

Напряженное состояние стальной пролетной конструкции при различных решениях расчетной схемы

Н.В. Линьков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Аннотация: В статье предоставлены результаты расчета стальной пролетной конструкции. Рассмотрено 2 варианта расчетной схемы. В схеме №1.1 изгибающий момент воспринимается балочными элементами. В схеме №1.2 изгибающий момент воспринимается совместно балочными элементами и конструкциями вант. Выполнено сравнение результатов определения изгибающих моментов в пролете конструкции и поперечных сил на опоре.

Ключевые слова: главная балка, второстепенная балка, колонна, граничные условия, нагрузки, изгибающий момент, поперечная сила, шарнир, заделка, сталь, двутавр, САПР.

Введение

Применение в современном проектировании и строительстве вантовых конструкций, в качестве конструктивного решения, дает возможность создавать сооружения уникальной геометрии, формы и очертания, а также эффективно перекрывать значительные по величине пролеты [1, 2]. Основным несущим элементом в вантовых конструкциях является гибкая нить в виде ванта. Важнейшим преимуществом вантовых конструкций является то, что в растянутых элементах эффективно используется вся площадь сечения вант и применяются высокопрочные стали, что обеспечивает малый собственный вес несущей конструкции [3]. При выполнении монтажа и в процессе устройства не требуются подмости и леса, что снижает экономические расходы. Важным качеством вант является способность сохранять прочность при действии больших величин нагрузок.

На сегодняшний день современные методы компьютерного проектирования строительных конструкций позволяют проектировщикам моделировать расчетные схемы, получая результат максимально близкий к реальной работе конструкции [4-6].

При оценке прочности изгибаемых конструкций в рамках первой группы предельных состояний возникает необходимость проверки сечения изгибаемого элемента на максимальную величину изгибающего момента, а также на максимальную возникающую поперечную силу, которые традиционно называют проверками нормальных и касательных напряжений. При значительных величинах пролетов значения изгибающего момента и поперечной силы достаточно велики, чтобы воспринять их действие только сечением балочного элемента – например двутавра. Традиционным решением в таком случае является изменение расчетной схемы элемента. Введение дополнительных элементов приводит к перераспределению усилий, за счет включения в работу новых конструктивных элементов. Для металлических и деревянных конструкций такое конструктивное решение имеет название «шпренгельных систем», когда возрастает нагрузка на изгибаемые элементы введение в середине пролета балки нового стоечного элемента и замыкание системы в шпренгельную за счет стальных тяжей, меняет схему работы блочного изгибаемого элемента на двухпролетную неразрезную, а также позволяет изменить величину изгибающего момента.

Цель данной работы – оценить усилия, возникающие в стальной пролетной конструкции, путем сравнения величин изгибающего момента в пролете балочных элементов и поперечной силы на опоре, а также установить влияние на получаемый расчетный результат включением в расчетную схему вантовых конструкций, при помощи современных САПР-систем [7].

Предметом исследования является напряженное состояние стальной пролетной конструкции под действием нагрузки [8, 9].

Общие данные расчетной модели

За основу примем стальную пролетную конструкцию, выполняемую из двутавров балочного и колонного типа. В состав конструкции входят

колонны, продольные и поперечные балки. Общие геометрические параметры, характеристики и применяемые условные обозначения конструкции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Общие характеристики стальной пролетной конструкции

Параметр	Обозначение параметра	Единица измерения	Значение
1	2	3	4
Пролет конструкции главной балки	$L_{ГБ}$	м	20
Высота колонн 1яруса	H_{K1}	м	10
Высота колонн 2яруса	H_{K2}	м	10
Шаг колонн	B_K	м	10

Проектно-расчётный программный комплекс Autodesk Robot Structural Analysis Professional, на основе которого выполняется расчетная схема, реализован как система прочностного анализа и проектирования конструкций на основе метода конечных элементов и позволяет определить напряженно-деформированное состояние конструкции, дает возможность выполнять статический и конструктивный расчет элементов расчетной схемы [10].

