

Вариантное моделирование стальных колонн промышленного здания с последующей верификацией полученных результатов

А.В. Рогожина

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Для возможности монтажа мостовых кранов, стальные колонны промышленного здания выполняются ступенчатыми, с выделением надкрановой и подкрановой частей. Основу верхней и нижней частей колонны составляют стальные двутавры с несовпадением центральных осей. В рамках работы было произведено вариантное моделирование (с применением САПР) стальной колонны, входящей в состав П-образных рам промышленных зданий, состоящая из надкрановой и подкрановой частей. Предложены различные варианты решения перепада центральных осей надкрановой и подкрановой частей колонны в модели. Получены результаты статического расчета элементов колонн. Произведено сравнение полученных результатов, выполнен анализ оптимального способа моделирования элементов колонн для конструктивных схем. На основании выполненных расчетов и проведенного анализа полученных результатов сделаны выводы.

Ключевые слова: промышленное здание, двутавр, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, узел, стержень, схема.

Стальные колонны являются вертикальными несущими элементами П-образных рам промышленных зданий [1]. Поскольку здания промышленного назначения оборудованы мостовыми кранами, колонны необходимо проектировать ступенчатыми, с выделением надкрановой и подкрановой частей. Таким образом, основу верхней и нижней частей колонны составляют профильные стальные элементы – двутавры, но при этом имеет место несовпадение центральных осей надкрановой и подкрановой частей колонны [2, 3]. На сегодняшний день статические и конструктивные расчеты стальных каркасов промышленных зданий ведут с применением САПР, в расчетных схемах которых возможно различными способами замоделировать сложное составное сечение колонн [4, 5].

Цель данной работы – предложить перечень вариантов моделирования надкрановой и подкрановой частей колонны промышленного здания, оценка

и сравнение полученных результатов расчета колонн, с последующим выделением приоритетного метода моделирования.

Предметом исследования является напряженно-деформированное состояние элементов колонн, характер эпюры изгибающих моментов в подкрановой двухветвевой части колонны промышленного здания.

Объектом исследования является колонна каркаса, состоящая из надкрановой и подкрановой частей, которая входит в состав плоской рамы промышленного здания [6, 7].

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи:

- выполнено моделирование колонны каркаса промышленного здания;
- заданы граничные условия элементам колонн;
- назначены жесткости надкрановой и подкрановой частям колонны;
- заданы нагрузки, моделирующие реальные условия эксплуатации колонн в составе плоской рамы промышленного здания;
- выполнен анализ изгибающих моментов в подкрановой части колонны, для дальнейшей сравнительной верификации;
- выбран оптимальный вариант моделирования колонны каркаса, таким образом, что наличие элементов моделирования не оказывает влияние на общую картину напряженно-деформированного состояния модели [8].

Исходные данные для моделирования колонны

В качестве исходных данных для моделирования колонны были приняты следующие высотные габариты:

- подкрановая часть колонны – 12,410 м;
- надкрановая часть колонны – 4,520 м.

Предполагается схема плоской рамы промышленного здания в которой, колонна жестко защемлена на фундаменте, при этом ферма крепится к верху колонны шарнирно. Смещение осей надкрановой и подкрановой частей колонны составляет 300 мм. Жесткость подкрановой части колонны –

раздвинутые двутавры 45Б1 по ГОСТ 26020-83, при этом расстояние между шатровой и подкрановой ветвями составляет 1000 мм. Жесткость надкрановой части колонны – двутавр 70Б1 по ГОСТ 26020-83. Общие данные модели колонны представлены в таблице 1.

