

DOI: 10.34031/article_5cb1e659ad3ed1.97635101

^{1,*}Василькин А.А., ¹Сафронов С.С., ¹Еремин К.Е.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

*E-mail: vasilkinaa@mgsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОЛОНН

Аннотация. В статье поставлена задача определения области эффективного применения сплошных и сквозных колонн постоянного по высоте сечения. В качестве метода исследования принят метод параметрической оптимизации. Принятый критерий оптимальности включает в себя стоимость стали, стоимость изготовления колонны и стоимость нанесения коррозионной защиты. Основными параметрами, влияющими на металлоемкость и стоимость колонны являются нагрузка, расчетная длина и радиус инерции сечения. В выполненном исследовании тип сечения колонны принят неизменяемым, в виде двутавра (является ограничением), нагрузка и длина колонны приняты в виде изменяемых параметров. Расчетная схема конструкции – центрально сжатая колонна с шарнирным закреплением базы и оголовка. По нормативным условиям устойчивости и предельной гибкости определена требуемая площадь поперечного сечения для каждого значения изменяемого параметра. Составлены диаграммы с выделенными областями оптимального применения по которым инженер-проектировщик может принять решение в выборе сплошного либо сквозного сечения колонны в зависимости от действующей нагрузки и длины колонны.

Ключевые слова: Область эффективного применения, параметрическая оптимизация, критерий оптимальности, несущая способность, площадь сечения колонны.

Введение. Как известно, проектируемые стальные конструкции должны удовлетворять ряду требований, основными из которых является требования прочности, надежности, а также экономической эффективности проектного решения [1–3].

Удовлетворение этих противоречивых требований достигается путем использования рациональных или эффективных проектных решений [4]. Чаще всего получение эффективных проектных решений достигают путем решения задачи оптимизации [5–7], либо выполнения вариантного проектирования [8–10], которое отличается от задачи оптимизации менее строгой математической постановкой.

Альтернативные проектные варианты могут отличаться между собой рядом параметров, а также расчетной, конструктивной или объемно-планировочной схемой [11–13]. При исследовании работы ответственных и уникальных конструкций может выполняться сравнение результатов расчета, полученных в различных вычислительных комплексах [14].

Анализ метода проектирования стальных конструкций показывает, что расчетная схема является одним из факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность и надежность строительных конструкций [15, 16], при выборе которой необходимо выполнить оценку многочисленных факторов и параметров [17]. Поэтому, для снижения трудоемкости вариантного проектирования, целесообразно пред-

варительно знать область эффективного применения различных типов конструкции.

Одним из основных несущих элементов каркаса любого сооружения является колонна – вертикальный элемент, воспринимающий вышележащие нагрузки и передающий их на фундамент. Конструктивно колонны могут иметь сплошное и сквозное сечение, открытое или замкнутое, постоянное и переменное по высоте [1, 18] (рис. 1).

Эффективность подобранного сечения колонны определяется условием равноустойчивости

$$\lambda_x = \lambda_y \quad (2)$$

т.е. сечение будет эффективным, с максимальным использованием несущей способности при условии одинаковой возможности потери устойчивости относительно двух главных осей.

В случае со сплошными колонными условию равноустойчивости удовлетворяют симметричные замкнутые сечения – труба, ЗГСП и составные сечения, а поскольку при одинаковой высоте сечения h , трубы имеют наибольший радиус инерции (рис. 2), то с точки зрения условия равноустойчивости, они являются наиболее эффективным типом сечений для сплошных центральносжатых колонн.

Для случая сквозных колонн условие равноустойчивости выполняется за счет определения требуемого расстояния между ветвями – s , которые соединяются между собой с помощью накладок или раскосов (рис. 3).

При проектировании колонны инженер может применить как сплошное, так и сквозное сечение. Достаточно соблюсти требования норм по обеспечению устойчивости и предельной гибкости и можно будет подобрать требуемое

сечение для любого проектного случая. Если мощности прокатных сечений будет недостаточно, то komponуется составное сечение из листовой или профильной стали.

