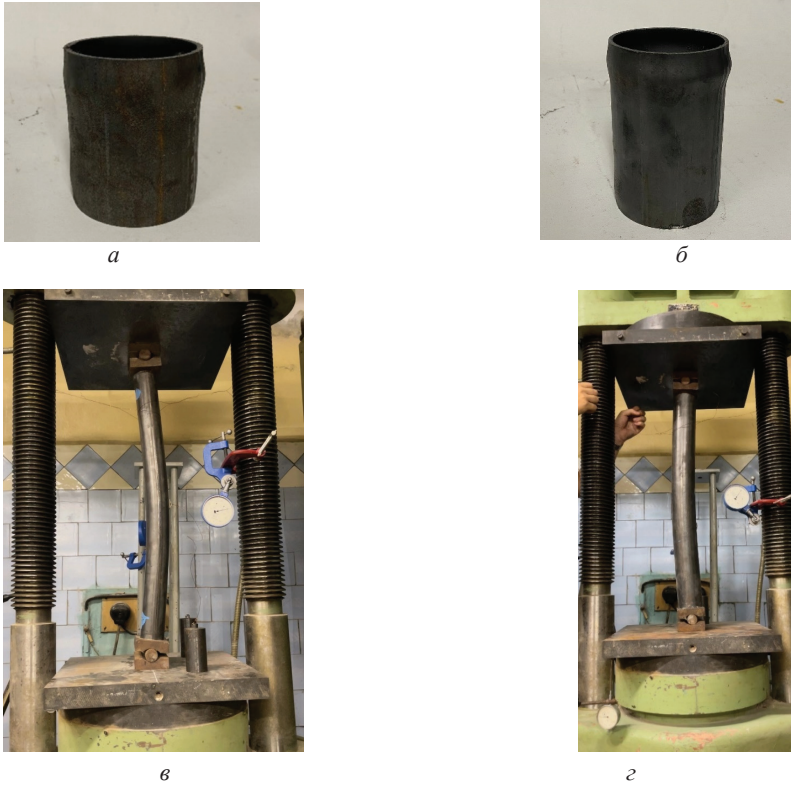


Рис. 4. Испытания образцов. Результаты достижения потери устойчивости: *а* – образцы длиной 100 мм сечением 60×2 мм; *б* – образцы длиной 100 мм сечением 76×3 мм; *в* – образцы длиной 700 мм сечением 60×2 мм; *г* – образцы длиной 700 мм сечением 76×3 мм

Процессы потери устойчивости образцами представлены на графиках (рис. 5–6). Экспериментально полученные показания критической силы занесены в таблицу.

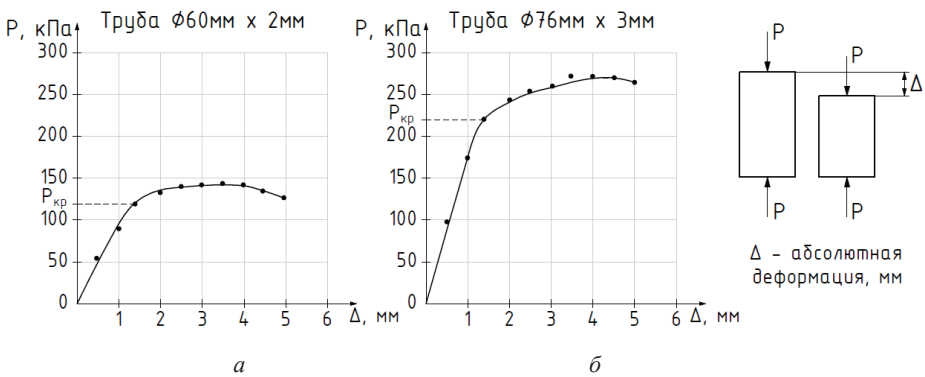


Рис. 5. Диаграммы продольного деформирования образцов длиной 100 мм: *а* – образец сечением 60×2 мм; *б* – образец сечением 76×3 мм

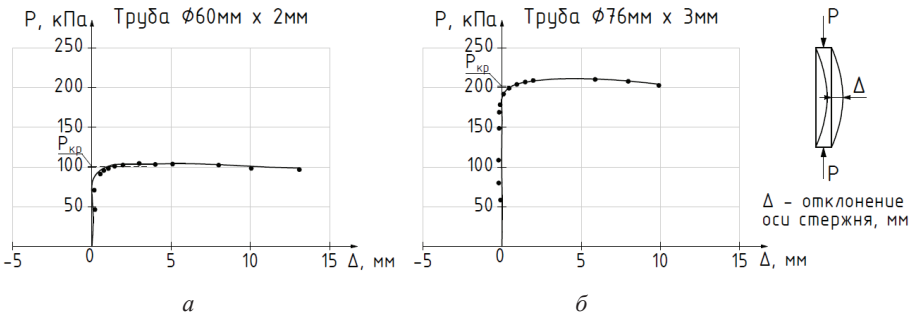


Рис. 6. Диаграммы потери устойчивости образцов с расчетной длиной 770 мм: *a* – образец сечением 60×2 мм; *б* – образец сечением 76×3 мм

Для дальнейших исследований выполнено сравнение полученных коэффициентов продольного изгиба с теоретическими характеристиками для полой стальной трубы, определенными по нормативным документам [14].

