



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS**

2022, ТОМ 28, НОМЕР 2, 79–86
УДК 691.88

(22)-0440-1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРУБЧАТЫХ БОЛТОВ

С. С. Никишина

*Академия строительства и архитектуры ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»,*

194, ул. Молодогвардейская, Самара, Россия, 443001.

E-mail: Nikishina.Sveta@yandex.ru

Получена 22 апреля 2022; принята 27 мая 2022

Аннотация. Одной из основных задач строительства в современной России является снижение его себестоимости и повышение эффективности. Новые экономические условия определяют особенности подхода к выбору эффективных технологий, изделий и конструкций. Говоря о рациональном использовании металла, все производственно-технические направления можно подразделить на различные виды мероприятий, одним из которых является направление внедрения экономичных и эффективных видов соединений, использование которых обеспечивает экономию металла. В работе представлено исследование болтов трубчатой конструкции, разработанной при изучении соединений тонкостенных стержней. Также приведено сравнение металлоемкости соединений тонкостенных элементов при помощи трубчатых болтов и болтов класса прочности 5.6 класса точности В, обычно используемых для соединения стальных конструкций. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью снижения расхода металла, повышения эффективности конструкции.

Ключевые слова: тонкостенные элементы, болты, метизы, трубчатый болт, эффективные соединения, работа болтов на срез, расчет соединяемых элементов на смятие, болтовые соединения, работающие на сдвиг, уменьшение металлоемкости, эффективное соединение.

ПРОЕКТУВАННЯ З'ЄДНАННЯ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРУБЧАСТИХ БОЛТІВ

С. С. Нікішина

*Академія будівництва і архітектури ФДБОУ ВО «Самарський державний
технічний університет»,*

194, вул. Молодогвардійська, Самара, Росія, 443001.

E-mail: Nikishina.Sveta@yandex.ru

Отримана 22 квітня 2022; прийнята 27 травня 2022.

Анотація. Одним з основних завдань будівництва в сучасній Росії є зниження його собівартості та підвищення ефективності. Нові економічні умови визначають особливості підходу до вибору ефективних технологій, виробів та конструкцій. Говорячи про раціональне використання металу, всі виробничо-технічні напрями можна поділити на різні види заходів, одним з яких є напрямок впровадження економічних та ефективних видів з'єднань, використання яких забезпечує економію металу. В роботі представлено дослідження болтів трубчастої конструкції, розробленої щодо сполук тонкостінних стрижнів. Також наведено порівняння металоемності з'єднань тонкостінних елементів за допомогою трубчастих болтів та болтів класу міцності 5.6 класу точності В, що зазвичай використовуються для з'єднання сталевих конструкцій. Актуальність цієї теми зумовлена зниженням витрати металу, підвищення ефективності конструкції.

Ключові слова: тонкостінні елементи, болти, металовироби, трубчастий болт, ефективні з'єднання, робота болтів на зріз, розрахунок елементів, що з'єднуються на зминання, болтові з'єднання, що працюють на зсув; зменшення металомісткості, ефективне з'єднання.

DESIGNING THE CONNECTION OF THIN-WALLED ELEMENTS USING TUBULAR BOLTS

Svetlana Nikishina

Academy of Civil Engineering and Architecture Samara State Technical University,

194, Molodogvardeiskaya Str., Samara, Russia, 443001.

E-mail: Nikishina.Sveta@yandex.ru

Received 22 April 2022; accepted 27 May 2022.

Abstract. One of the main tasks of construction in modern Russia is to reduce its cost and increase efficiency. New economic conditions predetermine the peculiarities of the approach to the choice of efficient technologies, products and structures. Speaking about the rational use of metal, all production and technical areas can be divided into various types of activities, one of which is the direction of introducing economical and efficient types of compounds, the use of which ensures metal savings. The paper presents a study of bolts of a tubular structure developed in the study of thin-walled rod connections. Also, a comparison of the metal consumption of connections of thin-walled elements using tubular bolts and bolts of strength class 5.6 of accuracy class B, commonly used for connecting steel structures, is given. The relevance of this topic is due to a decrease in metal consumption, an increase in the efficiency of the structure.