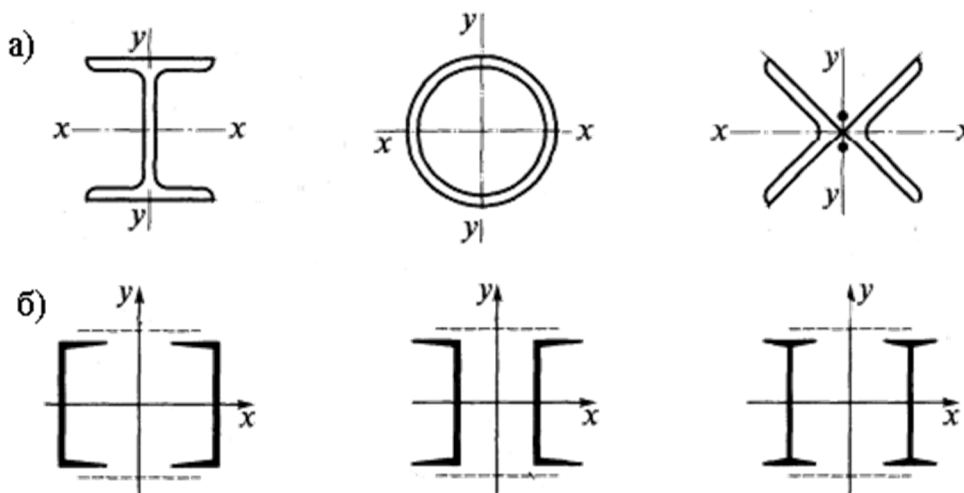


Рис. 1. Типы сечения колонн: а – сплошные, б – сквозные.

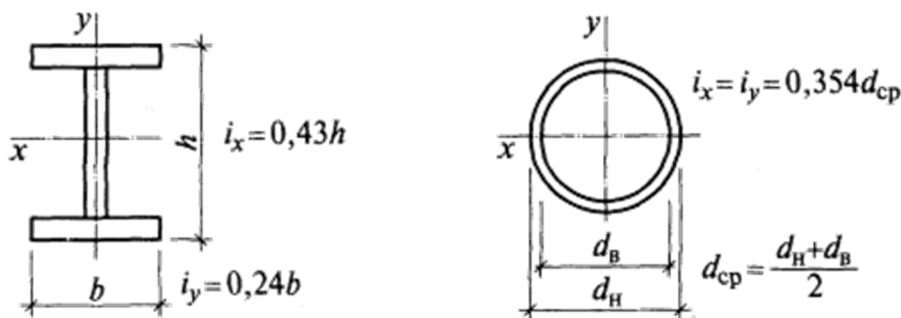


Рис. 2. Радиусы инерции сечений

При этом отсутствуют четкие указания, в каких случаях целесообразно применять сплошные, а в каких случаях сквозные колонны. Отечественная школа проектирования металлоконструкций на этот счет дает общие рекомендации, что сплошные колонны применяются при небольших высотах и значительных нагрузках, а сквозные сечения, соответственно, наоборот.

Таким образом, уточнение области эффективного применения сплошных и сквозных сечений колонн является достаточно актуальной задачей, возникающей на этапе вариантного проектирования.

Методология. При определении области эффективного применения колонн использован метод параметрической оптимизации [19].

Для решения задачи принимались переменные параметры объекта проектирования (табл. 1) и неизменяемые параметры – ограничения (табл. 2)

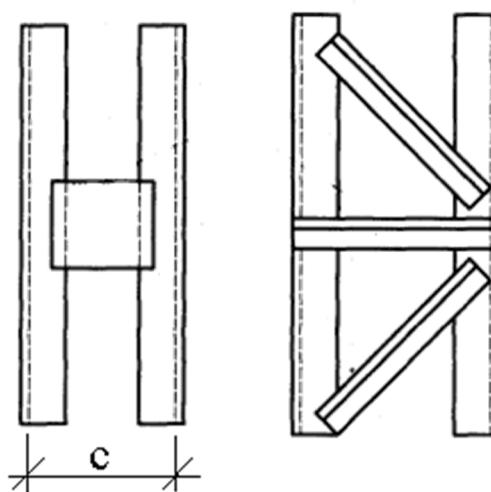


Рис. 3. Соединение ветвей сквозных колонн

Таблица 1

| Варьируемые параметры | Значения |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Длина колонны | От 5 до 11 метров с шагом 0,5 метра |
| Расчетная нагрузка | От 500 до 4000 кН с шагом 500 кН |

