

УДК 624.014.2

**Особенности статического расчета рам переменной жесткости в расчетных комплексах Lira 9.6 и Autodesk Robot Structural Analyses 2013**

Адуцкевич М.Г., Петрунин К.В.

(Научные руководители – Рябов А.Г. Фомичев В.Ф.)

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Большой интерес в настоящее время представляют рамные конструкции переменного сечения, как наиболее оптимальные и рациональные рамные системы. Рациональность таких конструкций достигается изменением размеров поперечного сечения рам (высоты и толщины стенки, ширины и толщины поясов). Из-за такого изменения рамы также называют рамами переменной жесткости. Размеры сечения рам задают в соответствии с эпюрой изгибающих моментов, что позволяет более рационально использовать материал и выровнять напряжения во всех точках конструкции.

Основным достоинством рамных конструкций переменной жесткости является экономия стали, в среднем до 15-20%(зависит от многих факторов включающих внешнюю нагрузку, наличие кранов и т.д) по сравнению с такими-же конструкциями постоянного сечения. Также можно отметить высокую технологичность изготовления, высокую долю автоматической сварки, хорошую транспортабельность таких рам. Использование листовых материалов способно заменить весь сортамент прокатных профилей и более свободно выбирать размеры сечения. Для изготовления таких конструкций не требуются какие-либо особые условия, и, следовательно, они могут быть изготовлены в небольших специализированных мастерских.

Рамы переменной жесткости за счет своей прочности, архитектурной выразительности и гибкости архитектурно-планировочных решений могут эффективно применяться в зданиях промышленного и общественного назначения (физкультурно-оздоровительных комплексов, спортивных арен, залов, бассейнов, рынков, ангаров для самолетов и других инженерных сооружений) пролетом 24-80 метров.

Расчет рам переменной жесткости в настоящее время проводится с использованием ЭВМ. В данной работе рассматриваются 2 программных комплекса(LIRA, Autodesk Robot structure analyses) для расчета таких конструкций. Цель работы заключается в том, чтобы смоделировать задачу в двух программных комплексах, сравнить результаты, выявить особенности работы и сделать вывод о преимуществах и недостатках данных комплексов при решении такого рода задач.

### Создание модели рамы в программных комплексах

Исходные данные стальной рамы были взяты приближенными к реальным условиям(рис. 1). Сечение – двутавр с переменной высотой стенки.

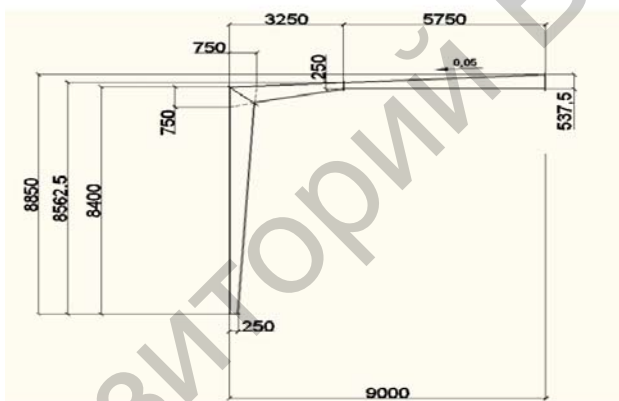


Рисунок 1 – Исходные размеры рамы

Осевые линии стержневых моделей, создаваемых в Lira и Autodesk Robot structure analyses(далее Robot) должны проходить через центры тяжести переменных сечений. Рассматривается двухшарнирная рама с опорными неподвижными шарнирами. Для удобства ввода исходных данных в программах задаются значения координат узлов рамы(рис. 2).

### Задание модели в Lira

Признак схемы - 2 (три степени свободы в узле - 2 перемещения и поворот). С помощью инструментов «добавить узлы» и «добавить элементы» строим стержни модели левой части по заданным коор-

динатам. С помощью инструмента «добавить элементы-разделить на n частей» делим стойку на 6 частей, вут - на 4 части, ригель – на 5 частей. Далее выделяем все элементы левой части рамы и присваиваем им конечный элемент плоской рамы (КЭ-2). В опорном узле инструментом «связи» создаем шарнирно неподвижную опору (запрещаем перемещение вдоль осей x и z).

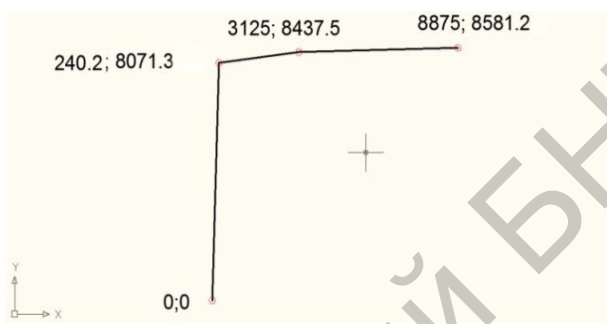


Рисунок 2 – Координаты основных узлов рамы в мм.

Переходим к заданию сечения рамы. Т.к. рама переменной жесткости и по условию меняется только высота стенки, то раму можно задать ступенчато, тем самым приближая сечения к реальным. С помощью инструмента «жесткость элемента – добавить – стандартные типы сечений – двутавр» задаем параметры начального сечения. В дальнейшем данное сечение можно копировать и изменять только высоту стенки.

Т.к. стержень стойки был заранее разбит на 6 частей, вут – на 4 части, ригель – на 5 и зная начальные и конечные высоты стенки двутавра, то нужно распределить на каждую часть стержня свою высоту стенки двутавра (табл. 1).

Создав сечения, по порядку присваиваем их нужной части стержня. Задав все сечения, с помощью инструмента «копирование симметрично» отражаем раму относительно плоскости YOZ. Чтобы увидеть заданную раму, во вкладке «вид» выбираем «Пространственная модель (3D-графика)». В результате получаем 3D-модель рамы переменного сечения (рис. 3).

Таблица 1 – Начальные и конечные высоты стенки рамы.

Стойка		Вут		Ригель	
Номер части	высота стенки, мм	Номер части	высота стенки, мм	Номер части	высота стенки, мм
1	250	1	750	1	250
2	350	2	583.33	2	321.87
3	450	3	416.66	3	393.75
4	550	4	250	4	465.6
5	650			5	537.5
6	750				

### Задание модели в Robot

Создание конечно-элементной модели рамы в программном комплексе Robot начинается с создания нового проекта с выбором проектирования плоской рамы. Далее при помощи инструментов «узлы» и «стержни» по координатам строим левую часть стержневой системы. С помощью инструмента «опоры - простая» задаем неподвижные опорные шарниры (запрещаем перемещения UX и UZ).

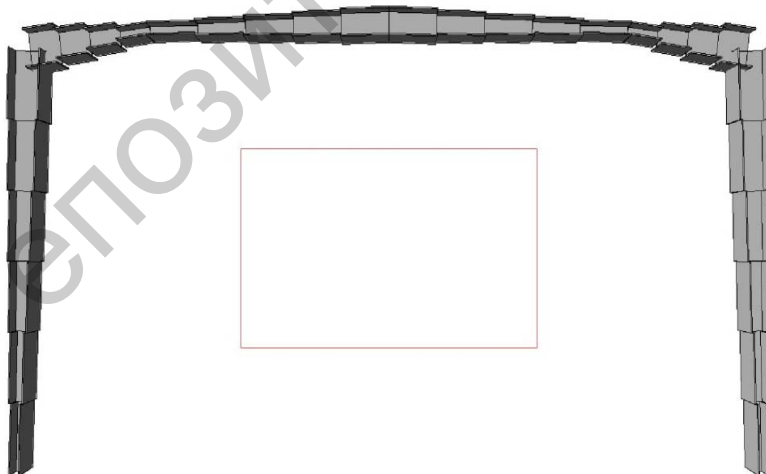


Рисунок 3 – Вид заданной рамы в Lira 9.6.

Задание сечения производится с помощью инструмента «сечение стержня». Во вкладке «коническое задание» выбираем двутавр. Эта вкладка дает возможность задать сечение в начале и в конце, а программа автоматически будет учитывать линейное изменение сечения.

Задав требуемые сечения для стойки, вута и ригеля, применяем их для соответствующих стержней.

Чтобы завершить создание модели рамы выделяют все элементы рамы и с помощью инструмента «редактор – редактор – вертикальное отражение – плоскость YZ» достраиваем правую половину рамы (рис. 4).

Кроме «конического» сечения в Robot имеется возможность задать сечение «параметрически», т.е. подобно заданию в Lira.