Модель пролетной конструкции создается на основе пространственного признака схемы – шесть степеней свободы в узле: перемещения по осям X, Y, Z; повороты вокруг осей U_x , U_y , U_z . Жесткости элементов конструкции приняты по ГОСТ Р 57837-2017 – в виде стальных горячекатаных двутавров с параллельными гранями полок. Сечения основных элементов назначены: главные балки – двутавр балочный 30Б1, второстепенные балки – двутавр балочный 20Б1, стойки – двутавр колонный 30К1. В качестве граничных условий для конструкции замоделировано

жесткое опирание в нижних опорных узлах стоек. Было сформировано нагружение в виде нагрузки по поверхности величиной 10 кН/м^2 . Общий вид стальной пролетной конструкции представлен на рисунке 1.

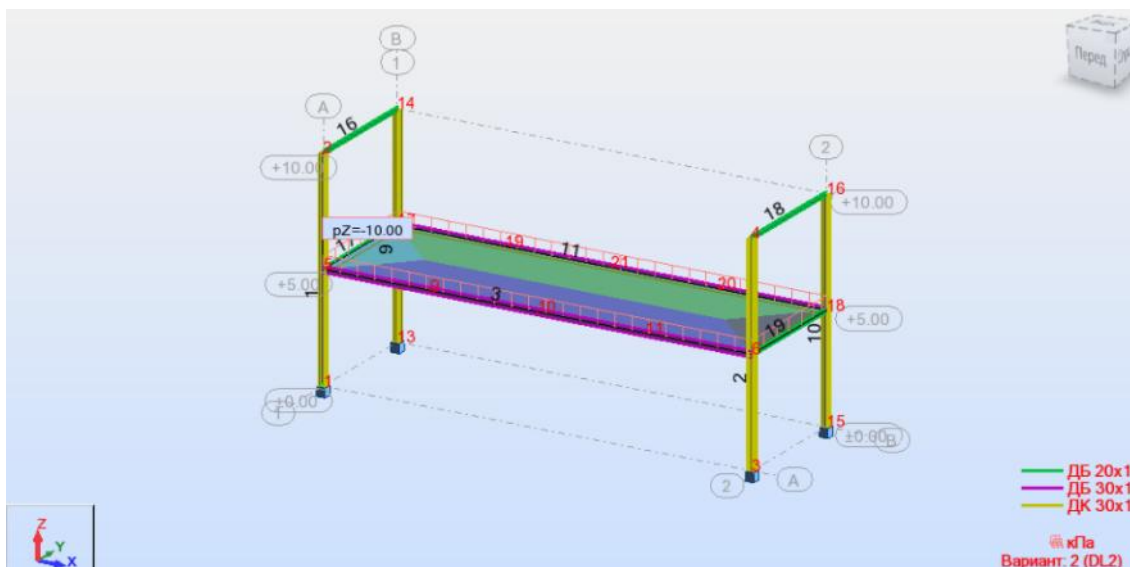


Рисунок 1. Общий вид конструкции – схема 1.1

Для уменьшения величины изгибающего момента в пролете главных балок выполним устройство вантовых элементов в расчетной схеме. Теория вантовых элементов в Autodesk Robot Structural Analysis Professional основана на теории нитей с малыми значениями провисания - жесткость ванты является неявной функцией следующих параметров: жесткости ванты на растяжение, натяжения ванты, перемещения точек крепления ванты, поперечных нагрузок в обоих направлениях. При решении задачи используются итерационные методы расчета конструкций. Функциональные возможности программного комплекса Autodesk Robot Structural Analysis Professional позволяют широко применять вантовые элементы как составную часть пространственных расчетных схем. При этом возможны следующие типы расчета конструкций: линейный и нелинейный расчет, деформированная схема, расчеты устойчивости, динамический расчет, расчет колебаний, расчет на сейсмические воздействия. Общий вид стальной пролетной конструкции с вантами представлен на рисунке 2.