Таблица 2

| Неизменяемые параметры | Значения |
|-----------------------------------|---|
| Тип сечения сплошной колонны | Колонный двутавр по ГОСТ 26020-83 |
| Тип сечения сквозной колонны | Двухветвевая колонна из колонных двутавров по ГОСТ 26020-83. Соединение ветвей на планках |
| Материал конструкции, класс стали | C245 |

Было принято шарнирное закрепление в оголовке и базе колонны в двух главных плоскостях. При работе колонн на центральное сжатие несущая способность колонны (замкнутого сечения) определяется условием устойчивости [1]

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \gamma_c \quad (2)$$

Далее выбирались различные значения действующей нагрузки на колонну и длины колонны из табл. 1. и по известным нормативным условиям устойчивости и предельной гибкости, определялась требуемая площадь поперечного сечения для случая сплошной и сквозной колонны. Затем площадь сечения элемента умножалась на длину колонны, в результате чего определялась масса конструкции. Также, для каждого проектного случая, вычислялась площадь поверхности колонн для определения затрат на антикоррозионную обработку.

В настоящем исследовании в качестве основного типа сечения приняты колонные двутавры, у которых высота сечения практически совпадает с шириной полки. В это случае, устойчивость сквозной колонны относительно свободной оси всегда будет выше устойчивости относительно материальной оси. Поэтому расстояние между ветвями определялось не из условия равностойчивости, недостижимого в данном случае, а по конструктивным соображениям – 100 мм в чистоте между ветвями для удобства нанесения антикоррозионного покрытия.

На втором этапе исследования определялась стоимость конструкции. Наиболее полным критерием оптимальности конструкции, является

«стоимость в деле» [20, 21], однако представляется, что в современных условиях стоимость изготовления, монтажа и эксплуатации имеет больше экономическое обоснование, зависящее от текущей рыночной ситуации, которое сложно принять в качестве основания для сравнения вариантов. В работе [22] предложена методика определения критерия оптимальности по минимуму приведенных затрат, однако сами авторы признают, что полный и точный расчет по этому критерию является достаточно сложной задачей с большим количеством допущений.

Поэтому в настоящем исследовании целевая функция принята из двух слагаемых: стоимости материала и стоимости изготовления

$$C = C_m + C_{и} = A \cdot l \cdot \rho \cdot C_{ед} + C_{и} \quad (3)$$

A – площадь сечения колонны; l – длина конструкции; ρ – плотность стали; $C_{ед}$ – рыночная стоимость тонны стали [21]; $C_{и}$ – стоимость изготовления [21].

В стоимость изготовления конструкции колонны входит приемка и заготовка металлопроката, сборки и сварка металлоконструкции, также была включена цена за эмаль и покраска ею конструкции, так как площадь поверхности элементов различается.

$$C_{и} = C_{пр} + C_3 + C_{сб} + C_c + C_{п} \quad (5)$$

где $C_{и}$ – стоимость изготовления колонны; $C_{пр}$ – стоимость приемки металла; C_3 – стоимость заготовки металла; $C_{сб}$ – стоимость сборки конструкции; C_c – стоимость сварки; $C_{п}$ – стоимость нанесения антикоррозионной защиты, включающей в себя подготовку поверхности, стоимость грунтовки, стоимость покраски [23].

Результаты. В результате последовательного определения массы конструкции для случая сплошной и сквозной колонны были построены графики изменения массы от варьируемых параметров. На рис. 4. показан пример изменения массы колонны длиной 8,5 м при различных значениях нагрузки. Из анализа графика следует, что при нагрузке до 1000 кН меньшую массу имеет сплошная колонна, а свыше 1000 кН – сквозная конструкция колонны.