Таблица 1

Общие данные модели колонны

№	Параметр	Обозначение	Ед.изм.	Значение	Примечание
1	Высота подкрановой части колонны	$H_{подкр.}$	м	12,410	-
2	Высота надкрановой части колонны	$H_{надкр.}$	м	4,520	-
3	Эксцентриситет надкрановой и подкрановой осей колонны	e	мм	300	-
4	Жесткость подкрановой части колонны	$EI_{подкр.}$	-	45Б1	ГОСТ 26020-83
5	Жесткость надкрановой части колонны	$EI_{надкр.}$	-	70Б1	ГОСТ 26020-83

Было сформировано нагружение, в котором к верхнему узлу колонны была приложена сосредоточенная вертикальная нагрузка $P_z=50$ кН. В промежуточный узел по высоте колонны был приложен момент $M_y=50$ кН × 0,3 м = 15 кН×м.

Промежуточный узел по высоте колонны был решен разными способами:

1. надкрановая и подкрановая части колонны соосны и не имеют перепада центральных осей, а момент задан в виде узловой нагрузки;
2. надкрановая и подкрановая части колонны соосны и имеют перепад центральных осей, который замоделирован жесткой вставкой стержня колонны;
3. надкрановая и подкрановая части колонны соосны и имеют перепад центральных осей, который замоделирован абсолютно жестким телом между узлами;
4. надкрановая и подкрановая части колонны соосны и имеют перепад центральных осей, который замоделирован объединением перемещений узлов.

При введении в стержневые элементы схемы жестких вставок гибкая часть стержня отодвигается от узлов элемента на длину задаваемой абсолютно жесткой вставки. При этом нагрузки, задаваемые на стержень с абсолютно жесткими вставками, привязываются к началу гибкой части. Усилия вычисляются только в гибкой части стержня, и, поэтому, при проверке равновесия в узле, где присутствует такой стержень, нужно производить перенос усилий из гибкой части стержня в узел, с учётом заданной нагрузки на жесткую вставку. Жесткие вставки используются, как правило, при нарушении соосности стыковки стержней в узлах для учета эксцентricности стыковки элементов.

Следующим из возможных видов полисвязей является случай, когда перемещения некоторых узлов системы связаны друг с другом так, как в случае их объединения абсолютно жестким телом. Абсолютно жесткое тело рассматривается как некоторый специфический тип конечного элемента. С

конечным элементом его роднит то, что абсолютно жесткое тело объединяет инцидентные этому телу узлы. Абсолютно жесткое тело может рассматриваться как предельный случай некоторого конечного элемента при устремлении жесткостных характеристик этого элемента к бесконечности.

Объединение перемещений узлов позволяет жестко соединить смежные узлы конечных элементов только по выбранным степеням свободы.

Общий вид замоделированной в различных вариантах колонны каркаса представлен на рис. 1.

