

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИХ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Бочарова Н.В., Уласевич В.П.

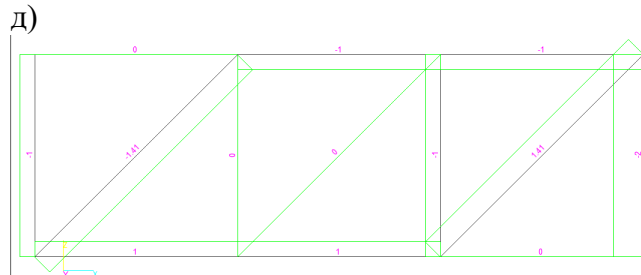
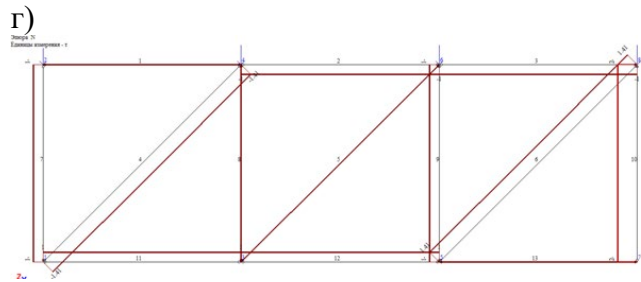
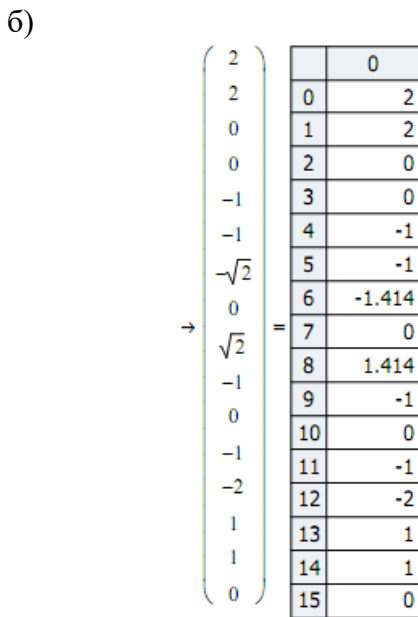
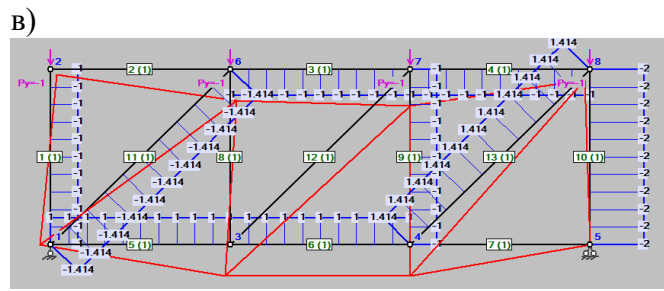
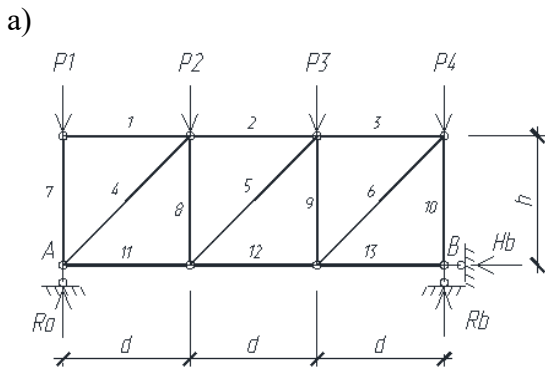
Введение. При подготовке специалиста строительной отрасли по курсу строительной механики ставятся цели и задачи: освоение теоретических основ и прикладных методов расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) сооружений и конструкций, формирование у обучаемых знаний и умений выполнять расчеты сооружений на прочность, жесткость и устойчивость, в том числе с применением компьютерных средств. Поэтому уже сейчас актуально параллельно с получением базовых знаний по строительной механике давать и направление на современные подходы к решению таких задач в программных комплексах, но только как проверка полученного решения. Количество программных комплексов широко известных, мало известных и только появившихся ставит пользователей перед вопросом как быстро, точно и достоверно решить задачу, каким программным инструментом ему воспользоваться.

