

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР КОМПАС 3D

*Болотеин А.Н., Юрков Д.С., Головкин А.С., Фролов С.С., Василенкова Е.М.
Рыбинский государственный авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева, Рыбинск*

Ключевые слова: подъемно-транспортные машины, моделирование, параметризация, прочность, автоматизированное проектирование.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы разработки параметрических моделей при проектировании элементов конструкции подъемно-транспортных машин на примере деталей простой крюковой подвески. Исследуются особенности формирования математических моделей с взаимосвязанными параметрами. Приводятся примеры параметрических моделей, выполненных с использованием САПР Компас 3D. Анализируются возможности полученных параметрических моделей и области их применения.

PARAMETRIC MODELING OF STRUCTURAL ELEMENTS OF LIFTING AND TRANSPORT MACHINES USING CAD COMPASS 3D

*Bolotein A.N., Yurkov D.S., Golovkin A.S., Frolov S.S., Vasilenkova E.M.
P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk*

Keywords: lifting and transport machines, modeling, parameterization, strength, computer-aided design.

Abstract. The article deals with the development of parametric models in the design of structural elements of lifting and transport machines on the example of parts for a simple hook suspension. The features of the mathematical models formation with interrelated parameters are investigated. Examples of parametric models made using Compass 3D CAD are given. The possibilities of the obtained parametric models and their applications are analyzed.

Процесс проектирования элементов и механизмов подъемно-транспортных машин предполагает выполнение большого объема расчётов для определения размеров деталей и связанных с ними параметров. При этом совместно выполняются как геометрические расчёты, так и расчёты на прочность, количество задействованных расчётных зависимостей может быть весьма существенным, а сами зависимости достаточно сложными. Кроме того, параметры, вычисленные для одной детали, могут влиять на параметры других деталей конструкции. Часто изменение одного параметра требует полного пересчёта всех остальных. С увеличением геометрической сложности деталей и их количества увеличивается и сложность расчётов. Поэтому такая методика проектирования считается трудоёмкой. Она не отличается высокой гибкостью и производительностью выполнения, имеет недостаточную наглядность и может привести к появлению ошибок, которые бывает очень сложно выявить.

Одним из способов решения проблемы является применение систем автоматизированного проектирования и принципов параметрического моделирования. При таком подходе модели деталей проектируемого механизма

создаются с использованием набора параметров, математически связанных друг с другом. Часть параметров задаются своими числовыми значениями и являются исходными данными, а остальные вычисляются на основе различных математических зависимостей.

Параметризация моделей позволяет за короткое время проанализировать различные варианты сочетаний исходных данных и соответствующие им конструкции проектируемого механизма, позволяет заранее избежать принципиальных ошибок в его структуре и размерах. Большинство современных САПР поддерживает разные типы параметризации, например, табличную, иерархическую, размерную и геометрическую.

Главной особенностью параметрического моделирования является необходимость создания математических моделей деталей с параметрами, при изменении которых происходят изменения в конфигурации моделей, а также изменения их положения в общей модели сборки. Параметризация позволяет гибко модифицировать (видоизменять) модели и сборки, с учетом взаимной привязкой объектов друг к другу. При изменении одного из элементов модели все зависящие от него элементы перестраиваются в соответствии со своими параметрами и способами их задания.

В качестве примера рассмотрим параметрическое моделирование простой крюковой подвески грузоподъемной машины с использованием возможностей САПР Компас 3D.

Конструкция подвески состоит из нескольких основных деталей: грузовой крюк, траверса, серьги, канатные блоки, опорная ось блоков и крепежные элементы. Большая часть их размеров определяется на основе прочностных расчётов, при этом многие размеры взаимозависимы.

На первом этапе были получены математические функции, необходимые для вычисления всех размеров для всех деталей конструкции, с учетом имеющихся в литературе расчётных зависимостей [1-3].

Большинство используемых математических зависимостей были составлены таким образом, чтобы расчёт размеров производился с учетом прочностных свойств деталей в их опасных сечениях.

Например, для траверсы крюковой подвески, показанной на рисунке 1, вначале определяется диаметр хвостовой части крюка d с учетом его требуемой прочности на растяжение. Этот диаметр соответствует диаметру отверстия в траверсе d_o :

$$d_o = d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi[\sigma_p]}}$$

где $[\sigma_p]$ – допускаемые напряжения растяжения для материала крюка.

Далее можно определить высоту траверсы h из условия её прочности на изгиб в месте крепления грузового крюка [2]:

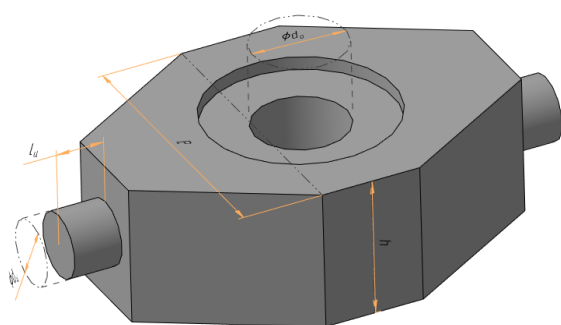
$$h = \sqrt{\frac{3Ql_o}{2[\sigma_u](B - d_o)}}$$

где Q – сила тяжести груза, $[\sigma_u]$ – допускаемые напряжения изгиба для материала траверсы, l_o – расстояние между опорными точками цапф траверсы, B – ширина траверсы, d_o – диаметр отверстия под хвостовик крюка.

Похожим образом определяется диаметр цапфы траверсы d_u :

$$d_u = \sqrt[3]{\frac{Q}{2} \frac{0,5S}{0,1[\sigma_u]}}$$

где S – толщина серьги.