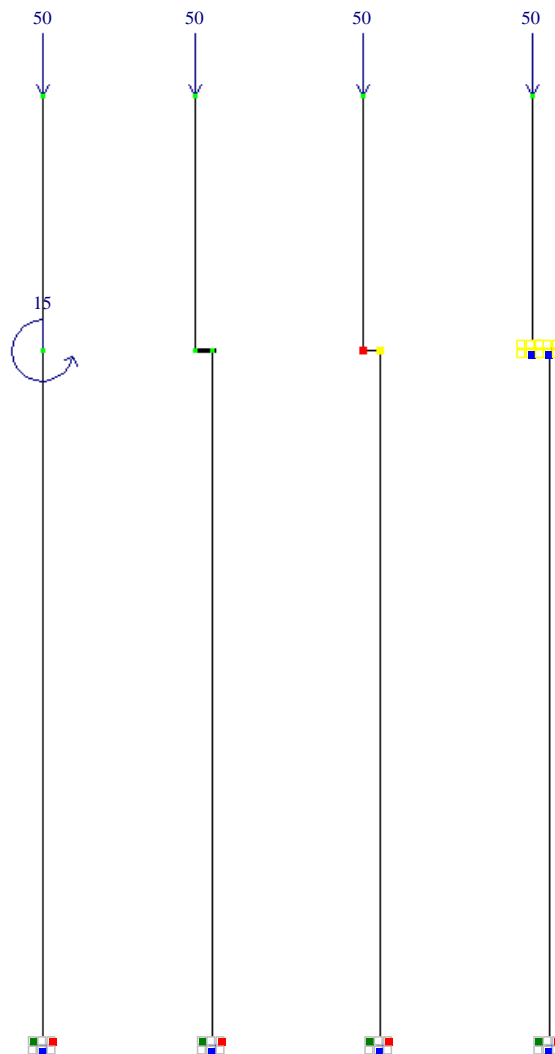


Рис.1 - Общий вид замоделированной в различных вариантах колонны каркаса

Результаты расчета

Полученные результаты расчета выражаются в характере распределения и величине изгибающего момента в элементе стальной колонны. Возникающий момент изгибает колонну, догружая при этом шатровую ветвь и загружая подкрановую ветвь. Величина изгибающего момента в подкрановой части колонны составила во всех случаях $15 \text{ кН}\times\text{м}$. Результаты выполненных расчетов представлены на рис. 2.

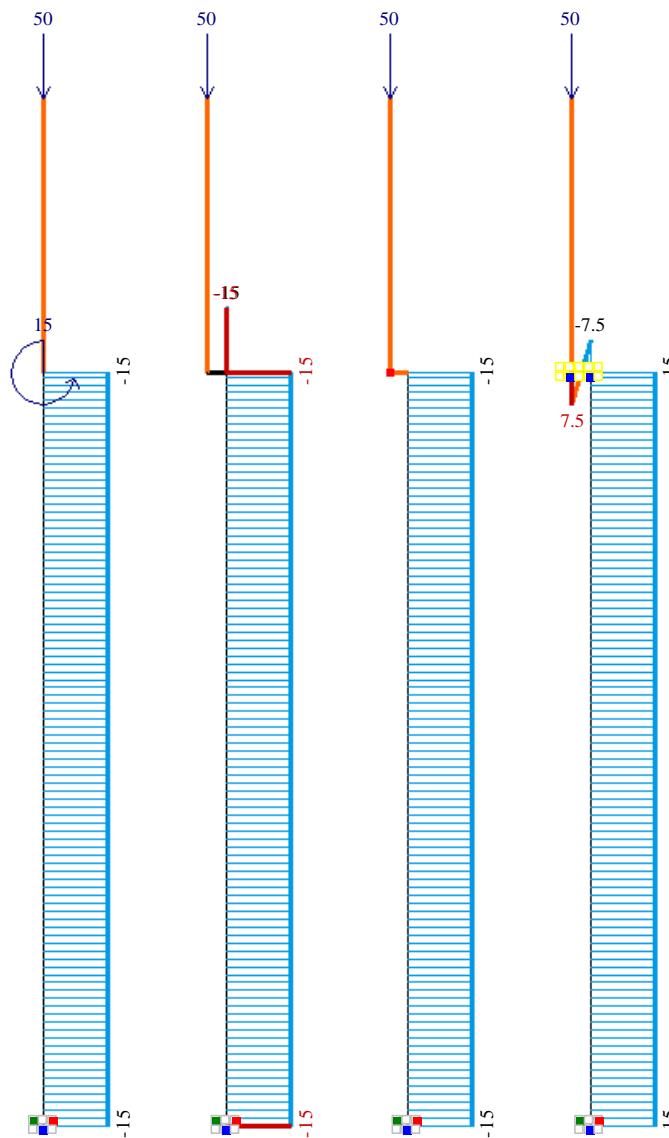


Рис.2 - Эпюры изгибающих моментов в колонне

Рассмотрение полученных эпюр изгибающих моментов показало, что наиболее оптимальным вариантом моделирования колонны стального каркаса промышленного здания является устройство абсолютно жесткого тела между узлами – в горизонтальном стержне между надкрановой и подкрановой частями не возникает момента, он не оказывает влияния на общую картину распределения усилий и напряженно-деформированного состояния основных элементов расчетной схемы [9, 10].

