

УДК 621.7

В.В. Леонтьев, доцент, канд. техн. наук**В.Г. Хромов, профессор, д-р техн. наук****И.В. Хромов, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский Национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***РАЗРАБОТКА И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРАН-БАЛКИ**

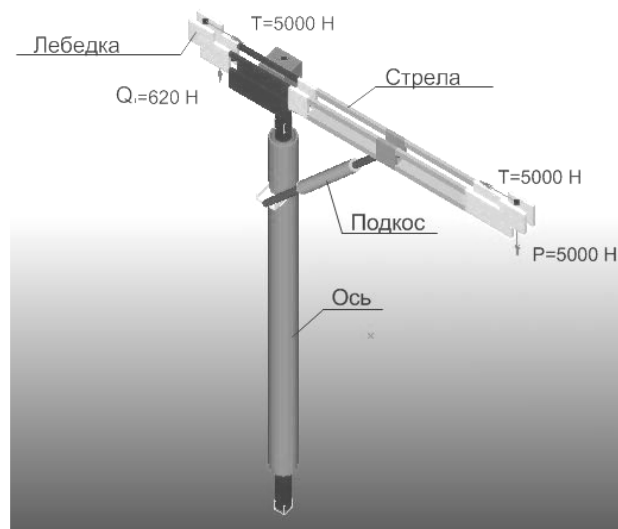
Выполнена количественная оценка возможных изменений результатов численного анализа прочности и жесткости при переходе от стержневой к конечно-элементной модели для пространственной конструкции кран-балки.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, стержневая система, 3-D модель.*

Современные программные пакеты, предназначенные для анализа прочности и жесткости, предполагают возможность использования различных вариантов расчетной модели исследуемого объекта. Так, например, для конструкции, включающей множество удлиненных несущих элементов возможны два варианта: стержневая модель или 3-D модель. Первая отличается предельной простотой. Однако, при сложной конструкции часто невозможно оценить точность конечного результата. Второй вариант предполагает выполнение расчетов с использованием заведомо более точной объемной модели. При этом резко возрастает трудоемкость подготовительного этапа – создание компьютерной модели проектируемой конструкции. Проблема создания такой модели особенно актуальна на стадии эскизного проектирования, когда еще нет завершеного представления о полной конфигурации объекта. В связи с этим остается актуальным анализ влияния вида используемой модели на точность расчета напряженно-деформированного состояния пространственных конструкций различного назначения.

Целью данной статьи является сравнительный анализ эффективности двух видов компьютерной модели применительно к методике проектирования кран-балки.

Исходная схема конструкции изображена на рисунке 1. Основным несущим элементом является



стрела, на одном конце которой установлена лебедка, а на другом – направляющий блок. Стрела установлена на вертикальной оси. Кроме того, ось и стрела связаны между собой подкосом. Ось крепится к неподвижному вертикальному основанию посредством 4-х подшипниковых опор (условно показаны на рисунках 2, 3). По концам стрелы приложены две горизонтальные силы $T = 5000 \text{ Н}$ (натяжение троса). Кроме того, к правому концу стрелы приложена вертикальная сила $P = 5000 \text{ Н}$ (вес груза), а к левому – вертикальная сила тяжести лебедки $Q = 620 \text{ Н}$.

Стержневая модель. В этом варианте вся конструкция разбивалась на 23 стержня различной жесткости, каждый из которых разделен на конечные элементы с одинаковой жесткостью (всего 100 стержневых конечных элементов). Поперечные

Рисунок 1 – Схема конструкции кран-балки

сечения стержней максимально отображают реальную форму заданных несущих элементов. Расчеты выполнены с помощью программного комплекса APM WinMachine [2]. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния показаны на рисунках 2, 3.

Картина деформированного состояния в целом (рисунок 2) совпадает с интуитивно ожидаемой. Передняя часть стрелы перемещается вниз, при этом максимальные перемещения возникают на конце стрелы и достигают 3,1 мм. Подкос несколько изгибается в верхней части и передает нагрузку через свою нижнюю опору на ось, которая, в свою очередь, передает нагрузку на подшипниковые опоры.

Приведем основные результаты расчета напряженного состояния для стержневой модели (рисунок 3): 1) для конструкции в целом наиболее опасной зоной является место соединения нижнего конца подкоса с осью. Здесь эквивалентные напряжения достигают максимального значения 454 МПа;

2) в теле стрелы максимальные напряжения возникают в районе ее соединения с подкосом и составляют 78 МПа; 3) для материала оси зона максимальных напряжений находится в районе подшипника верхней опоры. Эквивалентные напряжения составляют 128 МПа; 4) для подкоса максимальные напряжения составляют 118 МПа в районе нижней вилки.