Keywords: thin-walled elements, bolts, hardware, tubular bolt, effective compounds, work of bolts on a cut, calculation of connected elements for crushing, shear bolted connections, reduction of metal consumption, efficient connection.

Введение

Экономическая эффективность металлоконструкций определяется экономией металла и снижением стоимости конструкций. Уменьшение расхода металла, снижение общей массы конструкций могут быть достигнуты:

- – выбором оптимальных конструкций, обеспечивающих концентрацию материала и совмещение в отдельных элементах нескольких функций;
- – внедрением большепролетных пространственных конструкций, стержневых и тросовых систем с работой металла на растяжение;
- – заменой, при возможности, прокатных профилей гнутыми тонкостенными, применением в элементах конструкций рациональных профилей, обладающих наибольшей жест-

костью при наименьшей площади сечения, в том числе тонкостенных труб;

- – широким применением термически упрочненных углеродистых, высокопрочных и низколегированных сталей;
- – применением комплексных конструкций из сталей повышенной прочности в более напряженных элементах и из обычных углеродистых в менее напряженных; биметаллических, например, из стали и алюминия; из железобетона в сжатых элементах конструкций и стали в растянутых; сталебетонных, деревометаллических, металлопластовых и др.;
- – совершенствованием методов расчета конструкций, выбором оптимальных расчетных схем, отражающих действительную работу материалов в конструкции;

- – применением различных методов воздействия на работу конструкций, таких как предварительное напряжение, и др.;
- – целесообразным решением сопряжения конструкций, уменьшающим массу металла и упрощающим работы по соединению элементов.

Стоимость металлоконструкций складывается из 5 основных составляющих: стоимости проектирования, стоимости самого металла, стоимости транспортировки, стоимости изготовления конструкций и стоимости монтажа.

Основная часть стоимости металлоконструкций (70 % и более) приходится на сам материал, поэтому общим направлением снижения стоимости металлоконструкций была и остается экономия металла, и в этом плане снижение стоимости металлоконструкций отвечает и общегосударственной задаче экономии металлов. Однако снижение стоимости металла не всегда пропорционально уменьшению его массы, так как эффективные марки и профили металла менее массивны в конструкциях, но нередко значительно дороже.

Снижение стоимости металлоконструкций может быть достигнуто также в результате удешевления их производства и монтажа, сокращения транспортных расходов и стоимости проектных работ. Последнее может быть достигнуто за счет развития типового проектирования, унификации конструктивных и расчетных схем зданий и сооружений массового строительства, типизации и унификации элементов узлов и конструкций и т. п.

В то же время вопросы экономии металла и снижения стоимости конструкций решаются

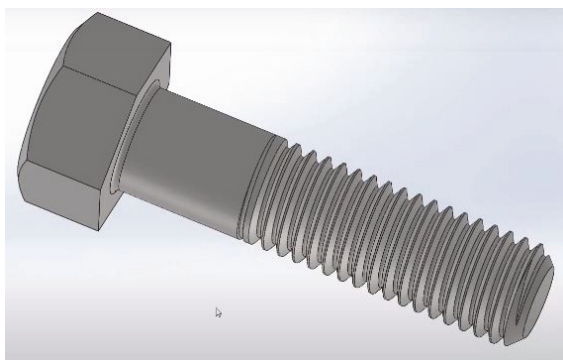


Рисунок 1. Болт класса прочности 5.6, класса точности В.

именно на стадии проектной разработки. Доля же самих проектных разработок в общей стоимости конструкций очень мала (до 2–3%). Поэтому следовало бы говорить скорее не об абсолютном снижении стоимости проектирования, а о повышении его эффективности, возможно даже при некотором увеличении стоимости.

Оптимизация проектных решений и конструкторских разработок опирается на принцип вариантного выбора и поиска новых форм конструкций, позволяющих максимально использовать специфические свойства металла. Такой поиск был и остается основным направлением технического прогресса, в конечном итоге определяющим и саму экономику строительства.

Конструкция трубчатого болта

В данной работе разработана конструкция трубчатых болтов для соединения тонкостенных элементов.

На рис. 1 показан болт класса прочности 5.6, класса точности В, обычно используемый для соединения стальных конструкций.

На рис. 2 показан прототип трубчатого болта, выполненный в программе SolidWorks 2020.

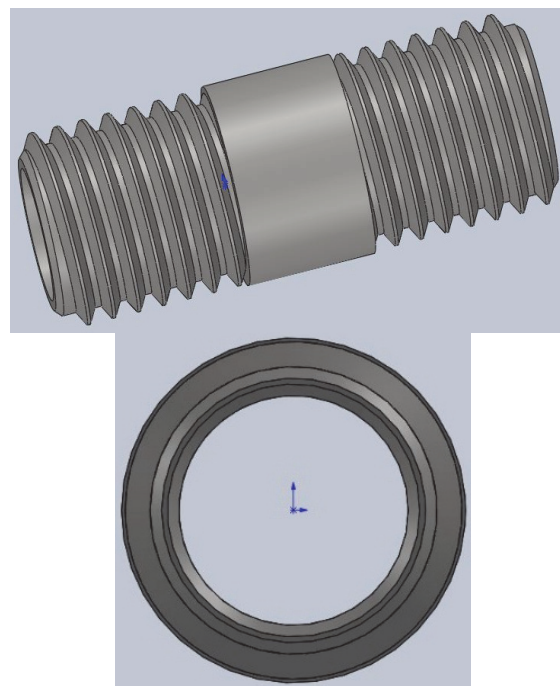


Рисунок 2. Прототип трубчатого болта, выполненный в программе SolidWorks.

Настоящие результаты исследования распространяются на проектирование следующих видов болтовых соединений, воспринимающих сдвиговые нагрузки, в стальных строительных конструкциях различного назначения: срезные, или соединения без контролируемого натяжения болтов, в которых действующие усилия передаются посредством работы болтов на срез и соединяемых элементов на смятие. В особенности целесообразность применения трубчатых болтов явно проявляется при работе в соединениях тонкостенных элементов.

Рассмотрим соединение двух тонкостенных элементов профиля ПН 300×80, $t = 2$ мм по ТУ 1121-001-02562392-2016.

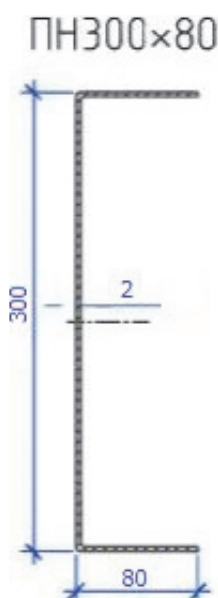


Рисунок 3. Профиль ПН 300×80.

Расчет на прочность

Выполнив расчет на прочность, получим максимальное усилие в элементе, затем найдем необходимое количество болтов в соединении.

Тонкостенный профиль ПН 300х80, сталь марки 320.

Максимальное усилие

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m},$$

в соответствии с табл. 6.1 [1], где $\gamma_m = 1,025$, по п. 6.2 [1]

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m} = \frac{320}{1,025} = 312,2 \text{ МПа}$$

$A = 9,20 \text{ см}^2$ по ТУ 1121-001-02562392-2016;

$\gamma_c = 0,9$ в соответствии с табл. 5.1 [1];

$N = 9,20 \cdot 312,2 \cdot 0,9 = 258,5 \text{ кН}$.

Расчет на смятие

Для соединения тонкостенных элементов примем болты класса прочности 5.6, класса точности В, диаметром 30 мм ($R_{tm} = 360$ МПа по ГОСТ 7798-70 «Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры»).

В соответствии с СП 260.1325800.2016 в соединениях на болтах, винтах, дюбелях и вытяжных заклепках их несущую способность определяют сопротивлением смятию соединяемых тонкостенных элементов в контакте с винтом или заклепкой по формуле:

$$N_{bp} = d \cdot \sum t \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c,$$

где d – номинальный внутренний диаметр резьбы по дну впадины самонарезающего винта, диаметр заклепки или дюбеля;

$\sum t$ – наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов;

R_{bp} – расчетное сопротивление смятию одноболтового соединения;

γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения по СП 16.13330.2017 (табл. 41 [2]);

γ_c – коэффициент условий работы соединяемых элементов (табл. 5.1 [1]).

$$N_{bp} = d \cdot \sum t \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 3,0 \cdot 0,4 \cdot 47,5 \cdot 0,9 \cdot 1 = 51,3 \text{ кН}$$

Расчет болтов на срез

Руководствуясь СП 16.13330.2017 [2] необходимо произвести проверку прочности болта на срез.

Несущая способность болта на срез:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c,$$

где N_{bs} – число расчетных срезов одного болта;

A_b – площадь сечения стержня болта брутто;

R_{bs} – расчетное сопротивление срезу одноболтового соединения;

γ_b – коэффициент условий работы болтового соединения по СП 16.13330.2017 (табл. 41 [2]);

γ_c – коэффициент условий работы соединяемых элементов (табл. 5.1 [1]).

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 21,0 \cdot 7,06 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 133,43 \text{ кН}$$

При расчетах на срез и смятие находятся два значения расчетных усилий для болтовых соединений, но в качестве основного принимается меньшее из них. Принимаем $N_{bp} = 51,3 \text{ кН}$

$$\text{Количество болтов } n = \frac{N}{N_{bp}} = \frac{258,5}{51,3} = 5,04$$

Принимаем 6 болтов.

Расчет трубчатого болта

Трубчатый болт изготавливаем из трубы по ГОСТ 8734-75 «Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные» из стали марки 20 ($R_{ym} = 245 \text{ МПа}$).

В соответствии с полученным расчетным усилием произведем расчет трубчатого болта того же диаметра ($d = 30 \text{ мм}$).

Расчетное сопротивление трубы на срез:

$$R_{bs} = 0,58 \cdot \frac{R_{ym}}{\gamma_m} = 0,58 \cdot \frac{245}{1,025} = 141,02 \text{ МПа,}$$

где γ_m – коэффициент надежности по материалу = 1,025 по п. 6.2 [1].

Несущая способность трубчатого болта:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c$$

Площадь круглого кольцевого сечения:

$$A_b = \pi \cdot \frac{(d^2 - d_1^2)}{4},$$

$$d_1 = d - 2t,$$

$$t = \frac{d - \sqrt{d^2 - \frac{4 \cdot A_b}{\pi}}}{2},$$

$$t = \frac{3 - \sqrt{3^2 - \frac{4 \cdot 4,04}{3,14}}}{2} = 0,52 \text{ см} = 5,2 \text{ мм}$$

Примем толстостенную трубу по ГОСТ 8734-75 $d = 30 \text{ мм}$ с толщиной стенки 5,5 мм.

$$d_1 = d - 2t = 30 - 2 \cdot 5,5 = 19 \text{ мм}$$

$$A_b = \pi \cdot \frac{(d^2 - d_1^2)}{4} = 3,14 \cdot \frac{(3^2 - 1,9^2)}{4} = 4,23 \text{ см}^2$$

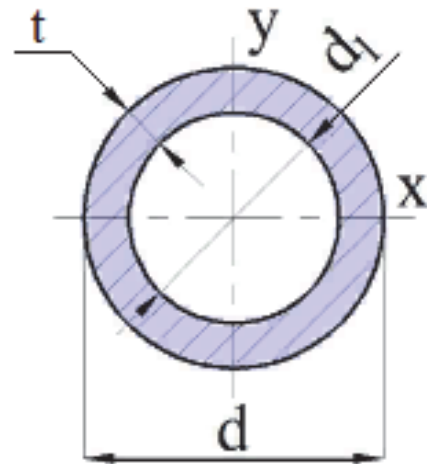


Рисунок 4. Определение площади круглого кольцевого сечения.