В соответствии с п. 7 [14] расчет элементов стальных конструкций сплошного и сквозного сечения с нормативным сопротивлением

$R_{yn} \leq 440 \text{ Н/мм}^2$ при центральной сжатии силой N следует выполнять по формуле:

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где A_n – площадь сечения нетто; R_y – расчетное сопротивление по пределу текучести; γ_c – коэффициент условий работы.

Расчет несущей способности образцов длиной 100 мм производится по формуле:

$$N \leq A_n R_y \gamma_c.$$

При расчете стальных конструкций на устойчивость I рода применяется формула:

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1,$$

где φ – коэффициент продольного изгиба; A – площадь сечения брутто.

Таким образом, несущая способность образцов длиной 700 мм может быть определена по формуле:

$$N \leq \varphi A R_y \gamma_c.$$

Коэффициент продольного изгиба может быть получен как отношение:

$$\varphi = \frac{N_{cr}^{\varphi}}{N_{cr}}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу



Результаты расчетов

Сечение, мм	Несущая способность				Коэффициент продольного изгиба
	Эксперимент, кН СП 16.13330.2017, кН	Погрешность, %	Эксперимент, кН СП 16.13330.2017, кН	Погрешность, %	
	$L = 100$ мм		$L = 770$ мм		
60×2	$\frac{119}{116,616}$	2,003	$\frac{103}{108,341}$	4,923	$\frac{0,866}{0,929}$
76×3	$\frac{220}{220,163}$	0,070	$\frac{205}{209,87}$	2,320	$\frac{0,932}{0,953}$

Выводы

Значения несущей способности для коротких и длинных образцов, а также коэффициенты продольного изгиба совпадают с рассчитанными согласно нормативным методикам. Возникающая при этом погрешность, не превышающая 5 %, является удовлетворительной при проведении технических расчетов. Безопасность реальной конструкции гарантирована двумя факторами:

1. Запас по нагрузке. В эксперименте определяется фактическая предельная нагрузка, при которой разрушается центрально-сжатый элемент. При определении расчетной нагрузки согласно СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия», ее нормативное значение (максимальная зафиксированная нагрузка за период наблюдений) умножается на коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f > 1$, что на практике говорит о недостижимости расчетного значения в процессе эксплуатации.

2. Запас по условиям работы. В эксперименте создавались идеальные шарнирные условия по концам стойки, что практически исключено в реальной практике проектирования центрально сжатых конструкций и их элементов. Например, наиболее приближенные к центрально сжатым элементы ферм в реальных конструкциях имеют ограниченную угловую податливость узлов, что приводит к уменьшению реальной расчетной длины и к увеличению несущей способности. Как правило, в расчетах это учитывается умножением расчетного сопротивления на коэффициент условий работы $\gamma_c < 1$, физический смысл которого сводится к нивелированию влияния упрощений и идеализации расчетной схемы. Именно таким упрощением в частности и является введение шарниров в узлы стержневых конструкций.

Итак, может быть сделан вывод, что современные методики расчета центрально-сжатых элементов согласовываются с данными экспериментов и гарантируют безопасную эксплуатацию строительных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cai, S. H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures / S. H. Cai. – Shanghai : China Communication Press, 2003. – 358 p.
2. Белый, Г. И. К расчету на устойчивость стержневых элементов стальных конструкций / Г. И. Белый. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 2 (37). – С. 44–48.
3. Белый, Г. И. Исследование прочности и устойчивости трубобетонных элементов



конструкций обратным численно-аналитическим методом / Г. И. Белый, А. А. Ведерникова. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 2 (85). – С. 26–35.

4. Канищев, Р. А. Анализ местной устойчивости трубобетонных конструкций прямоугольного сечения / Р. А. Канищев. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2016. – № 4 (64). – С. 59–68.

5. Кришан, А. Л. Новое конструктивное решение трубобетонных колонн / А. Л. Кришан. – Текст : непосредственный // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования : в 2 томах / под редакцией В. П. Савиных, В. В. Вишневого. – Москва, 2006. – Том 2. – С. 81–84. – ISBN 5-93411-043-8. – (III тысячелетие – новый мир).