Алгоритм расчета в программных комплексах

1. Выбор расчетной схемы. Чаще всего пользователь может выбрать вначале тип схемы из предложенных вариантов, для расчета плоских балок и рам тип схемы один, а для расчета пространственной конструкции или любой другой, тип схемы другой.
2. Создание геометрической схемы конструкции. Если проектируемая конструкция имеет простую схему, то её создают с помощью стандартных команд. Для создания сложной расчетной схемы пространственного каркаса или аналитической модели здания используют AutoCAD, САПФИР, Revit или другие.
3. Закрепление опорных узлов (в местах опор ставят связи, ограничивающие перемещения узла в этой плоскости).
4. Выбор требуемых типов жесткости элементов из библиотеки жесткостных характеристик.
5. Необходимо создать несколько загружений, чтобы после расчета определить наиболее неблагоприятное сочетание усилий.
6. Выполнение расчета конструкции возможностями, заложенными внутри комплекса, это чаще всего метод конечных элементов.
7. Анализ результатов расчета.

Теперь необходимо оценить результат, но достоверность зависит от того как правильно была представлена расчетная модель и это важный этап в воплощении модели сооружения в реальный объект. Такие решения приводят к тому, что нужно рассмотреть и проанализировать каждую расчетную модель конструкции более подробно.

Расчет статически определимых ферм. По определению фермой называется стержневая система, остающаяся геометрически неизменяемой после условной замены её жестких узлов шарнирными, элементы которой, при действии сосредоточенных нагрузок, приложенных в узлах, работают главным образом на центральное сжатие или растяжение [1]. Рассмотрим для численного анализа ферму с параллельными поясами, нагруженную сосредоточенными вертикальными единичными силами (рис. 1). Как ферма в целом, так и каждый ее узел должны находиться в равновесии (способ вырезания узлов). Для каждого узла можно составить два независимых уравнения равновесия и, используя MathCAD, решить систему уравнений [2]. При формировании расчетной модели узлы должны быть шарнирными, а нагрузка задаваться в виде сосредоточенных сил в верхнем поясе фермы. Расчет ферм следует начинать с анализа геометрической структуры, который состоит из двух шагов: проверки достаточности числа связей и анализе правильности их размещения (структурном анализе фермы). Продольные усилия «N», полученные в программном комплексе LiraSap2013, SCADOffice 21.1, SdCAD [3], а также способом вырезания узлов [1], представлены в виде эпюр (рис. 1). Опорные связи устанавливались в крайних узлах в плоской системе координат ZOX, шарнирно-подвижная опора моделировалась как закрепление узла по оси «Z», а шарнирно-неподвижная по оси «Z» и «X», т.е. ограничивались перемещения этого узла в этой плоскости. Высота и ширина панели фермы (dxh) – 2x2м. Вычисленные значения продольного усилия «N» полностью совпадают, независимо от выбранного программного комплекса и способа решения.



а) заданная схема фермы; б) решение системы уравнений, способ вырезания узлов реализован в MathCAD; в) эпюра «N», SdCAD; г) эпюра «N», LiraSaprr2013; д) эпюра «N», SCADOffice 21.1.

Рисунок 1 – К определению продольных усилий статически определимой фермы

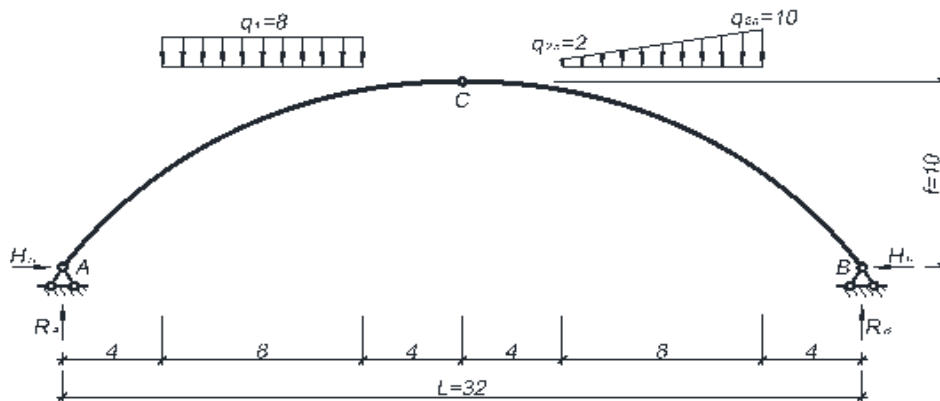
Данный пример задачи иллюстрирует, что программные комплексы выступают только как инструмент для определения усилий, а инженер составляет расчетную модель, оценивает полученные результаты и несет ответственность за разработанную конструкцию. Фермы рассчитываются как плоские шарнирно-стержневые системы только на вертикальную нагрузку, без учета натяжения при монтаже (из-за неточности установки колонн на монтаже, болтами стягивают фермы, создавая растягивающие напряжения еще до загрузки фермы), температурных воздействий, неравномерных деформаций основания и других факторов, которые реально существуют и могут снижать надежность работы ферм.