### Сравнение результатов расчета.

Для проведения расчетов рам переменной жесткости моделей необходимо приложить тестовые нагрузки. Нагрузки приняты сосредоточенными:

1. Приложена в коньковом узле вертикально вниз сила  $F=100$  кН.
2. Приложена в карнизном узле левой стойки горизонтально вправо сила  $F=100$  кН.

После выполнения статических расчетов получены эпюры  $M, N, Q$ . Их значения для некоторых узловых точек сведем в таблицы 2, 3.

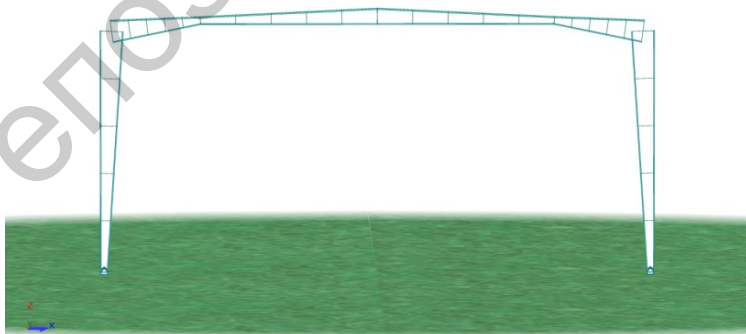


Рисунок 4 – Модель рамы в Autodesk Robot Structural Analysis 2013

Таблица 2 – Усилия в стержнях под действием загрузки №1

№ узла	Усилия Lira			Усилия Robot			Погрешность, %		
	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)
1	-50.67	0.000	-21.79	-50.7	0	-22.43	0.057	-	2.848
7	-50.67	-175.96	-21.79	-50.7	-181.12	-22.43	0.057	2.847	2.848
7	-29.40	-175.96	46.670	-30.05	-181.12	46.59	2.164	2.847	0.171
11	-29.40	-40.252	46.670	-30.05	-45.74	46.59	2.164	11.999	0.171
11	-24.53	-40.252	49.403	-25.18	-45.74	49.39	2.575	11.999	0.025
16	-24.53	243.902	49.403	-25.18	238.31	49.39	2.575	2.346	0.025

Таблица 3 – Усилия в стержнях под действием загрузки №2

№ узла	Усилия Lira			Усилия Robot			Погрешность, %		
	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)	N (кН)	My (кН*м)	Qz (кН)
1	47.001	0.000	50.662	47.01	0	50.65	0.020	-	0.024
7	47.001	409.096	50.662	47.01	408.97	50.65	0.020	0.031	0.024
7	-41.86	409.096	-51.15	-41.86	408.97	-51.15	0.013	0.031	0.000
11	-41.85	260.36	-51.15	-41.86	260.31	-51.15	0.013	0.018	0.000
11	-46.81	260.36	-46.66	-46.82	260.31	-46.66	0.020	0.018	0.006
16	-46.81	-8.006	-46.65	-46.82	-8.05	-46.66	0.020	0.552	0.006

При загрузке №1 погрешность расчетов в двух комплексах не превысила 12%, в случае загрузки №2 - не более 1%. При этом следует учитывать, что модель, задававшаяся в Lira, является сильно приближенной и состоит из малого числа элементов. Разбив её на большее количество элементов, можно получить большую точность и, как следствие, большую сходимость к результатам Robot.

### Преимущества и недостатки программных комплексов

Исходя из расчетов и полученной погрешности можно убедиться в том, что оба комплекса способны справиться с расчетом рамы переменной жесткости и практически не уступают друг другу в точности.

Время расчетов составляет доли секунды в Robot Structure Analyses и около 5-8 секунд в Lira, поэтому основным критерием сравнения этих комплексов является удобство, простота и дружелюбность интерфейса.

Задание рамы в Robot Structure Analyses намного проще и быстрее, за счет своей функции «Коническое задание сечения». Это в разы ускоряет моделирование.

В Lira такая функция отсутствует, поэтому необходимо задавать каждое сечение вручную, на что теряется много времени.

Lira по сравнению с Robot имеет хоть и не сильно отличающееся, но немного более простое и интуитивное строение, что позволяет даже начинающему пользователю без труда разобраться с инструментами в пределах задания рамы переменной жесткости.

Репозиторий БНТУ