6. Оценка прочности и устойчивости композитных сталежелезобетонных элементов с совместным применением стержневых и твердотельных расчетных моделей / А. А. Лапшин, П. А. Хазов, Д. А. Кожанов, С. Ю. Лихачева. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 9–16.

7. Устойчивость центрально-сжатых прямолинейных упругих стержней переменного сечения / С. Ю. Лихачева, Д. А. Кожанов, П. А. Хазов [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 2 (54). – С. 15–23.

8. Макаров, А. А. Стальные конструкции балочной клетки : методические указания / А. А. Макаров, В. С. Ивкин. – Ульяновск : Ульяновский государственный технический университет, 2008. – 44 с.

9. Металлические конструкции. В 3 томах. Том 2. Стальные конструкции зданий и сооружений / под общей редакцией В. В. Кузнецова ; ЦНИИ проектстальконструкция им. Н. П. Мельникова. – Москва : АСВ, 1998. – 512 с : ил. – (Справочник проектировщика). – ISBN 5-87829-057-X ; ISBN 5-87829-081-2.

10. Овчинников, И. И. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 1. Опыт применения трубобетона с металлической оболочкой / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, Г. В. Чесноков, Е. С. Михалдыкин. – Текст : электронный // Наукovedение : Интернет-журнал. – 2015. – Том 7, № 4. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (дата обращения: 11. 09. 2022).

11. Тамразян, А. Г. Испытание трубобетонных образцов малого диаметра с высоким коэффициентом армирования / А. Г. Тамразян, И. К. Манаенков. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 4 (72). – С. 57–62.

12. Трушин, С. И. Исследование устойчивости пространственной стальной конструкции покрытия в геометрически нелинейной постановке / С. И. Трушин, В. С. Парлашкевич, Т. А. Журавлева. – Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4-2. – С. 244–249.

13. Экспериментальное исследование прочности композитных трубобетонных образцов малогабаритных сечений / П. А. Хазов, В. И. Ерофеев, Д. М. Лобов, А. К. Ситникова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 3. – С. 36–43.

14. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции : актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменениями № 1, 2, 3, с Поправкой) : дата введения 28.08.2017. – Москва : Стандартинформ, – 2022. – 148 с. – Текст : непосредственный.

KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics, head of the laboratory of continuous monitoring the technical condition of buildings and structures; CHIBAKOVA Ekaterina Anatolevna, student; KALININA Galina Aleksandrovna, student; POMAZOV Artyom Pavlovich, postgraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics, assistant of the chair of building structures

EXPERIMENTAL EVALUATION OF NORMATIVE METHODS FOR CALCULATION OF THE STABILITY OF CENTRALLY COMPRESSED RODS



Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Ijinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96,
+7 (951) 919-0-919; e-mail: khazov.nngasu@mail.ru
Key words: centrally compressed rod, steel pipe, stability, buckling coefficient.

The article presents the results of testing round steel pipes of different lengths and sections on central compression. As a result of the loss of stability, critical forces were determined. The values of the buckling coefficients were determined from the ratios of the critical forces. The stability loss was calculated according to the normative method, taking into account the experimental data.