Соответственно, несущая способность данного трубчатого болта $d = 30 \text{ мм}$ с толщиной стенки $t = 5,5 \text{ мм}$:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 14,1 \cdot 4,23 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 53,68 \text{ кН}$$

несущая способность трубчатого болта обеспечена.

Анализ расхода металла

Приведем сравнение массы обычного болта с массой болта трубчатого исполнения.

Масса болта класса точности В, класса прочности 5.6 М-30 длиной $l = 100 \text{ мм}$ по ГОСТ 7798-70 составляет 803 грамма.

Масса трубчатого болта, выполненного из трубы $d = 30 \text{ мм}$ с толщиной стенки $t = 5,5 \text{ мм}$ и длиной $l = 100 \text{ мм}$ в соответствии с ГОСТ 8734-75 составляет 332,3 грамма. (3,323 кг масса 1 м трубы $d = 30 \text{ мм}$ с толщиной стенки $t = 5,5 \text{ мм}$).

Таким образом, используя болты трубчатого исполнения мы можем обеспечить снижение расхода металла на метизы до 2,5 раз.

Металлоемкости соединений

Сравним металлоемкости соединений на рассмотренных выше обычных болтах и на болтах трубчатого исполнения (табл.)

Таким образом, используя болты трубчатого сечения мы можем достичь снижения металлоемкости до 20 %.

Таблица. Металлоемкости соединений

Металлоемкость соединений			
Тип соединения	Составляющие	Масса	Общая металлоемкость соединения
Соединение на обычных болтах	Болт М-30 (ГОСТ 7798-70) Гайка (ГОСТ 5915-70) Шайба (ГОСТ 11371-78)	803,0 гр. 242,54 гр. 50,47 гр.	1096,01 гр.
Соединение с использованием трубчатых болтов	Трубчатый болт (ГОСТ 8734-75) Гайка (ГОСТ 5915-70) в количестве 2 шт. Шайба (ГОСТ 11371-78) в количестве 2 шт.	332,3 гр. 485,08 гр. 100,94 гр.	918,32 гр.

Литература

- СП 260.1325800.2016. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованного профиля и гофрированных листов. Правила проектирования = Cold-formed thin-walled steel profile and galvanized corrugated plate constructions. Design, rules : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 г. № 881/пр. : введен впервые : дата введения 2017-06-04 / разработан ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова». – Москва : Стандартиформ, 2016. – 124 с. – Текст : непосредственный.
- СП 16.13330.2017. Стальные конструкции = Steel structures : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : актуализированная редакция СНиП П-23-81 : дата введения 2017-08-28 / разработан АО «НИЦ «Строительство». – Москва : ОАО «ЦПП», 2017. – 151 с. – Текст : непосредственный.
- ГОСТ 8734-75. Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные. Сортамент = Seamless steel tubes cold deformed. Range : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного Комитета стандартов Совета Министров СССР от 13 октября 1975 г. № 2604 : взамен ГОСТ 8734-58 : дата введения 1977-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1979. – 19 с. – Текст : непосредственный.
- ГОСТ 7798-70. Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры = Hexagon bolts, product grade B. Construction and dimensions : издание официальное : утвержден и

References

- SP 260.1325800.2016. Cold-formed thin-walled steel profile and galvanized corrugated plate constructions. Design, rules. – Moscow : Standartinform, 2016. – 124 p. – Text : direct. (in Russian)
- SP 16.13330.2017. Steel structures. – Moscow : JSC «СРР», 2017. – 151 p. – Text : direct. (in Russian)
- GOST 8734-75. Seamless steel tubes cold deformed. Range. – Moscow : Standards Publishing House, 1979. – 19 p. – Text : direct. (in Russian)
- GOST 7798-70. Hexagon bolts, product grade B. Construction and dimensions. – Moscow : Standartinform, 2010. – 12 p. – Text : direct. (in Russian)
- GOST 5915-70. Hexagon nuts, product grade B. Construction and dimensions. – Moscow : Standartinform, 2010. – 5 p. – Text : direct. (in Russian)
- GOST 11371-78. Washer. Specifications. – Moscow : Standartinform, 2006. – 6 p. – Text : direct. (in Russian)
- Kuznetsov, I. L.; Dymolazov, M. A.; Gimranov, L. R. Light metal structures. Calculation examples : educational and methodical manual. – Kazan : Publishing house of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, 2018. – 137 p. – Text : direct. (in Russian)
- Rybakov, V. A. Fundamentals of structural mechanics of light steel thin-walled structures : tutorial. – St. Petersburg : Publishing house of the Polytechnic University, 2011. – 207 p. – Text : direct. (in Russian)
- Recommendations for the design of bolted shear connections in steel building structures / Central Research and Design Institute of Building Metal Structures. – Moscow : Rotaprint, 1990. – 26 p. – Text : direct. (in Russian)
- Noifert, E. ; translation from German Feldman, K. Sh.; Kuzmina Yu. M. Building design. – [39-th edition revised and enlarged]. – Moscow : Architecture-C, 2011. – 576 p. – Text : direct. (in Russian)