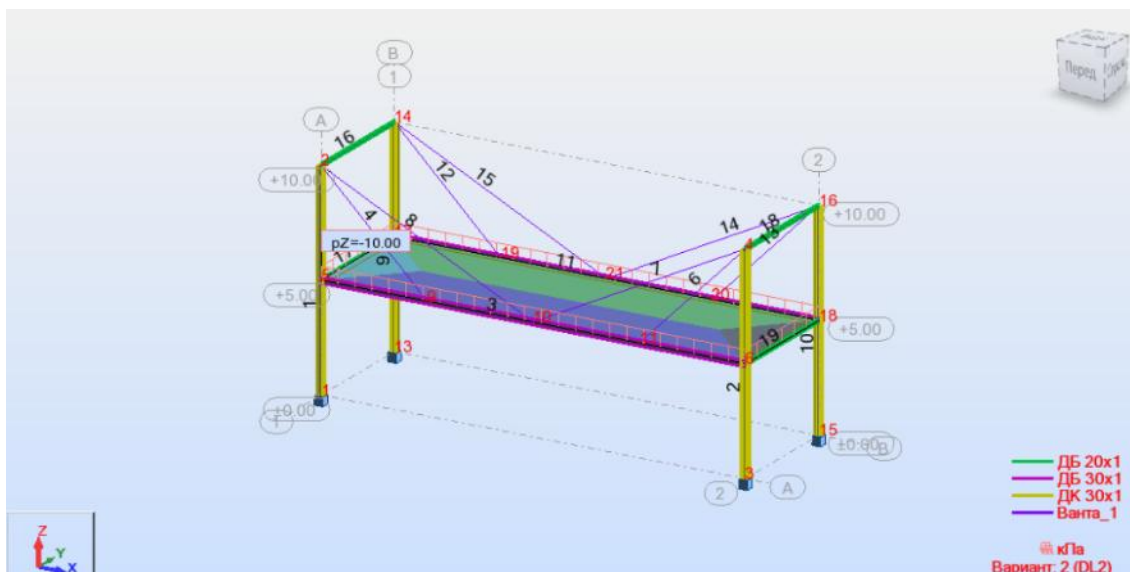


Рисунок 2. Общий вид конструкции с вантами – схема 1.2

На рисунке 3 представлены результаты расчета стальной пролетной конструкции, в случае, когда нагрузка целиком воспринимается элементами главных балок.

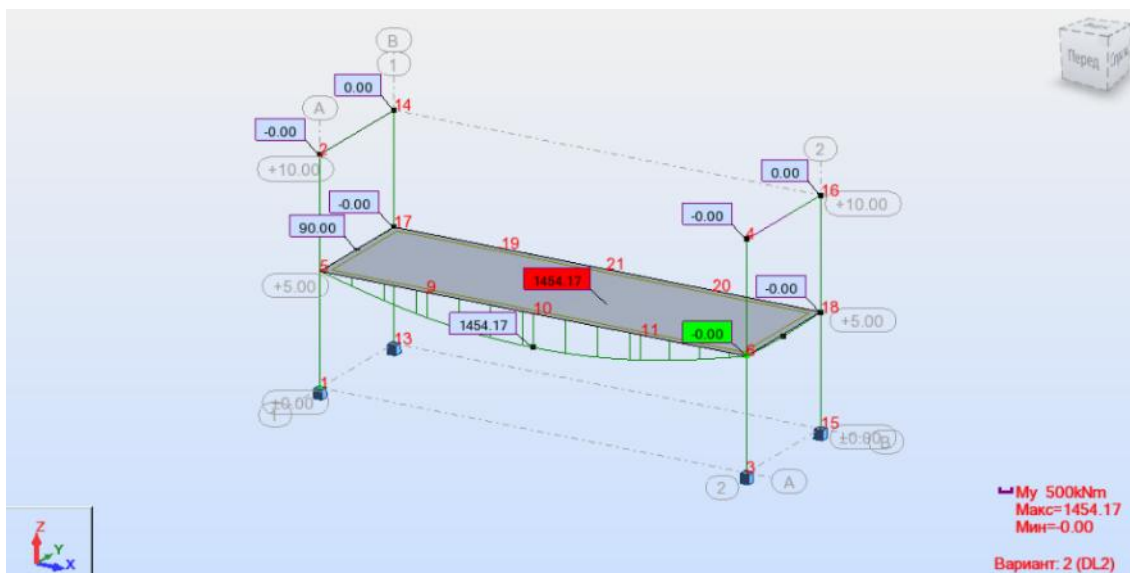


Рисунок 3. Схема 1.1 - максимальный изгибающий момент

Таким образом, величина максимального изгибающего момента в элементах главных балок составляет $M_{ГБ} = 1454 \text{ кН*м}$.

На рисунке 4 представлены результаты расчета стальной пролетной конструкции, в случае, когда в схему введены вантовые элементы.

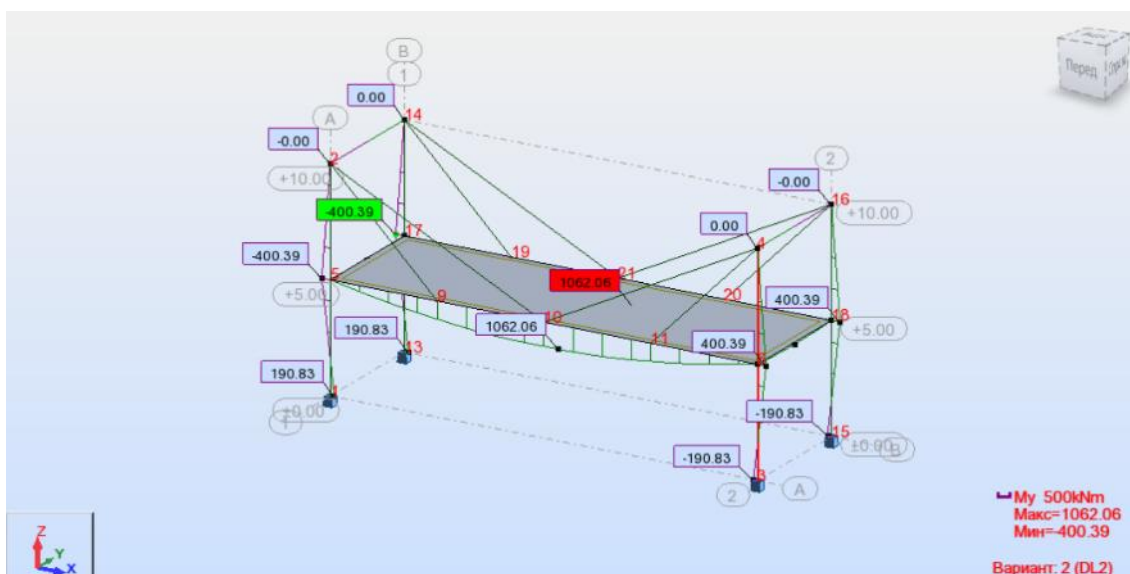


Рисунок 4. Схема 1.2 - максимальный изгибающий момент

Таким образом, величина максимального изгибающего момента в элементах главных балок при устройстве в составе расчетной схемы вант составляет $M_{ГБ}^{вант} = 1062 \text{ кН*м}$.