На первом этапе в качестве критерия оптимальности принималась металлоёмкость. Соответственно сечение с минимальной массой принимается оптимальным для данных проектных характеристик. Точка пересечения графиков массы для сплошной и сквозной колонны (точка А на рис. 4) показывает такое значение нагрузки q и высоты колонны l , для которых оба проектных варианта будут одинаково эффективными. Назовем точку А точкой условного равновесия.

Далее, сравнивая массы колонн для остальных значений параметров конструкции (табл. 1), находим аналогичные равновесные точки. По найденным точкам строится график, который очерчивает области эффективного применения

сплошной и сквозной колонны по критерию оптимальности «металлоемкость» (см. рис. 5). Граница области является в определенной степени условной.

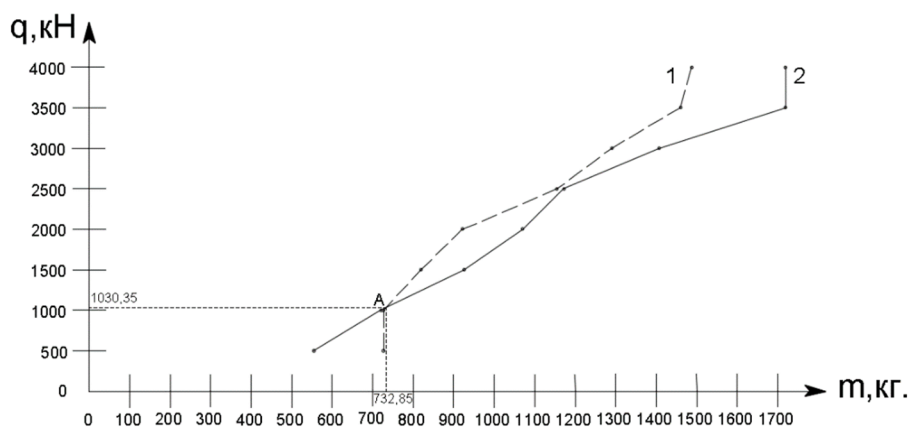


Рис. 4. График зависимости массы конструкции: 1 – сплошная колонна; 2 – сквозная колонна

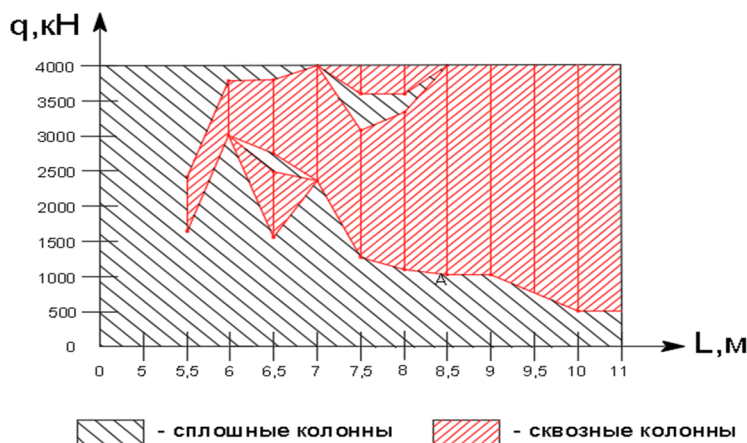


Рис. 5. Область оптимального применения для критерия оптимальности «металлоемкость»

На втором этапе исследования учитывалась стоимость материала и стоимость изготовления конструкции колонны. Аналогично этапу 1, по полученным результатам стоимости конструк-

ции были построены графики зависимости стоимости конструкции от приложенной нагрузки. На рис. 6 показан подобный график для колонны длиной 8,5 м.