Выводы

1. Предложены 4 основных варианта моделирования стыка надкрановой и подкрановой частей стальной колонны промышленного здания.
2. Передача с эксцентриситетом продольного усилия на нижнюю часть колонны решено 4 основными способами – задан момент в узле колонны, выполнена жесткая вставка для стержня колонны, при помощи абсолютно жесткого тела между узлами, создано объединение перемещений узлов колонны.
3. В каждом случае получена адекватная картина усилий в вертикальных стержнях колонны. Таким образом, величина изгибающего момента в подкрановой части колонны составила во всех случаях $15 \text{ кН}\times\text{м}$.
4. Оптимальным по результатам расчета следует считать вариант с устройством абсолютно жесткого тела между узлами колонны – в горизонтальном стержне между надкрановой и подкрановой частями колонны не возникает изгибающего момента, его участие в расчетной схеме носит необходимый фиктивный характер, не оказывая при этом влияния на общую картину напряженно-деформированного состояния основных элементов расчетной схемы.

Литература

1. Соболев Ю.В. Теория стальных строительных конструкций. СПб. Политехника. 2021. 542 с.
 2. 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.
 3. 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.
 4. Груздев Р.В., Алешин А.Н., Заславский Е.М. Актуальные проблемы моделирования сложных напряженных состояний в программном комплексе «Лира» // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 94-99.
 5. Барабаш М.С., Ромашкина М.А. Проектирование конструкций рабочей площадки в ПК ЛИРА-САПР. Москва. АСВ. 2018. 148с.
 6. Structural Engineering Handbook. Lan T. T., ed. Wai-Fah C., Lui E. M. 2nd ed. New York: CRC Press, 2005. pp. 4-5
 7. Volkov, A.A., Vasilkin A.A., 2016. Optimal design of the steel structure by the sequence of partial optimization. Procedia Engineering, 153, pp. 850-855.
 8. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. Москва. АСВ. 2016. 338с.
-

9. Маилян Д.Р., Мурадян В.А. К методике расчета железобетонных внецентренно сжатых колонн // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1333
10. Габова В.В., Петров В.Ю., Бармин П.А. Методика расчета сооружений на максимальное расчетное землетрясение в программном комплексе ЛИРА-САПР 2019 // Инженерный вестник Дона, 2019, №7. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_38__7y2019_Petrov_Barmin_Gabova.pdf_136c41b546.pdf

References

1. Sobolev Yu.V. Theory of steel building structures. St. Petersburg. Polytechnic. 2021. 542 p.
2. 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 fundamentals of design»]. Uchebnik dlya VUZov. Moskva. Izdatel`stvo «Pero». 2020. 468 p.
3. 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"]. Uchebnik dlya VUZov. Moskva. Izdatel`stvo «Pero», 2020. 436 p.
4. Gruzdev R.V., Aleshin A.N., Zaslavskij E.M. Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo. 2017. № 3. pp. 94-99.
5. Barabash M.S., Romashkina M.A. Proektirovanie konstrukcij rabochej ploshhadki v PK LIRA-SAPR [Design of work site structures in the LIRA-SAPR]. Moskva. ASV. 2018. 148 p.



6. Structural Engineering Handbook. Lan T. T., ed. Wai-Fah C., Lui E. M. 2nd ed. New York: CRC Press, 2005. pp. 4-5
7. Volkov, A.A., Vasilkin A.A., 2016. Procedia Engineering, 153, pp. 850-855.
8. Gorodeczkij A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N. Komp`yuternoe modelirovanie v zadachax stroitel`noj mexaniki [Computer modeling in problems of structural mechanics]. Moskva. ASV. 2016. 338 p.
9. Mailyan D.R., Muradyan V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1333
10. Gabova V.V., Petrov V.Yu., Barmin P.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 7. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_38__7y2019_Petrov_Barmin_Gabova.pdf
[_136c41b546.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_38__7y2019_Petrov_Barmin_Gabova.pdf)