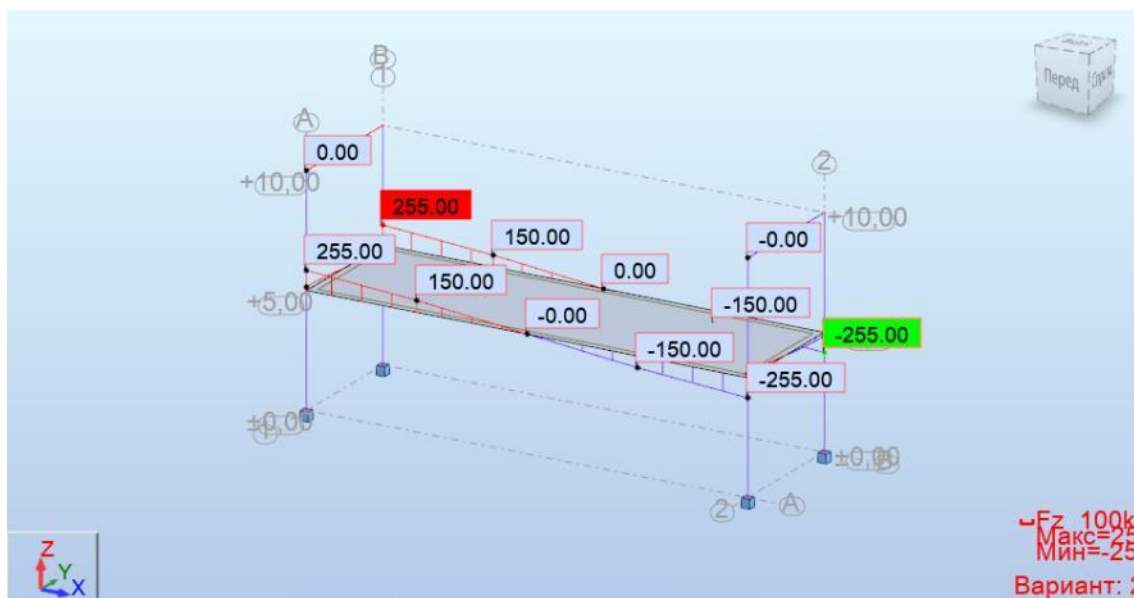


Рисунок 5. Схема 1.1 – максимальная поперечная сила

Величина максимальной поперечной силы на опоре в элементах главных балок составляет $Q_{ГБ} = 255 \text{ кН}$.

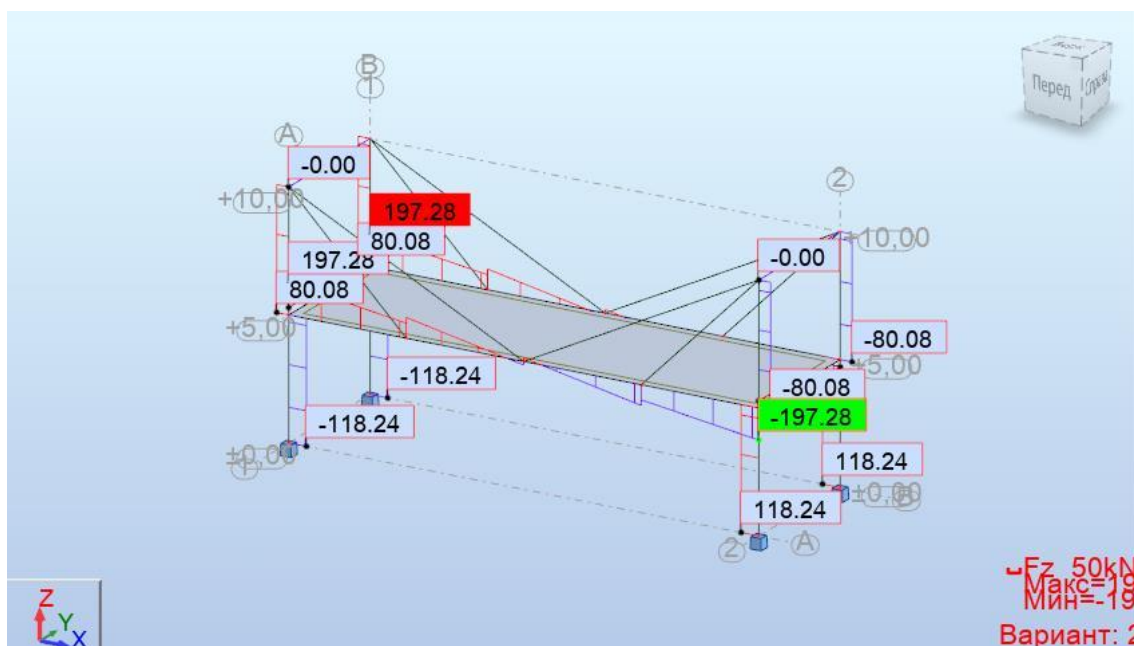


Рисунок 6. Схема 1.2 – максимальная поперечная сила

Величина максимальной поперечной силы на опоре в элементах главных балок составляет $Q_{ГБ}^{вант} = 197.3$ кН.