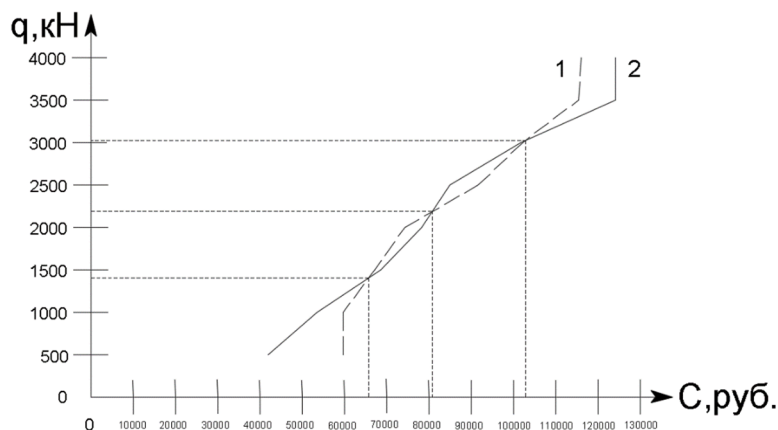


Рис. 6. График зависимости стоимости: 1 – сплошная колонна; 2 – сквозная колонна

Далее, по аналогичным графикам были найдены точки равновесной стоимости конструкции и построена область эффективного

применения сплошного и сквозного типов сечения колонн относительно расчетной нагрузки и длины колонны (см. рис. 7).

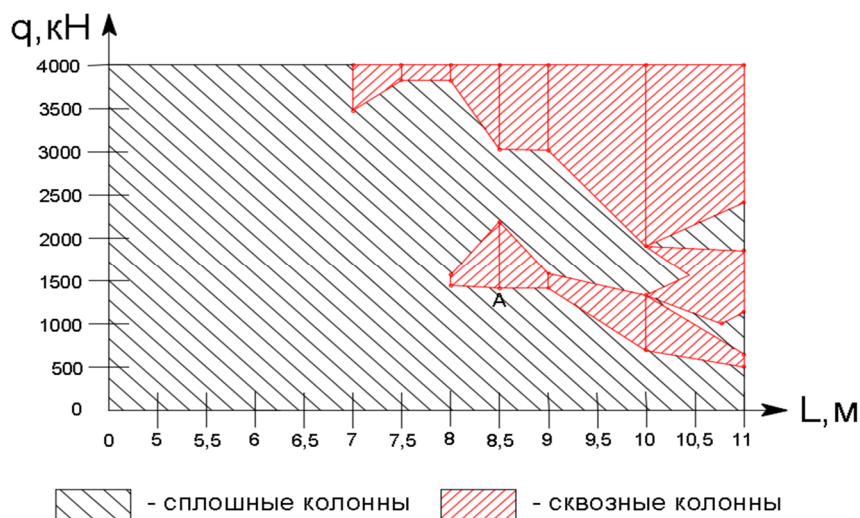


Рис. 7. Область оптимального применения для критерия оптимальности «стоимость»

Выводы. В результате проведенного исследования определены области эффективного применения сплошного и сквозного типа сечения центрально-сжатой колонны. Полученные диаграммы могут быть полезны при выполнении курсового проектирования по дисциплине «Металлические конструкции, включая сварку» студентами, обучающимися по направлению «Строительство», а также могут быть использованы в качестве рекомендаций при проектировании. Дальнейшим развитием данного исследования является учет дополнительных типов сечений, а также создание комплексной автоматизированной системы поиска области эффективного применения [24].

Источник финансирования. Грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации № НШ-3492.2018.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парлашкевич В.С., Василькин А.А., Булатов О.Е. Проектирование и расчет металлических конструкций рабочих площадок. Москва, 2013. 152 с.
2. Гинзбург А.В., Василькин А.А. Постановка задачи оптимального проектирования стальных конструкций // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 52–62.
3. Перельмутер А.В. Очерки по истории металлических конструкций. Москва, 2012. 191 с.
4. Мирошникова И.М., Синенко С.А. Комплексная модель системы выбора рациональных решений по организации строительных процес-

сов при возведении многоэтажных зданий // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 6 (84). С. 71–75.