Расчет статически определимой трехшарнирной арки. Такие арки относятся к распорным системам, в которых при действии нагрузок возникают и горизонтальные составляющие опорных реакций, называемые распором. Рассмотрим расчет арки пролетом $L = 32$ м со стрелой подъема $f = 10$ м, ось которой изменяется по круговому закону (рис. 2) и сравним результаты для величины изгибающего момента, полученные численным способом и с помощью программных комплексов. Для решения численным способом нужно сначала определить опорные реакции арки из уравнений равновесия, потом определить распор H . Усилия в арке определяются методом сечений, разбивая арку на 16 частей, чем больше число расчетных сечений, тем более точно можно будет отобразить эпюры усилий. Величина усилия M , в сечениях арки определяются по формуле:

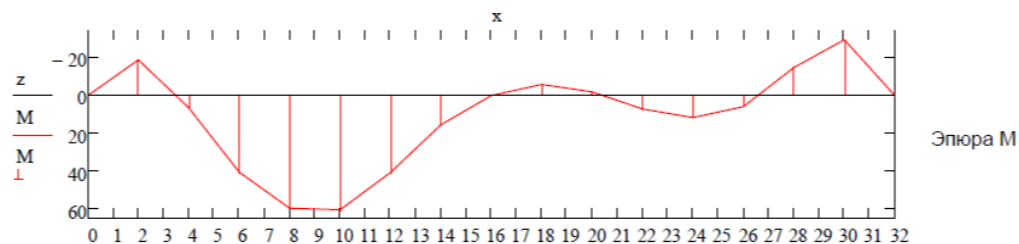
$$M_i = Mo_i - H \cdot y_i, \quad (\text{кН}\cdot\text{м}), \quad (1)$$

где: Mo_i – изгибающий момент в i -ом сечении простой двухопорной балки, имеющей такой же пролет, как арка, и нагруженной такой же нагрузкой, как арка; H – распор арки; y_i – ордината.

а)



б)



а) заданная схема арки; б) эпюра изгибающих моментов, построенная в MathCAD
Рисунок 2 – Решение трехшарнирной арки численным способом, эпюра M

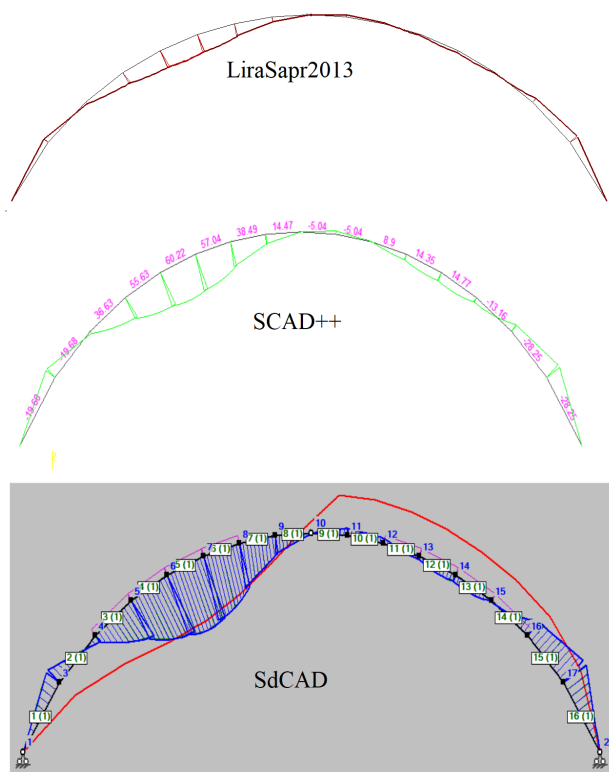


Рисунок 3 – Эпюры изгибающих моментов LiraSapr2013, SCAD Office 21.1, SdCAD

Решим эту задачу тремя расчетными программными комплексами LiraSapr2013, SCAD Office 21.1, SdCAD [3]. Для каждого узла необходимо предварительно вычислить координаты X и Z , с учетом того, что ось арки изменяется по круговому закону. А также нагрузку необходимо проецировать на арку с учетом угла наклона сегмента арки в каждом конкретном сечении, который также вычисляется для каждого нагруженного стержня. Эпюры усилий в арке могут строиться как непосредственно на оси арки, так и на горизонтальной оси, которая в этом случае рассматривается как проекция оси арки на горизонталь. Определяющим фактором является определение перемещений в арочных системах, для трехшарнирных арочных систем выполняется по формуле Мора [3] и зависит от жесткости арки при изгибе, сдвиге и растяжении-сжатии. Модели арочных систем с целью их приближения к реальной конструктивной схеме арок требуют не только учета продольной деформации, но также и учета геометрической нелинейности, проявляющей себя вследствие повышенной ее деформативности.