- введен в действие Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 04 марта 1970 г. № 270 : взамен ГОСТ 7798-62 : дата введения 1972-01-01 / разработан Министерством черной металлургии СССР. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 12 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 5915-70. Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры = Hexagon nuts, product grade В. Construction and dimensions : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 18 февраля 1970 г. № 178 : взамен ГОСТ 5915-62 : дата введения 1972-01-01 / разработан Министерством черной металлургии СССР. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 5 с. – Текст : непосредственный.
 6. ГОСТ 11371-78. Шайбы. Технические условия = Washer. Specifications : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 июня 1978 г. № 1674 : взамен ГОСТ 11371-68 : дата введения 1979-01-01 / разработан Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. – Москва : Стандартинформ, 2006. – 6 с. – Текст : непосредственный.
 7. Кузнецов, И. Л. Легкие металлические конструкции. Примеры расчета : учебно-методическое пособие / И. Л. Кузнецов, М. А. Дьмолазов, Л. Р. Гимранов. – Казань : Издательство Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2018. – 137 с. – Текст : непосредственный.
 8. Рыбаков, В. А. Основы строительной механики легких стальных тонкостенных конструкций : учебное пособие / В. А. Рыбаков. – Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, 2011. – 207 с. – Текст : непосредственный.
 9. Рекомендации по проектированию работающих на сдвиг болтовых соединений стальных строительных конструкций / ЦНИИпроектстальконструкция. – Москва : Ротапринт, 1990. – 26 с. – Текст : непосредственный.
 10. Нойферт, Э. Строительное проектирование / Э. Нойферт ; перевод с немецкого К. Ш. Фельдмана, Ю. М. Кузьминой. – [39-е издание переработанное и дополненное]. – Москва : Архитектура-С, 2011. – 576 с. – Текст : непосредственный.
 11. Bowles, Joseph E. Structural steel design / Joseph E. Bowles. – New York : McGraw-Hill Companies, 1980. – 1230 с. – Текст : непосредственный.
 12. Брудка, Я. Легкие стальные конструкции / Я. Брудка, М. Лубиньски ; перевод с польского под редакцией С. С. Кармилова. – 2-е издание, дополненное. – Москва : Стройиздат, 1974. – 342 с. – Текст : непосредственный.
 13. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций / Г. Шпете ; перевод с немецкого
 11. Bowles, Joseph E. Structural steel design. – New York : McGraw-Hill Companies, 1980. – 1230 p. – Text : direct. (in English)
 12. Brudka, Ya.; Lubinski, M. ; translation from Polish edited by Karmilov, S. S. Light steel structures. – 2-nd edition, revised. – Moscow : Stroiizdat, 1974. – 342 p. – Text : direct. (in Russian)
 13. Shpete, G. ; translation from German Andreev, O. O. Reliability of load-bearing building structures. – Moscow : Stroiizdat, 1994. – 288 p. – Text : direct. (in Russian)
 14. Engel, Kh. ; translation from German Andreeva, L. A. Carrier systems. – Moscow : Astrel, 2007. – 344 p. – Text : direct. (in Russian)
 15. Gardner, L. ; translation from English Gardner, L., Neterkot, D. A. ; series editor Gulvanesyan, H. Designer's guide to Eurocode 3: Design of steel structures EN 1993-1-1, 1993-1-3, EN 1993-1-8. – Moscow : MSBU, 2012. – 224 p. – Text : direct. (in Russian)
 16. Mandrikov, A. P. Examples of calculation of metal structures : textbook for technical schools. – 2-nd edition, revised and enlarged. – Moscow : Stroiizdat, 1991. – 431 p. – Text : direct. (in Russian)
 17. Brudka, Ya. ; translation from Polish Zaitseva, I. V.; Kravtsov, A. F. Tubular steel structures. – Moscow : Stroiizdat, 1975. – 207 p. – Text : direct. (in Russian)
 18. Budur, A. I.; Belogurov, V. D. Designer's Handbook. Steel structures. – Kyiv : Steel, 2004. – 300 p. – Text : direct. (in Russian)
 19. Khart, F.; Khenn, V.; Zontag, Kh. ; translation from German L. Ruf, V.; Grineva, E. K. Atlas of steel structures. Multi-storey buildings. – Moscow : Stroiizdat, 1977. – 351 p. – Text : direct. (in Russian)
 20. Geizen, L. ; translation from German Krit, G. I.; Tubin, S. M. Metal constructions. – Moscow : Moscow scientific publishing house «Makiz», 1928. – 228 p. – Text : direct. (in Russian)