5. Vasilkin A.A. System engineering of optimal design of building constructions elements // Proceedings of the METNET seminar 2014 in Moscow. HAMK university of applied sciences. 2014. Pp. 123–130.

6. Grebenyuk Grigory, Veshkin Maxim, Maksak Vladislav, Nosireva Olga Stress-strain state analysis and optimization of rod system under periodic pulse load MATEC Web of Conferences 143, 01003 (2018) YSSIP-2017.

7. Xin-She Yang, G. Bekdaş Sinan M. Nigdeli. Review and Applications of Metaheuristic Algorithms in Civil Engineering. In: Metaheuristics and Optimization in Civil Engineering. Springer 2018. DOI 10.1007/978-3-319-26245-1.

8. Василькин А.А. Системотехника проектирования металлических конструкций // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2013. №8. С. 118–123.

9. Lysenko D., Chelyshkov P. The method of optimization of energy-efficient engineering solutions by varying criteria in cad. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. P. 022027.

10. Козырева В.В., Волков А.А. Модель многоагентной системы для автоматизации вариантного проектирования стержневых конструкций // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 301–308.

11. Кирсанов М.Н. К выбору решетки балочной фермы // Строительная механика инже-

нерных конструкций и сооружений. 2017. № 3. С. 23–27.

12. Jootoo A., Lattanzi D. Extraction of Structural System Designs from Topologies via Morphological Analysis and Artificial Intelligence. Designs 2018. 2. 8. doi:10.3390/designs2010008.

13. Ouhimmou S., Hani A.EI, Ellaia R., Tkiouat M. Contribution to Development of Reliability and Optimization Methods Applied to Mechanical Structures. Applied Mathematics. 2013. 4. 19–24 <http://dx.doi.org/10.4236/am.2013.41005>.

14. Перельмутер А.В. Сопоставление конкурирующих результатов расчета // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Т. 12. № 3. С. 104–113.

15. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54–60.

16. Ковальчук О.А., Тамразян А.Г. К исследованию математической модели балок с трещинами. В книге: Развитие фундаментальных основ науки и образования в строительстве Сборник тезисов XIV Международной научно-практической конференции. 2017. С. 39–41.

17. Ключева Н.В., Горностаев С.И. К вопросу выбора расчетной модели для оценки жесткости железобетонных конструкций // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 1 (64). С. 71–74.

18. Белый Г.И. К расчету на устойчивость стержневых элементов стальных конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 2 (37). С. 44–48.

19. Василькин А.А. Интеграция инструментов структурной и параметрической оптимизации на этапе поискового проектирования стальных конструкций // Научный журнал строительства и архитектуры. 2018. № 1 (49). С. 22–28.

20. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. 319 с.

21. Стрелецкий Н.С., Стрелецкий Д.Н. Проектирование и изготовление экономичных металлических конструкций. М.: Стройиздат, 1964. 358 с.

22. Левченко В.Н., Левченко Д.В., Брыжтый О.Э. Анализ эффективности строительных конструкций, выполненных из различных материалов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. № 6 (128). С. 86–91.

23. Завод металлоконструкций Аполло [Электронный ресурс]. URL: apollo-zmk.ru (дата обращения 24.10.2018).

24. Гинзбург А.В., Лобырева Я.А., Семернин Д.А. Системный подход при создании комплексных автоматизированных систем управления и проектирования в строительстве // Научное обозрение. 2015. № 16. С. 461–464.

Информация об авторах

Василькин Андрей Александрович, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций. E-mail: vasilkinaa@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Сафронов Сергей Сергеевич, студент. E-mail: trew9045@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Еремин Кирилл Евгеньевич, студент. E-mail: kirill.eremin.97@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Поступила в январе 2019 г.

© Василькин А.А., Сафронов С.С., Еремин К.Е., 2019

^{1,*}Vasilkin A.A., ¹Safronov S.S., ¹Eremin K.E.