Значения усилий изгибающих моментов для сравнения представлены в табличной форме. Как видим, из сравнения результатов расчета в LiraSapr2013 результаты максимального значения отличаются на 0,5%, SCAD на 0,3%, SdCAD на 0,6%.

Расчет статически определимых пространственных ферм. Для того, чтобы не было изгиба и кручения в стержнях пространственных ферм, и чтобы сопротивление их приводилось только к растяжению и сжатию, необходимо соблюдение определенных условий: а) внешняя нагрузка должна быть приложена только в узлах фермы; б) отдельные стержни должны иметь в узлах шарнирное соединение, позволяющее им свободно поворачиваться во все стороны; в) стержни должны быть прямолинейные; г) усилия в стержнях должны действовать центрально, т.е. по направлению геометрической оси стержня. Как и для плоских ферм, вначале необходимо выполнить анализ геометрической структуры. Аналогично, как и для плоской фермы, для определения продольных усилий можно использовать способ вырезания узлов (рис. 4). Необходимо вырезать отдельно каждый узел и составить три уравнения равновесия проекций всех сил на оси «X», «Y», «Z», решить полученную систему уравнений.

Таблица 1 – Сравнение результатов в LiraSapr2013, SCAD Office 21.1, SdCAD

усилие "М", № точки	численный способ	LiraSapr	SCAD	SdCAD
0	0	0	0	0
1	-18.89	-17.5	-19.68	-17.02
2	6.534	7.15	11.9	7.94
3	40.513	40.2	36.63	41.8
4	59.693	59.1	55.63	59.65
5	60.447	60.1	60.22	60.86
6	40.758	40.8	44.42	41.37
7	15.476	15.7	14.47	16.06
8	0	0	0	0
9	-5.857	-6.55	-5.8	-6.82
10	-1.909	-3.81	-0.56	-4.39
11	7.113	3.79	8.9	2.85
12	11.693	7.31	14.35	5.96
13	5.846	1.75	14.77	0.46
14	-14.79	-16.8	-13.16	-17.54
15	-29.556	-29.5	-28.25	-29.81
16	0	0	0	0

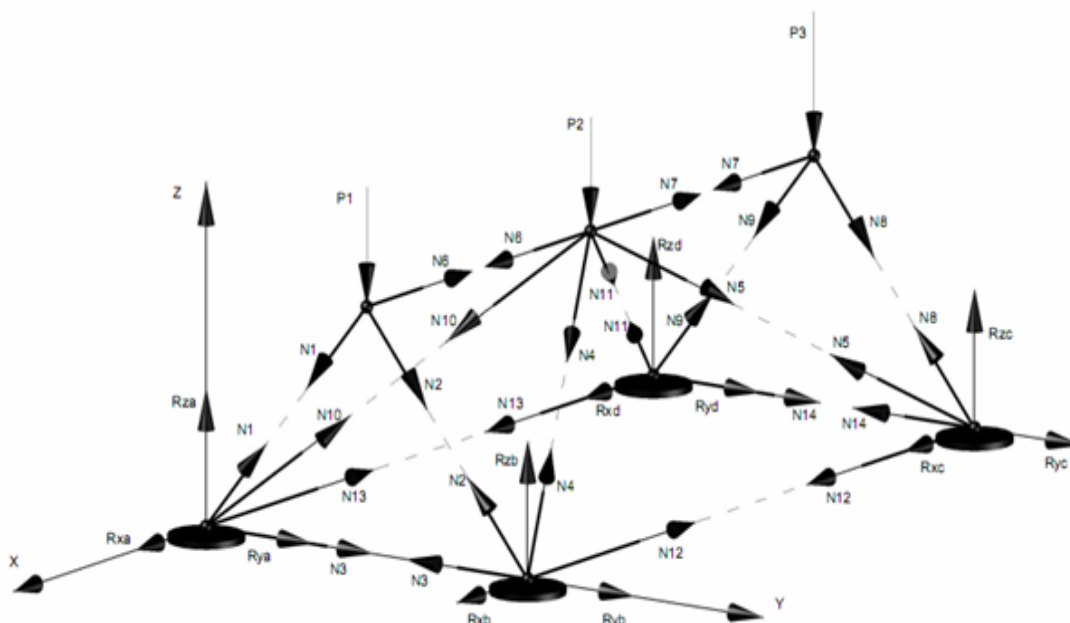
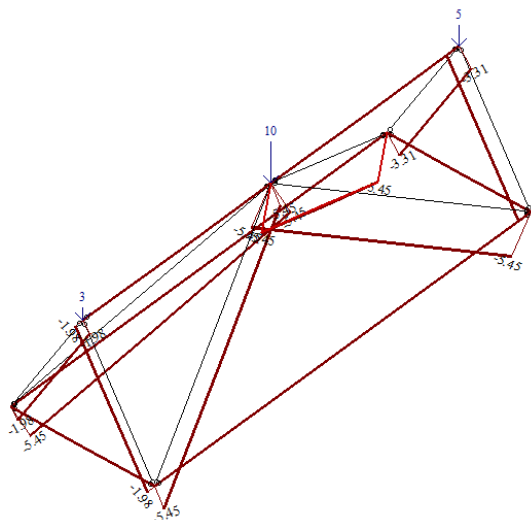