REFERENCES

1. Cai S.-H. (2003). Modern Street Tube Confined Concrete Structures. Communication Press China. – 2003. – P. 358.
2. Bely G. I. K raschyotu na ustoychivost sterzhnevyykh elementov stalnykh konstruksiy [To the calculation of the stability of the rod elements of steel structures] // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2013. – № 2 (37). – P. 44-48.
3. Bely G. I., Vedernikova A. A. Issledovanie prochnosti i ustoychivosti trubobetonnykh elementov konstruksiy obratnym chislenno-analiticheskim metodom [The study of the strength and stability of pipe-concrete structural elements by the reverse numerical-analytical method] // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. – 2021. – № 2 (85). – P. 26–35.
4. Kanishev R. A. Analiz mestnoy ustoychivosti trubobetonnykh konstruksiy pryamougolnogo secheniya [Analysis of local stability of pipe-concrete structures of rectangular section] // Inzhenerno-stroitelny zhurnal [Engineering and Construction Journal]. – 2016. № 4 (64). P. 59–68.
5. Krishan A. L. Novoe konstruktivnoe reshenie trubobetonnykh kolonn [New constructive solution of pipe-concrete columns] // Trudy Mezhdunarodnogo foruma po problemam nauki, tekhniki i obrazovaniya [Proceedings of the international forum on problems of science, technology and education] : v 2 tomakh / pod red. V.P. Savinykh, V. V. Vishnevskogo. – Moscow, 2006. Vol. 2. – P. 81–84. – ISBN 5-93411-043-8. – (III tisyacheletie – novy mir).
6. Lapshin A. A., Khazov P. A., Kozhanov D. A., Likhachyova S. Yu. Otsenka prochnosti i ustoychivosti kompozitnykh stalezhelezobetonnykh elementov s sovmestnym primeneniem sterzhnevyykh i tverdotelnykh raschyotnykh modeley [Assessment of the strength and stability of composite steel-reinforced concrete elements with joint use of rod and solid-state calculation models] // Privolzhsky nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t.– Nizhny Novgorod, 2021. – № 3. – P. 9–16.
7. Likhachyova S. Yu., Kozhanov D. A., Khazov P. A., et al. Ustoychivost tsentralno-szhatykh pryamolineynykh uprugikh sterzhney peremennogo secheniya [Stability of centrally compressed straight-lined elastic rods of variable cross section] // Privolzhsky nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t.– Nizhny Novgorod. – 2020. – № 2 (54). – P. 15–23.
8. Makarov A. A., Ivkin V. S. Stalnye konstruksii balochnoy kletki: metodicheskie ukazaniya [Steel structures of a beam cage: guidelines]. – Ulyanovsk: Ulyan. gos. tekhnich. un-t. – 2008. –44 p.
9. Metallicheskie konstruksii. V 3 t. T. 2. Stalnye konstruksii zdaniy i sooruzheniy [Metal structures. In 3 volumes. Vol. 2. Steel structures of buildings and structures] / pod obsch. red. V. V. Kuznetsova ; TsNII proektstalkonstruksiya im. N. P. Melnikova. – Moscow : ASV, 1998. – 512 p. : il. (Spravochnik proektirovshchika). – ISBN 5-87829-057-X ; ISBN 5-87829-081-2.
10. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. O probleme raschyota trubobetonnykh konstruksiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast 1. Opyt primeneniya trubobetona s metallicheskoy obolochkoy [On the problem of calculating pipe-concrete structures with a shell of different materials. Part 1. Experience in the use of pipe concrete with a metal shell] // Naukovedenie [Science] : Internet-zhurnal. 2015. Vol. 7, № 4. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/95TVN415.pdf> (data obrascheniya: 11.09.2022).



11. Tamrazyan A. G., Manaenkov I. K. Ispytanie trubobetonykh obraztsov malogo diametra s vysokim koeffitsientom armirovaniya [Testing of tube-concrete specimens of small diameter with a high coefficient of reinforcement] // Stroitelstvo I rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. – 2017. – № 4 (72). – P. 57–62.

12. Trushin S. I., Parlashkevich V. S., Zhuravlyova T. A. Issledovanie ustoychivosti prostranstvennoy stalnoy konstruksii pokrytiya v geometricheski nelineynoy postanovke [Investigation of the stability of the spatial steel structure of the coating in a geometrically nonlinear formulation] // Vestnik MGSU. – 2010. – № 4-2. – P. 244–249.

13. Khazov P. A., Erofeev V. I., Lobov D. M., Sitnikova A. K. Eksperimentalnoe issledovanie prochnosti kompozitnykh trubobetonykh obraztsov malogabaritnykh secheniy [The experimental research of the strength of composite steel tube confined concrete samples of small-sized sections] // Privolzhsky nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod. – 2022. – № 3. – P. 36–43.

14. SP 16.13330.2017. Stalnye konstruksii [Steel structures]: aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81* (s Izmeneniyami № 1, 2, 3, s Popravkoy) : data vved. 28.08.2017. – Moscow : Standartinform, – 2022. –148 p.

© П. А. Хазов, Е. А. Чибаква, Г. А. Калинина, А. П. Помазов, 2023

Получено: 02.12.2022 г.

УДК: 624.154+624.159.1(470.341-25)

**Ю. С. ГРИГОРЬЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры;
В. В. ФАТЕЕВ, ст. преп. кафедры архитектуры**

ОПЫТ ЗАМЕНЫ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ФУНДАМЕНТ КОРОБЧАТОГО ТИПА НА ИСКУССТВЕННОМ ОСНОВАНИИ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Ключевые слова: трехэтажный двухсекционный дом, свайный фундамент, коробчатый фундамент, искусственное основание.

Описан опыт замены свайных фундаментов на фундамент коробчатого типа на искусственном основании трехэтажного двухсекционного жилого дома.

Объект исследований, выполненных авторами, расположен в одном из пригородных поселков Нижнего Новгорода, территория которого застраивается однотипными 3-этажными 2-секционными жилыми домами, конструктивными особенностями которых являются: монолитный железобетонный каркас, монолитные железобетонные перекрытия, стены из газосиликатных блоков, парапеты из силикатного кирпича, однорядные свайные фундаменты под стенами и компактные группы свай под колоннами каркаса с монолитными железобетонными ростверками и фундаментными стенами (рис. 1–4, рис. 1 цв. вклейки).

Необходимость замены фундаментов и несущего слоя грунтового основания была выявлена в результате комплекса работ по освидетельствованию котлована, подготовленного для строительства одного из домов, по следующим причинам: