

Сопоставление численного и аналитического метода для расчёта рам

Плеханова Екатерина Александровна

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

В статье представлен численный и аналитический расчёт рамной конструкции. Численный расчёт выполнялся в программе ПК ЛИРА. В результате расчётов были получены значения максимальных перемещений, максимального изгибающего момента и максимальных поперечных сил и построены эпюры. Цель данного исследования: объяснить, что программные комплексы рассчитывают также точно, как и аналитика, но быстрее и результаты получены в электронном виде, а отклонения в результатах минимальны.

Ключевые слова. Аналитический расчёт, численный расчёт, рамные конструкции, отклонения.

Comparison of numerical and analytical methods for frame calculation

Plehanova Ekaterina Aleksandrovna

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The article presents a numerical and analytical calculation of the frame structure. The numerical calculation was performed in the program PC LIRA. As a result of calculations, the values of maximum displacements, maximum bending moment and maximum transverse forces were obtained and plots were constructed. The purpose of this study: to explain that software systems calculate as accurately as Analytics, but faster and results are obtained electronically, and deviations in the results are minimal.

Keyword: analytical calculation, numerical calculation, frame structures, deviations.

Введение

Рамные конструкции являются одним из наиболее распространенных типов, несущих конструкции. Они хорошо вписываются в поперечное сечение большинства производственных и общественных зданий. При строительстве пролетных зданий промышленного, сельскохозяйственного и общественного назначения широко используют рамные конструкции, которыми можно перекрывать большие пролеты. Наибольшее использование рамные конструкции нашли в одноэтажных производственных зданиях или

складах, для которых актуально наличие больших свободных площадей. Архитектурные требования к конструкциям промышленных объектов обычно невысоки, однако рамы с таким же успехом могут быть использованы в несущих каркасах спортивных и демонстрационных залов, выставочных и торговых павильонов.

Рамные конструкции из клееной древесины традиционно применяются на различных объектах. [1] В последнее десятилетие они стали особенно популярны при строительстве спортзалов, теннисных кортов, конно-спортивных манежей, мансардных надстроек и др.[1] В статье Ю.Н.Дорофеева, И.В. Громенко идет речь об уникальности использования рамных конструкций из клееной древесины [2]. С их помощью можно достигнуть максимальной выразительности формы, которая будет подчеркивать общую идею архитектурных сооружений. Благодаря таким несущим конструкциям из клееной древесины, как рамы, современные архитекторы создают не только прочные каркасы зданий, но и интересные композиции [2].

В.Н. Першаков, Т.А. Петрова, Е.Н. Лисницкая рассмотрели вопросы проектирования, строительства и внедрения железобетонных рамных конструкций пролетом 18, 21 м для сельскохозяйственных производственных зданий, зальных помещений общественных зданий и зданий и сооружений аэродромов сельхозавиации [3]. Л.В. Енджиевский, И.Я. Петухова, А.В. Василевский в своей статье предоставили мировой уровень развития конструктивных решений здания из легких металлических конструкций [4]. Отражая отечественный опыт, рассмотрели сплошностенчатые рамные конструкции (Орск, Канск, Минтяжстрой, УНИКОН и др.), а также здания - модули, созданные на их основе [4]. Е.Е.Боброва, Л.Н.Музыченко анализируют особенности проектирования промышленного здания с рамными несущими конструкциями [5]. В работах [6] и [7] использовался современный ПК ЛИРА, который также использовался в этой работе.

Существует несколько способов для расчёта рамной конструкции. Раму можно рассчитать, как аналитически, так и с помощью программ на основе метода конечных элементов. При том программные комплексы рассчитывают, также точно, как и аналитика, но быстрее и отклонения в результатах минимальны.

Методы и материалы

Существует много программных продуктов для расчётов строительных конструкций. К таким программам можно отнести Autodesk (программный комплекс, позволяющий проводить расчет конструкций и проверку сооружений на прочность, устойчивость и динамические воздействия; расчет выполняется методом конечных элементов), SOFiSTiK AG (интегрированный программный комплекс конечно-элементного анализа строительных конструкций, зданий, мостов, тоннелей и решения геотехнических задач), Еврософт (комплекс программ для проектирования и расчетов элементов строительных конструкций) и др. ПК ЛИРА с успехом применяется в расчетах объектов строительства, машиностроения, мостостроения, атомной

энергетики, нефтедобывающей промышленности и во многих других сферах, где актуальны методы, обеспечивающие прочность и безопасность строительных объектов. ПК ЛИРА имеет широкие возможности для расчетов строительных конструкций. Также, как и выше перечисленные программы, ПК ЛИРА основана на методе конечных элементов. Однако, она достаточно удобна по части построения расчётных схем и задания характеристик материалов.

Рамные конструкции можно рассчитывать аналитически, используя метод сечения, и численно с помощью программы ПК ЛИРА на основе МКЭ.

Рассмотрим раму (рисунок 1) со следующими данными: $a=2,6\text{м}$, $b=3\text{м}$, $c=1,2\text{м}$, $P_1=36\text{кН}$, $P_2=32\text{кН}$, $q=25\text{кН/м}$, $E=2 \cdot 10^{11}\text{Па}$, $J_x=7080 \cdot 10^{-8}\text{ м}^4$. Необходимо построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил, определить максимальное перемещение.

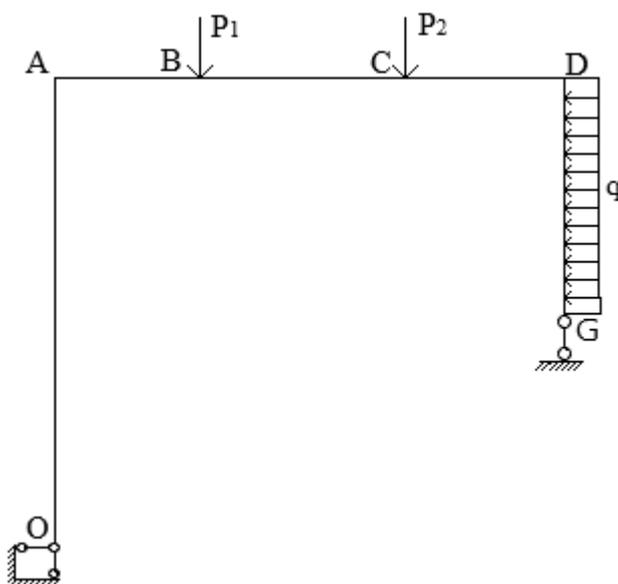


Рисунок 1-Рамная конструкция

Ниже представлен аналитический расчёт рамной конструкции.

Определяем реакции Z_0 , Y_0 , Y_G (по формулам 1,2,3):

$$\sum F_z = Z_0 - q \cdot b = 0; \quad (1)$$

$$Z_0 = q \cdot b; \quad Z_A = 75\text{кН}$$

$$\sum F_y = Y_0 - P_1 - P_2 + Y_G = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_A = -P_1 \cdot c - P_2 \cdot (c + a) - q \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} - b\right) + Y_G(2c + a) \quad (3)$$

$$Y_G = -34.54\text{кН}; \quad Y_0 = 102.54\text{кН}$$

С помощью метода сечения находим значения изгибающих моментов (по формуле 4) и поперечных сил (по формуле 5) на первом участке:

$$\sum M_{K_1} = 75 \cdot z_1 + M_{X_1} = 0 \quad (4)$$

$$M_{X_1} = -75 \cdot z_1$$

$$M_{X_1}(0) = 0$$

$$M_{X_1}(6) = -450$$

Где z_1 от 0м до 6 м.

$$\begin{aligned}\sum F_{Y_1} = -75 - Q_{Y_1} &= 0 \\ Q_{Y_1} &= -75\end{aligned}\quad (5)$$

Аналогично вычисляются остальные значения моментов и поперечных сил.

Строим эпюру максимальных изгибающих моментов

Определяем перемещения. Снимаем с рамы всю нагрузку. Для определения линейных перемещений (прогибов) прикладываем единичную силу ($F=1$) в точку В.

Строим эпюру M_X^1 , определяем в ней все необходимые ординаты. Используя способ Верещагина, находим линейное перемещение V_B :

$$V_B = \frac{-631.002}{E * J_X}$$

$$V_B = \frac{-631.002}{2 \cdot 10^8 \cdot 7080 \cdot 10^{-8}} = 0.0445$$

Численный расчёт рамы на основе метода конечных элементов

Расчёт рамы выполнялся в ПК ЛИРА. Для данной рамы выбираем расчетную схему. Используем признак схемы №2 для расчета плоских балок и рам, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле (это линейные перемещения по осям Ox , Oz и угол поворота вокруг оси Oy). Создаём геометрическую схему конструкции. Далее закрепляем опорные узлы. Рама имеет две опоры: шарнирно-подвижная опора (исключено линейное вертикальное перемещение по оси Oz) и шарнирно-неподвижная опора (исключены два линейных перемещения: по оси Ox и Oz). Для расчета необходимо задать жесткостные параметры элементов. Их количество зависит от типа конечных элементов. К этим параметрам относятся: площади поперечных сечений, моменты инерции сечений, толщина плитных и оболочечных элементов, модули упругости и сдвига, коэффициенты постели упругого основания. Все значения были взяты из сортамента для двутавра № 30. Задаём нагрузки на отдельные узлы и элементы. Выполняем расчёт.

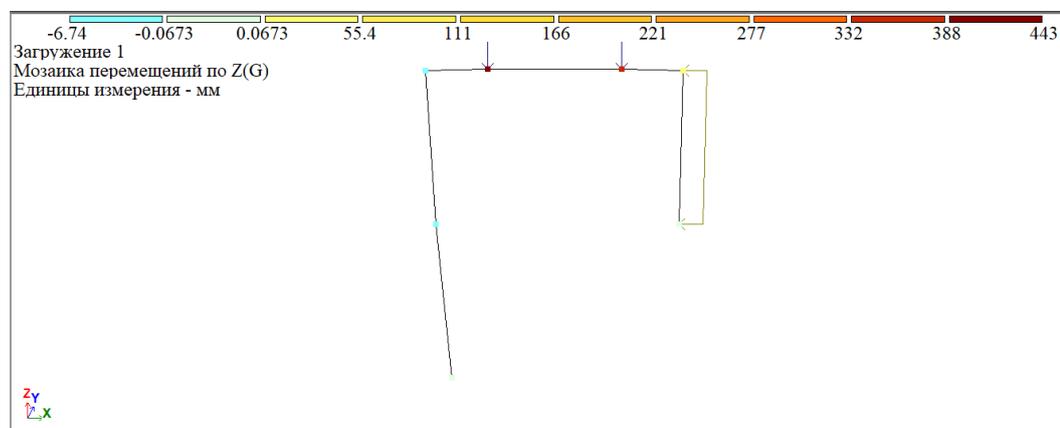


Рисунок 2-Значения перемещений из ПК ЛИРЫ

Результаты исследований

На рисунках 3 и 4 показаны эпюры максимальных изгибающих моментов, посчитанные аналитически и с помощью программы ПК ЛИРА.