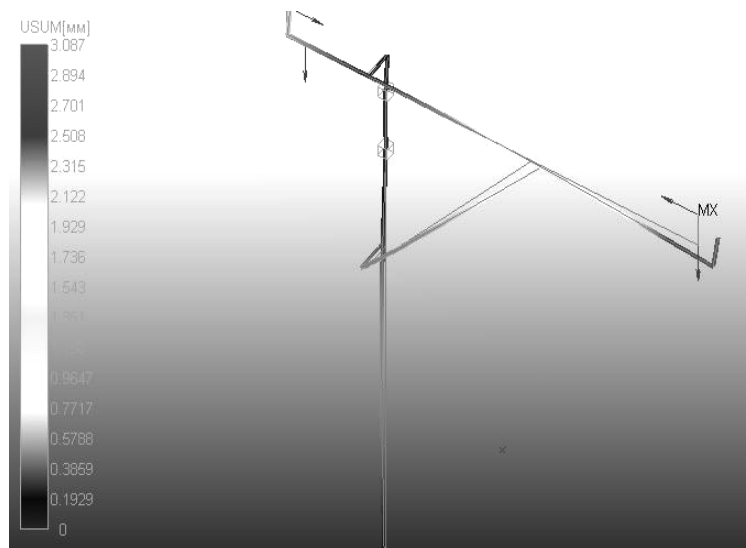


Рисунок 2 – Деформированное состояние конструкции для стержневой модели кран-балки

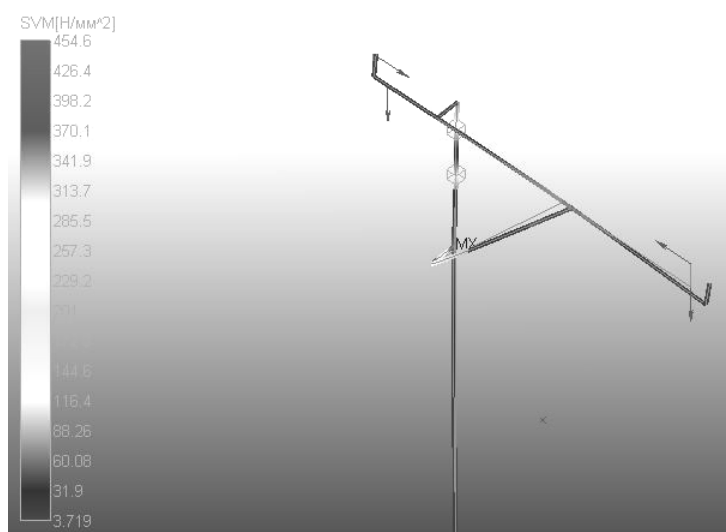


Рисунок 3 – Распределение эквивалентных напряжений для стержневой модели кран-балки

Конечно-элементная пространственная модель (3-D модель). Эта модель позволяет наиболее полно отобразить реальную форму, взаимное расположение и способы соединения всех несущих элементов кран-балки, включая конструкцию опорных узлов (рисунок 4).

Подготовительный этап расчета включает разбивку 3-D модели на конечные элементы в форме тетраэдра. Количество элементов для исследуемого объекта составило – 202301, число степеней свободы – 248655. Для повышения точности расчета при разбивке стрелы, подкоса и его нижней опоры использован конечный элемент с квадратичной функцией перемещений; для конечных элементов других деталей конструкции – линейная функция перемещений [2, 3].

На рисунке 5 представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния верхней, наиболее нагруженной части конструкции. Результаты расчета для этой модели существенно отличаются от предыдущих результатов и заключаются в следующем:

1) максимальные перемещения также возникают в передней части стрелы, но их величина примерно в два раза меньше и составляет 1,56 мм;

2) максимальные эквивалентные напряжения для конструкции составляют 200 МПа против 454 МПа при использовании стержневой модели; такие напряжения возникают не только в месте соединения нижней опоры подкоса с осью, но и в районе соединения верхней проушины подкоса со стрелой, что не видно из предыдущего расчета;

3) для стрелы максимальные напряжения достигают 120-130 МПа и возникают в передней части в районе скруглений вырезов; это существенно превышает данные, полученные при стержневой схеме расчета (78 МПа);

4) эквивалентные напряжения для оси не превышают 30-50 МПа, т.е. в два-три раза меньше напряжений полученных выше;

5) особый интерес представляет напряженно-деформированное состояние верхней опоры (рисунок 4). Анализ этого узла в рамках стержневой схемы не является адекватным реальной конструкции. Вместе с тем, как показал последний расчет, в верхнем угловом соединении элементов этой опоры возникают большие эквивалентные напряжения на уровне 100-120 МПа.