а)

| Имя | Выражение | Значение | Параметр | Комментарий |
|-----|----------------------|------------|----------|-------------------------------------|
| m | | 20 | | Масса груза, т |
| k | | 5 | | Коэффициент запаса |
| l | | 150 | | Расстояние между серьгами, мм |
| pi | | 3.14 | | |
| s | | 5 | | Толщина серьги, мм |
| s1 | | 1 | | Толщина накладки, мм |
| d | $(4^*q/pi/sig...$ | 35.350835 | | Диаметр отверстия под крюк, мм |
| b | 3^*d | 106.052505 | | Ширина траверсы, мм |
| dc | $(q/2^*(0.5^*s...$ | 24.275896 | | Диаметр цапфы, мм |
| h | $(3^*q^*l_o/2/si...$ | 52.182454 | | Высота траверсы, мм |
| lc | $3^*(s+s1)$ | 18 | | Длина цапфы, мм |
| q | $m^*1000^*9.81$ | 196200 | | Сила тяжести груза, мм |
| l_o | $l+2^*s1+2^*s/2$ | 157 | | Расстояние между опор, мм |
| ds | $((sigma_r+...$ | 40.24139 | | Внешний диаметр серьги, мм |
| P | $q/2/dc/s$ | 808.209094 | | Давление на серьгу со стороны цапфы |

б)

Рис. 1. Траверса: а) параметрическая модель; б) таблица параметров

По диаметру цапфы определяются внешний радиус серьги R и её ширина b , исходя из прочности серьги на разрыв [1]:

$$R = \frac{d_u}{2} \sqrt{\frac{[\sigma_{pc}] + p}{[\sigma_{pc}] - p}}, \text{ при этом } p = \frac{Q}{2Sd_u}, \text{ тогда } b = 2R,$$

где p – удельное давление между цапфой и отверстием в серьге, $[\sigma_{pc}]$ – допускаемые напряжения растяжения для материала серьги.

Аналогично были получены и систематизированы зависимости для других деталей – канатных блоков и их опорной оси.

Таким образом, в результате проделанной работы удалось связать математическими зависимостями все геометрические размеры для всех деталей рассматриваемой крюковой подвески. На основе этих зависимостей были построены параметрические модели деталей и модель общей сборки (рис. 2а).

Полученная модель сборки может гибко модифицироваться при изменении любого из входных параметров расчёта, к которым относятся: масса поднимаемого груза, диаметр используемого каната, количество канатных блоков, коэффициент режима работы, коэффициент запаса прочности. Её можно использовать для оценки массогабаритных характеристик проектируемой конструкции, создавать на её основе конечноэлементные модели в системах конечноэлементного анализа для дальнейшего исследования конструкции, определения сил, напряжений, деформаций и запаса прочности (рис. 2б,в).

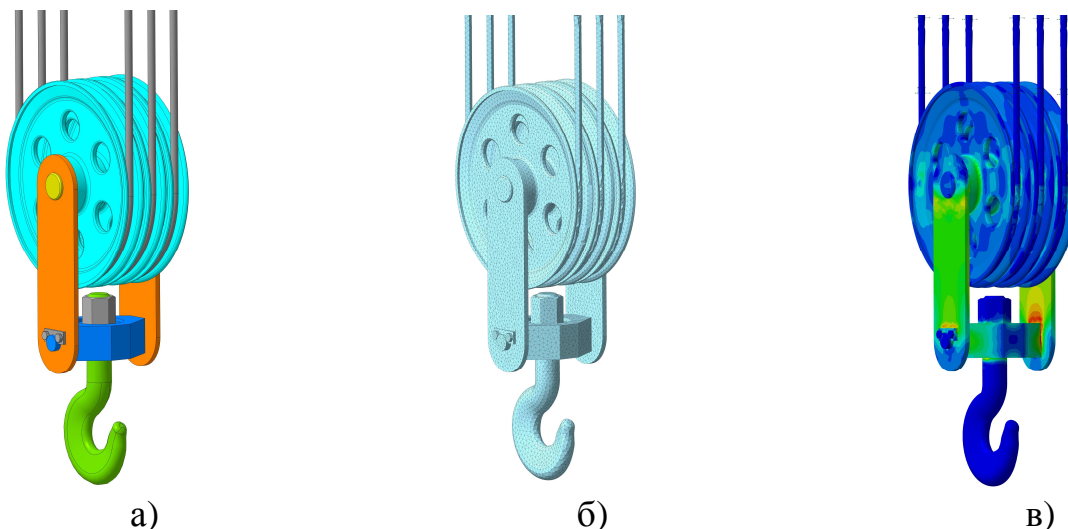


Рис. 2. Модель крюковой подвески: а) параметрическая модель сборки, б) конечноэлементная модель, в) результаты расчёта напряжений в APM FEM

Используя предложенный подход, математические зависимости и модели можно значительно повысить производительность проектирования не только элементов крюковой подвески, но и любых других элементов конструкции подъемно-транспортных машин, например, грузовых барабанов, тормозных и захватных устройств, грузовых тележек и др.

Полученные модели могут использоваться при прочностных и динамических расчётах, для изготовления макетов будущих изделий, для подготовки и оформления конструкторской документации на изделие. При этом уменьшается количество ошибок в расчётах, значительно повышается качество и производительность проектно-конструкторских работ.

Список литературы

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. – 6-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1985. – 520 с.
2. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины Учебник для вузов по специальности «Подъемно транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование». – 4-е изд , перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989 – 536 с.
3. Иванченко Ф.К. Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 424 с.

Сведения об авторах:

Юрков Даниил Сергеевич – студент;

Фролов Сергей Сергеевич – студент;

Василенкова Екатерина Максимовна – студент;

Головкин Антон Сергеевич – студент;

Болотейн Алексей Николаевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры Прикладной механики.