Результаты силовых расчетов стальной пролетной конструкции, выполненных в программном комплексе Autodesk Robot Structural Analysis Professional, а также сравнение полученных значений изгибающих моментов представлены в сводной таблице №2. Критерии, по которым будет происходить сравнение полученных результатов – это значения изгибающих моментов $M_{ГБ}$ и $M_{ГБ}^{вант}$ в пролете элементов главных пролетных балок, а также величины поперечных сил $Q_{ГБ}$ и $Q_{ГБ}^{вант}$ на опорах элементов главных пролетных балок.

Основной задачей, на основе которой будут сделаны выводы, является нахождение разницы в полученных значениях на расчетных схемах 1.1, 1.2, выполненных в программном комплексе Autodesk Robot Structural Analysis Professional, анализ полученных величин, тенденция к уменьшению величин изгибающего момента в пролете и поперечной силы на опоре за счет введения в расчетную схему пролетной конструкции вантовых элементов.

Таблица №2

Сводные результаты расчета стальной пролетной конструкции

№ расчетной схемы	Наименование параметра	Условное обозначение	Единица измерения	Значение величины
1	2	3	4	5
Схема 1.1	Изгибающий момент в пролете главной балки	$M_{ГБ}$	кН*м	1454
Схема 1.2		$M_{ГБ}^{вант}$	кН*м	1062
-	Сравнение величин изгибающих моментов в пролете главной балки	$M_{ГБ} / M_{ГБ}^{вант}$	-	1.4
Схема 1.1	Поперечная сила на опоре главной балки	$Q_{ГБ}$	кН	255
Схема 1.2		$Q_{ГБ}^{вант}$	кН	197.3
-	Сравнение величин поперечной силы на опоре главной балки	$Q_{ГБ} / Q_{ГБ}^{вант}$	-	1.29

Сравнение результатов расчета показывает, что:

1. Величина изгибающего момента в элементе главной балки для схемы №1.1 составляет 1454 кН*м.
2. Величина изгибающего момента в элементе главной балки для схемы №1.2 составляет 1062 кН*м.
3. Разница между изгибающими моментами $M_{ГБ} / M_{ГБ}^{вант}$ составила 1.4 раза.
4. Величина поперечной силы в элементе главной балки для схемы №1.1 составляет 255 кН.

5. Величина поперечной силы в элементе главной балки для схемы №1.2 составляет 197.3 кН.
6. Разница между изгибающими моментами $Q_{ГБ} / Q_{ГБ}^{вант}$ составила 1.29 раза.
7. Применение конструкций вант влияет на величину изгибающего момента в пролете элемента главной балки.

Выводы

1. На основе программного комплекса Autodesk Robot Structural Analysis Professional создана модель стальной пролетной конструкции и получены результаты определения величины изгибающих моментов и поперечных сил в элементах главных балок.
2. Для схемы №1.1 характерно восприятие действующих нагрузок исключительно элементами балок и установлено значение изгибающего момента $M_{ГБ} = 1454$ кН*м, поперечной силы $Q_{ГБ} = 255$ кН.
3. Для схемы №1.2 характерно восприятие действующих нагрузок элементами балок совместно с конструкциями вант и установлено значение изгибающего момента $M_{ГБ}^{вант} = 1062$ кН*м поперечной силы $Q_{ГБ}^{вант} = 255$ кН.
4. Полученные результаты показывают, что включение в расчетную схему конструкций вант позволяет уменьшить величину изгибающего момента на 40%, а величину поперечной силы на 29%.