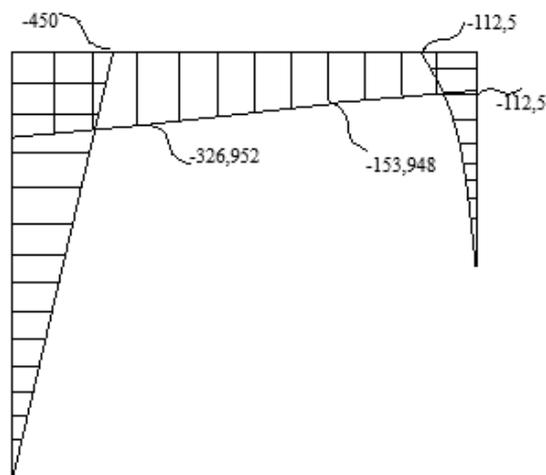


Рисунок 3 - Эпюра максимальных изгибающих моментов, посчитанная аналитически

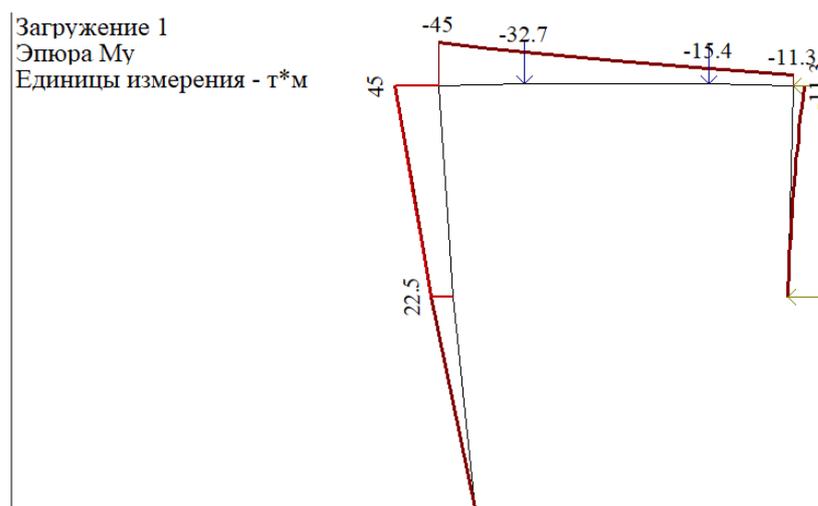


Рисунок 4 - Эпюра максимальных изгибающих моментов, посчитанная в программе ПК ЛИРА

В таблице 1 представлены результаты расчетов в программе ПК ЛИРА и аналитической форме. Из таблицы видно, что значения максимального изгибающего момента, максимальных поперечных сил и максимальное перемещение, посчитанные аналитически, не отличаются от значений, посчитанных с помощью ПК ЛИРА. В то же время отклонения аналитического расчёта от численного расчёта, посчитанные также в ПК ЛИРА, небольшие.

Таблица 1-Результаты расчётов

Значения в точках	Максимальный изгибающий момент (аналитический расчёт), кН/м	Максимальный изгибающий момент (расчёт в ПК ЛИРА), кН/м	Отклонения аналитического расчёта от численного	Максимальные поперечные силы (аналитический расчёт), кН	Максимальные поперечные силы (расчёт в ПК ЛИРА), кН	Отклонения аналитического расчёта от численного	Максимальное перемещение, (аналитический расчёт), кН	Максимальное перемещение, (расчёт в ПК ЛИРА), кН
A	-450	-450	0	-75	-75	0	0,0445	0,0443
B	-326,952	-327	0,048	102,54	103	0,46		
C	-153,948	-154	0,052	66,54	66,5	0,04		
D	-112,5	-113	0,5	34,54	34,5	0,04		

Выводы

Максимальный изгибающий момент, максимальные поперечные силы, максимальное перемещение в результате аналитического расчёта не отличаются от расчета в ПК ЛИРА. При сопоставлении численных расчётов и аналитического расчёта, мы видим, что отклонения не превышают доли процента. Но, используя программу ПК ЛИРА, рамную конструкции можно посчитать намного быстрее.

Библиографический список

1. Кривцова Г.В. Клееные деревянные рамы с подкосами и арки в зданиях различного назначения// Строительные материалы 2003. № 5. С. 16-17.
2. Дорофеева Ю.Н., Громенко И.В. Влияние рамных и арочных конструкций из клееной древесины на архитектурный облик зданий//Дальний восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2013. № 1. С. 76-83.
3. Першаков В.Н., Петрова Т.А., Лисницкая Е.Н. Современные здания в рамных конструкциях// Национальный авиационный университет. (Киев). 2013. Том 2 № 55. С. 136-140
4. Енджиевский Л.В., Петухова И.Я., Васильевский А.В. Каркасы одноэтажных производственных зданий из легких металлических конструкций. Красноярский инженерно-строительный институт. 1994 . 105 с.
5. Боброва Е.Е., Музыченко Л.Н. Легкие металлоконструкции в каркасах одноэтажных промышленных зданий// Сибирский государственный индустриальный университет. 2019. С.275-276
6. Мазина А.Г., Бойчин Р.Е., Васильев А.С., Земляк В.Л. Применение САПР-системы REVIT STRUCTURE при проектировании систем зданий и экспорт данных в решатель ЛИРА САПР// Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2017. № 4 (29). С.

91-96.

7. Васильев А.С., Бойчин Р.Е., Земляк В.Л. Численное моделирование и расчёт выступа колонны в современных программных комплексах // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2017. № 1 (26). С. 79-89.