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Russia 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

*E-mail: vasilkinaa@mgsu.ru

RESEARCH ON EFFECTIVE USE OF STEEL COLUMNS

Abstract. The article sets the task of determining the area of effective application of solid and through columns. The parametric optimization method is used as a research method. The accepted optimality criterion includes the cost of steel, the cost of column manufacturing and the cost of applying corrosion protection. The main parameters affecting the intensity of metal and cost of the column are the load, the calculated length and the radius of inertia of the section. In the study, the type of cross-section of the column is adopted unchanged, in the form of an I-beam (is a limitation); the load and length of the column are taken as varia-

ble parameters. The design scheme of the structure is a centrally compressed column with hinged fastening of the base and the head. According to the regulatory conditions of stability and ultimate flexibility, the required cross-sectional area for each value of the variable parameter is determined. Charts with selected areas of optimal application are compiled; it helps the design engineer to choose between a solid or through section of the column, depending on its actual load and length.

Keywords: the area of effective application, parametric optimization, optimality criterion, bearing capacity, the cross-sectional area of the column.

REFERENCES

1. Parlashkevich V.S., Vasilkin A.A., Bulatov O.E. Design and calculation of metal structures of work sites [*Proektirovanie i raschet metallicheskih konstrukcij rabochih ploshchadok*]. Moscow, 2013. 152 p. (rus)
2. Ginzburg A.V., Vasilkin A.A., Statement of the problem of optimal design of steel structures [*Postanovka zadachi optimal'nogo proektirovaniya stal'nyh konstrukcij*]. Vestnik MGSU. 2014. No. 6. Pp. 52–62. (rus)
3. Perelmuter A.V. Essays on the history of metal structures [*Ocherki po istorii metallicheskih konstrukcij*]. Moscow, 2012. 191 p. (rus)
4. Miroshnikova I.M., Sinenko S.A. An integrated model of the system of choosing rational decisions on the organization of construction processes in the construction of multi-storey buildings [*Kompleksnaya model' sistemy vybora racional'nyh reshenij po organizacii stroitel'nyh processov pri vozvedenii mnogoetazhnyh zdaniy*]. Science and business: ways of development. 2018. No. 6 (84). Pp. 71–75. (rus)
5. Vasilkin A.A. System engineering of optimal design of building constructions elements. Proceedings of the METNET seminar 2014 in Moscow. HAMK university of applied sciences, 2014. Pp. 123–130.
6. Grebenyuk Grigory, Veshkin Maxim, Maksak Vladislav, Nosireva Olga Stress-strain state analysis and optimization of rod system under periodic pulse load MATEC Web of Conferences 143, 01003 (2018) YSSIP-2017.
7. Xin-She Yang, G. Bekdaş Sinan M. Nigdeli. Review and Applications of Metaheuristic Algorithms in Civil Engineering. In: Metaheuristics and Optimization in Civil Engineering, Springer 2018. DOI 10.1007/978-3-319-26245-1.
8. Vasilkin A.A. Systems engineering of design of metal structures [*Sistemotekhnika proektirovaniya metallicheskih konstrukcij*]. Priority scientific directions: from theory to practice. 2013. No. 8. 118–123 p. (rus)
9. Lysenko D., Chelyshkov P. The method of optimization of energy-efficient engineering solutions by varying criteria in cad. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment, 2018. P. 022027.
10. Kozyrev V.V., Volkov A.A. The model of multiagent system for automatization of version design of frame structures [*Model' mnogoagentnoj sistemy dlya avtomatizacii variantnogo proektirovaniya sterzhnevnyh konstrukcij*]. Vestnik MGSU. 2013. No. 10. Pp. 301–308. (rus)
11. Kirsanov M.N. The choice of the lattice girder. Structural mechanics of engineering constructions and buildings [*K vyboru reshetki balochnoj fermy*]. 2017. No. 3. Pp. 23–27. (rus)
12. Jootoo A., Lattanzi D. Extraction of Structural System Designs from Topologies via Morphological Analysis and Artificial Intelligence. Designs 2018, 2, 8; doi:10.3390/designs2010008.
13. Ouhimmou S., Hami A.El, Ellaia R., Tkiouat M. Contribution to Development of Reliability and Optimization Methods Applied to Mechanical Structures. Applied Mathematics. 2013. 4. 19–24 <http://dx.doi.org/10.4236/am.2013.41005>.
14. Perelmuter A.V. Comparison of competing calculation results [*Sopostavlenie konkuriruyushchih rezul'tatov rascheta*]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016, Vol. 12. No. 3. Pp. 104–113. (rus)
15. Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformation models of reinforced concrete under special effects [*Deformacionnye modeli zhelezobona pri osobyyh vozdeystviyah*]. Industrial and civil engineering. 2018. No. 8. Pp. 54–60. (rus)
16. Kovalchuk O.A., Tamrazyan A.G. To study the mathematical model of beams with cracks. [*K issledovaniyu matematicheskoy modeli balok s treshchinami*] V knige: Razvitie fundamental'nyh osnov nauki i obrazovaniya v stroitel'stve Sbornik tezisov XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2017. Pp. 39–41. (rus)
17. Klyueva N.V. Gornostaev S.I. On the choice of a computational model for assessing the stiffness of reinforced concrete structures [*K voprosu vybora raschetnoj modeli dlya ocenki zhestkosti zhelezobonnyh konstrukcij*]. News of southwest state University. 2016. No. 1 (64). Pp. 71–74. (rus)
18. Belyi G.I. To the calculation of the stability of the rod elements of steel structures [*K raschetu na ustojchivost' sterzhnevnyh ehlementov stal'nyh konstrukcij*]. Bulletin of civil engineers. 2013, No. 2 (37). Pp. 44–48. (rus)
19. Vasilkin A.A. Integration of structural and parametric optimization tools at the stage of search