Литература

1. Тихонов С. М., Алехин В. Н., Беляева З. В., Кудрявцев С. В., Рыбаков В. А., Назмеева Т. В., Пронин Д. Г., Комиссаров А. А. Проектирование металлических конструкций. Часть 1: «Металлические конструкции. Материалы и основы проектирования». Учебник для ВУЗов. Москва. Издательство «Перо». 2020. 468 с.



2. Туснин А. Р., Рыбаков В. А., Назмеева Т. В. Проектирование металлических конструкций. Часть 2: «Металлические конструкции. Специальный курс». Учебник для ВУЗов. Москва. Издательство «Перо», 2020. 436 с.
 3. Соболев Ю.В. Теория стальных строительных конструкций. СПб. Политехника. 2021. 542 с.
 4. Сниткин В.М., Фролов И.П., Овсянников Е.М., Овсянников В.Е. Оценка остаточного ресурса мостовых кранов решетчатого сечения. Инженерный вестник Дона, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3128.
 5. Черпаков А.В., Есипов Ю.В., Гончаров О.Ю., Гриценко В.В., Зотов А.И., Бутенко Ю.И., Шакирзянов Ф.Р. Построение критерия идентификации поврежденности на основе фазовых портретов колебаний ферменных конструкций. Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3408.
 6. Воронкова Г.В., Габова В.В., Душко О.В., Торгашин Г.А. Исследование динамических характеристик несущих ферм при выносе вентиляционного оборудования на кровлю цеха. Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5613.
 7. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В., Пичугин С.Ф. Основы метода расчетных предельных состояниях. Москва. АСВ. 2019. 240с.
 8. Барабаш М.С., Ромашкина М.А. Проектирование конструкций рабочей площадки в ПК ЛИРА-САПР. Москва. АСВ. 2018. 148с.
 9. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. Москва. АСВ. 2016. 338с.
 10. Яшанов А.П. Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Базовый курс. Санкт-Петербург. Издание ООО «ПСС». 2010. 95с.
-

References

1. Tixonov S. M., Alexin V. N., Belyaeva Z. V., Kudryavcev S. V., Ry`bakov V. A., Nazmeeva T. V., Pronin D. G., Komissarov A. A. Proektirovanie metallicheskih konstrukcij. Chast` 1: «Metallicheskie konstrukcii. Materialy` i osnovy` proektirovaniya». [Design of metal structures. Part 1: “Metal structures. Materials and basics of design»]. 2020. 468 p.
2. Tusnin A. R., Ry`bakov V. A., Nazmeeva T. V. Proektirovanie metallicheskih konstrukcij. Chast` 2: «Metallicheskie konstrukcii. Special`ny`j kurs». [Design of metal structures. Part 2: “Metal structures. Special Course»]. 2020. 436 p.
3. Sobolev Yu.V. Teoriya stal`ny`x stroitel`ny`x konstrukcij. [Theory of steel building structures]. 2021. 542 p.
4. Snitkin V.M., Frolov I.P., Ovsyannikov E.M., Ovsyannikov V.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, No. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3128.
5. Cherpakov A.V., Esipov Yu.V., Goncharov O.Yu., Gritsenko V.V., Zotov A.I., Butenko Yu.I., Shakirzyanov F.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3408.
6. Voronkova G.V., Gabova V.V., Dushko O.V., Torgashin G.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, No. 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5613.
7. Perelmuter A.V., Kabantsev O.V., Pichugin S.F. Osnovy` metoda raschetny`x predel`ny`x sostoyaniyax. [Fundamentals of the method of calculated limit states]. 2019. 240p.
8. Barabash M.S., Romashkin M.A. Proektirovanie konstrukcij rabochej ploshhadki v PK LIRA-SAPR. [Design of working platform structures in SP LIRA-SAPR]. 2018. 148p.



9. Gorodetsky A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N. Komp`yuternoe modelirovanie v zadachax stroitel`noj mexaniki. [Computer modeling in problems of structural mechanics]. 2016. 338p.
10. Yashanov A.P. Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Bazovyj kurs. Sankt-Peterburg. Izdaniye OOO «PSS». 2010. 95p.

Дата поступления: 1.02.2024

Дата публикации: 14.03.2024