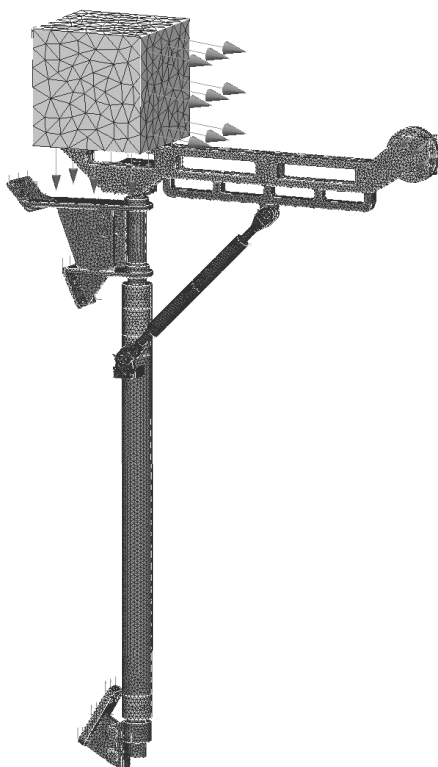


Рисунок 4 – 3-D модель конструкции кран-балки

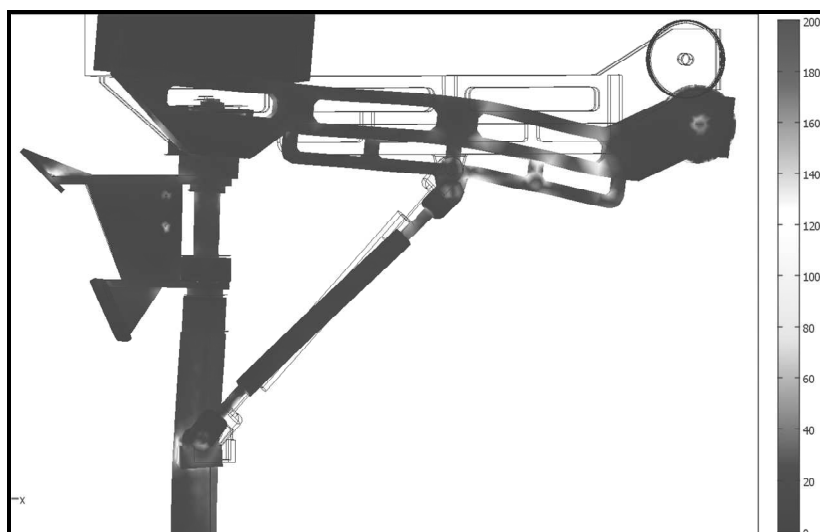


Рисунок 5 – Напряженно-деформированное состояние для пространственной модели кран-балки

Вывод. Анализ напряженно-деформированного состояния сложных пространственных конструкций с использованием стержневой расчетной схемы может приводить к ошибочным результатам. Применение указанной модели может быть оправдано только на стадии эскизного проектирования, когда нет полной информации о форме и размерах всех несущих элементов.

Окончательный расчет на прочность и жесткость объектов сложной конфигурации рекомендуется выполнять с использованием конечно-элементной 3-D модели. Это касается и тех объектов, которые внешне напоминают систему стержневых несущих элементов.

Бibliографический список использованной литературы

1. APM WinMachine. Система расчета и проектирования деталей и конструкций методом конечных элементов. Версия 9.6. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые данные. — Режим доступа: <http://www.apm.ru>

2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. — М.: Мир, 1975. — 541 с.

3. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган; под ред. О. Зенкевича. — М.: Мир, 1986. — 318 с.

Поступила в редакцию 11.06.2011 г.

Леонтьев В.В., Хромов В.Г., Хромов І.В. Розробка і порівняльний аналіз моделей напружено-деформованого стану кран-балки

Виконана кількісна оцінка можливих змін результатів чисельного аналізу міцності і жорсткості при переході від стрижньової до скінчено-елементної моделі для складної просторової конструкції.

Ключові слова: напружено-деформований стан, метод скінченних елементів, стрижнева система, 3-D модель.

Leontyev V.V., Khromov V.G., Khromov I.V. Development and comparative analysis of models of stress-strain condition of the crane-girder

The paper deals with quantitative estimation of possible changes of results of the numerical analysis of durability and rigidity when passing from rod to finite-element model of a difficult spatial construction.

Keywords: stress-strain condition, finite element method, rod system, 3-D model.