design of steel structures [*Integraciya instrumentov strukturnoj i parametricheskoj optimizacii na ehtape poiskovogo proektirovaniya stal'nyh konstrukcij*]. Scientific journal of civil engineering and architecture. 2018. No. 1 (49). Pp. 22–28. (rus)

20. Likhtarnikov Y.M. Variant design and optimization of steel structures [*VARIANTNOE PROEKTIROVANIE I OPTIMIZACIYA STAL'NYH KONSTRUKCIJ*]. M.: Stroyizdat, 1979. 319 p. (rus)

21. Streletskaya N.S. Streletsky D.N. Design and manufacture of economical metal structures [*Proektirovanie i izgotovlenie ehkonomichnyh metallicheskih konstrukcij*]. M.: Stroyizdat, 1964, 358 p. (rus)

22. Levchenko V.N., Levchenko V.D., Brigety O. E. Analysis of the effectiveness of build-

ing structures made of different materials [*Analiz ehffektivnosti stroitel'nyh konstrukcij, vypolnennyh iz razlichnyh materialov*]. Bulletin of the Donbass national Academy of construction and architecture. 2017. No. 6 (128). Pp. 86–91. (rus)

23. Metal construction plant “Apollo” [*Zavod metallokonstrukcij Apollo*]. URL:apollo-zmk.ru (date of appeal 24.10.2018). (rus)

24. Ginzburg A.V., Lobareva Y.A., Semernin D.A. System approach to creation of complex automated control and design systems in construction [*Sistemnyj podhod pri sozdanii kompleksnyh avtomatizirovannyh sistem upravleniya i proektirovaniya v stroitel'stve*]. Scientific review. 2015. No. 16. Pp. 461–464. (rus)

Information about the authors

Vasilkin, Andrey A. PhD, Assistant professor. E-mail: vasilkinaa@mgsu.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Safronov, Sergey S. Bachelor student. E-mail: trew9045@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Eremin, Kirill E. Bachelor student. E-mail: kirill.eremin.97@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Received in January 2019

Для цитирования:

Василькин А.А., Сафронов С.С., Еремин К.Е. Исследование области эффективного применения стальных колонн // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 53–60. DOI: 10.34031/article_5cb1e659ad3ed1.97635101

For citation:

Vasilkin A.A., Safronov S.S., Eremin K.E. Research on effective use of steel columns. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 53–60. DOI: 10.34031/article_5cb1e659ad3ed1.97635101