

РАСЧЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В COMSOL MULTIPHYSICS

А. А. Филимонов¹, студент

В. А. Рукавишников², д. пед. наук, доцент

^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский государственный
энергетический университет», г. Казань, Российская
Федерация

¹vip.jokermigel@mail.ru

Ключевые слова: инженерная геометрия, цифровые двойники
COMSOL, 3D - моделирование.

Аннотация. В работе представлен пример по решению инженерно-геометрической задачи в механике. Предложена готовая программа для оптимизации расчетов в данной области.

В настоящее время все больше расчетов происходит не вручную, а с помощью программных обеспечений, например, Ansys и COMSOL Multiphysics, облегчающие процесс решения задачи и дающие более точные результаты в виде 3D. Обе программы имеют ряд достоинств и недостатков. Со своими основными задачами, а именно, моделированием и расчетами, программы справляются одинаково хорошо. Однако, если брать во внимание остальные аспекты данного сравнения, то пакет COMSOL Multiphysics является более предпочтительным. Во многом это связано со стоимостью продукта, которая в разы меньше, чем у Ansys, а также COMSOL имеет более приятный и понятный интерфейс. Такая программа как COMSOL Multiphysics версии 6.1 позволяет решить задачи в разных областях науки и техники, в том числе стандартные задачи строительной механики. Как пример, можно взять гаечный ключ за конец гнезда и приложить усилие, чтобы повернуть его по часовой стрелке, однако, поскольку болт зафиксирован на месте,

ключ согнется. Для расчетов напряженного состояния используется классическая теория балки, идеализируя данный ключ как консольную балку. Программное обеспечение COMSOL создает график по умолчанию на основе собственного физического моделирования [1]. В нашем случае использования модуля задач технической механики программа показывает результаты напряжения, которые представлены на рисунке.

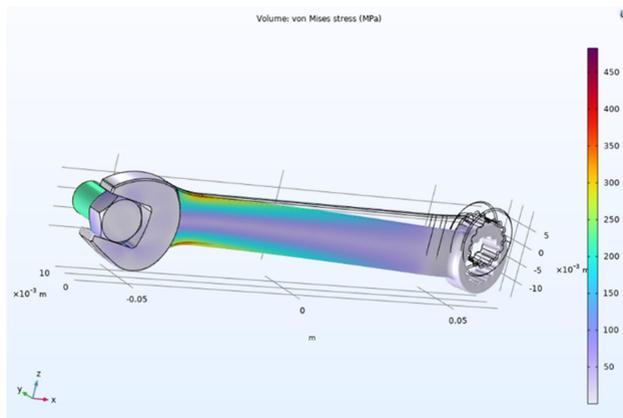


Рисунок 1. Результаты напряжения

Для расчетов напряженного состояния ключа были приняты следующие условия для расчета (1 - 9):

1. Linear Elastic Material:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \nabla \cdot S + FV \quad (1)$$

$$S = S_{inel} + S_{el}, \varepsilon_{el} = \varepsilon - \varepsilon_{inel} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{inel} = \varepsilon_0 + \varepsilon_{ext} + \varepsilon_{th} + \varepsilon_{hs} + \varepsilon_{pl} + \varepsilon_{cr} + \varepsilon_{vp} + \varepsilon_{ve} \quad (3)$$

$$S_{el} = \frac{C}{\varepsilon_{el}} \quad (4)$$

$$S_{inel} = S_0 + S_{ext} + S_q \quad (5)$$

$$\varepsilon = 0,5 \left[(\nabla u)^T + \nabla u \right], \quad (6)$$

где ε_{el} – упругая деформация, ε – тензор полной деформации, ε_{inel} – неупругая деформация, S_0 – начальное напряжение, C – тензор упругости четвертого порядка, S_{ext} – внешнее напряжение, S_q – напряжение (вязкое демпфирование), ε_0 – начальная деформация, ε_{th} – термическая деформация, ε_{hs} – гигроскопическая деформация, ε_{pl} – пластическая деформация, ε_{cr} – деформация ползучести, T – температура.

2. Boundary Load:

$$S \cdot n = F_A \quad (8)$$

$$F_A = \frac{F_{tot}}{A}, \quad (9)$$

где n – вектор нормали к внешней поверхности, F_A – нагрузка, определяемая как усилие на единицу площади, F_{tot} – общая сила, A – площадь поперечного сечения [2].

За начальные параметры построения физической модели были взяты значения, указанные в таблице 1.

Таблица 1.

Начальные параметры построения

Имя	Параметр	Значение	Описание
F_{tot}	100 [N]	100.00 N	Сила
$Length$	0.12 [m]	0.12000 m	Длина
M	$F_{tot} \cdot Length$	12.000 N · m	Момент силы

C	$Ht / 2$	0.0063500 m	Расстояние от нейтральной оси до внешней границы балки
B	0.001778 [m]	0.0017780 m	Ширина
I	$B \cdot Ht \wedge 3/12$	$3.0350\text{E-}10 \text{ m}^4$	Момент инерции
$maxS$	$N \cdot C/I$	$2.5107\text{E}8 \text{ N/m}^2$	Максимальное напряжение
Ht	0.0127 [m]	0.012700 m	Высота балки

Изгиб на конце гнезда ключа также вызывает небольшое движение вокруг оси X , вызывая поворот гнезда вокруг оси X , что не учитывается ручным расчетом. Это скручивание по оси Y вокруг оси X создает максимальное напряжение слева от балки. Если осмотреть болт, то можно увидеть, что напряжение внутри него растет радиально.

Таким образом, компьютерное моделирование позволило воссоздать график напряжения и точный расчет задачи по строительной механике, что можно использовать для решения и более актуальных задач, оптимизируя процесс разработки проектов в данной области.

ИСТОЧНИКИ:

1. Structural Mechanics Module [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doc.comsol.com/5.5/doc/com.comsol.help.sme/StructuralMechanicsModuleUsersGuide.pdf> (дата обращения 27.02.2023);
2. Denis Chemezov, Svetlana Tyurina, Irina Pavluchina, Oleg Gorbatenko, Irina Medvedeva. CALCULATION OF VON MISES STRESS AT PLASTIC DEFORMATION OF A STEEL BUSHING // Theoretical and Applied Science. 2018. Т. С. 201 – 202.
3. Зиангиров А.Ф. 3D-моделирование механизмов в AUTODESK INVENTOR // А.Ф. Зиангиров, Д.В. Хамитова/ Материалы II Международной научно-практической конференции «Наука и образование в условиях мировой нестабильности: проблемы,

новые этапы развития» - Ростов на Дону: Манускрипт, 2022 – С.136-138.

4. Зиангиров А.Ф. Методы исключения поддерживающих конструкций при 3D печати // А.Ф. Зиангиров, М.М. Фархутдинов, Д.В. Хамитова/ Материалы II Международной научно-практической конференции «Наука и образование в условиях мировой нестабильности: проблемы, новые этапы развития» - Ростов на Дону: Манускрипт, 2022 – С. 96-98.