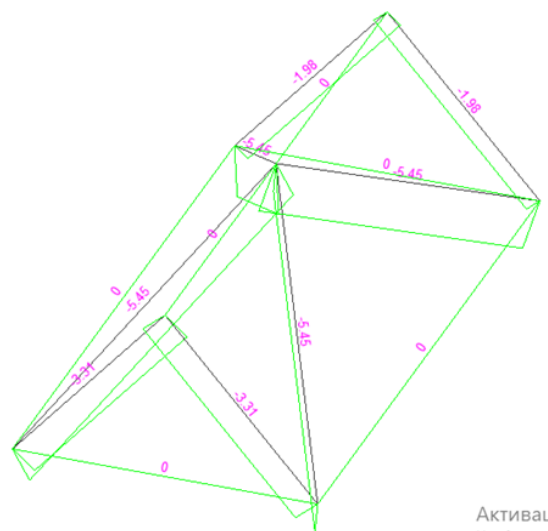
Рисунок 4 – К определению усилий статически определимой пространственной фермы

Решим эту задачу в программных комплексах LiraSapr2013 и SCAD Office 21.1.

а)



б)



а) LiraSapr2013; б) SCAD Office 21.1

Рисунок 5 – Эпюра продольных усилий LiraSapr2013, SCAD Office 21.1

Результаты, полученных усилий полностью совпадают с решением полученным способом вырезания узлов. Определяющим фактором при проектировании будет перемещение узлов такой системы.

Заключение. При решении поставленной инженерной задачи, используя любой программный комплекс нужно не забывать, что это инструмент, упрощающий сложные расчеты, которые при развитии компьютерных технологий выполняются за секунды, а составление расчетной модели должно базироваться на методах расчета строительной механики. Программные комплексы могут быстро и наглядно дать точный результат, а поэтому позволяют выбрать более экономичный вариант. В этом огромное преимущество, но необходимо всегда проверять полученные результаты, ведь маленькая неточность в представлении расчетной модели в программном комплексе – это уже другая задача. Ответственность за ошибки несет непосредственно инженер, который запроектировал конструкцию, а не разработчик программного комплекса. А поскольку современные задачи, которые решаются в программных комплексах, проверить достаточно сложно, поэтому необходимо повышать инженерную подготовку специалистов строительной отрасли в области теории сооружений, где курс строительной механики занимает особое приоритетное место. И тогда будут созданы условия, чтобы инженер-проектировщик мог уверенно решать поставленные задачи.

Список источников

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1986. – 608 с.
2. Игнатюк, В.И. Численные методы решения задач строительной механики : учебное пособие / В.И. Игнатюк, Н.В. Бочарова. – Брест: БрГТУ, 2015. – 100 с.
3. Уласевич, В.П. Алгоритм пользовательского интерфейса к программе расчета гибких стержневых систем SdCAD / В.П. Уласевич, Н.В. Бочарова, О.В. Костюк // Вестник БрГТУ. – 2010.–№5(60): Физика, математика, информатика. – С.107.