- О. О. Андреев. – Москва : Стройиздат, 1994. – 288 с. – Текст : непосредственный.
14. Энгель, Х. Несущие системы / Х. Энгель ; перевод с немецкого Л. А. Андреева. – Москва : Астрель, 2007. – 344 с. – Текст : непосредственный.
 15. Гарднер, Л. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, 1993-1-3, EN 1993-1-8 ; перевод с английского Гарднер, Д. А. Нетеркот ; редактор серии Х. Гульванесян. – Москва : МГСУ, 2012. – 224 с. – Текст : непосредственный.
 16. Мандриков, А. П. Примеры расчета металлических конструкций : учебное пособие для техникумов / А. П. Мандриков. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Стройиздат, 1991. – 431 с. – Текст : непосредственный.
 17. Брудка, Я. Трубчатые стальные конструкции / Я. Брудка ; перевод с польского И. В. Зайцевой, А. Ф. Кравцова. – Москва : Стройиздат, 1975. – 207 с. – Текст : непосредственный.
 18. Будур, А. И. Справочник конструктора. Стальные конструкции / А. И. Будур, В. Д. Белогуров. – Киев : Сталь, 2004. – 300 с. – Текст : непосредственный.
 19. Харт, Ф. Атлас стальных конструкций. Многоэтажные здания / Ф. Харт, В. Хенн, Х. Зонтаг ; перевод с немецкого Л. В. Руф, Е. К. Гринева. – Москва : Стройиздат, 1977. – 351 с. – Текст : непосредственный.
 20. Гейзен, Л. Металлические конструкции / Л. Гейзен ; перевод с немецкого Г. И. Крит, С. М. Тубин. – Москва : Московское научное издательство «Макиз», 1928. – 228 с. – Текст : непосредственный.

Никишина Светлана Сергеевна – магистрант кафедры металлических и деревянных конструкций Академии строительства и архитектуры ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Научные интересы: расчёт и проектирование вертикальных цилиндрических резервуаров, повышение эффективности методик расчёта оболочек на устойчивость.

Нікішина Світлана Сергіївна – магістрант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій Академії будівництва і архітектури ФДБОУ ВО «Самарський державний технічний університет». Наукові інтереси: розрахунок та проектування вертикальних циліндричних резервуарів, підвищення ефективності методик розрахунку оболонок на стійкість.

Nikishina Svetlana – Master's student, Metal and Wooden Structures Department, Academy of Civil Engineering and Architecture of the Samara State Technical University. Scientific interests: calculation and design of vertical cylindrical tanks, increasing the efficiency of shell calculation methods for stability.