

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЬБЫ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ВИТКАМИ

Онищенко В.П., Хмиров Н.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Резьбовые соединения получили большое распространение в машиностроении. В современных машинах детали, имеющие резьбу, составляют свыше 60% от общего количества деталей. Целью работы является оценка влияния погрешности шага витков резьбы на распределение нагрузки между ними.

Задача о распределении общей нагрузки на болт между витками резьбы является достаточно сложной, статически неопределимой задачей. Распределение

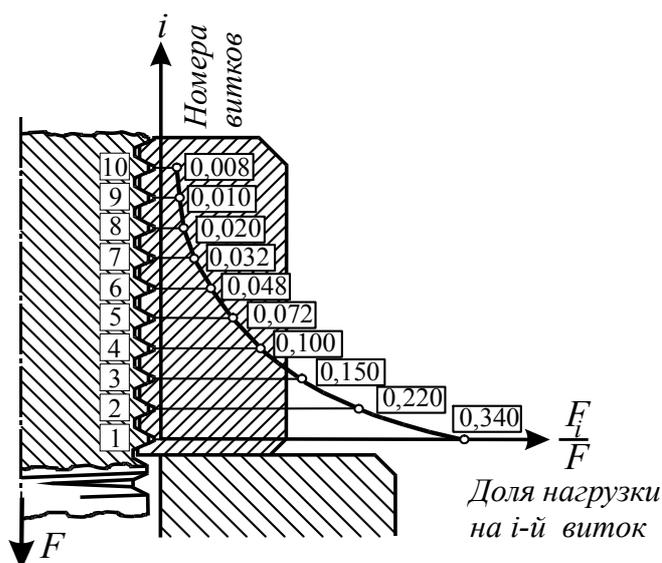


Рис. 1 Схема распределения нагрузки между витками резьбы по Н.Е. Жуковскому

представлена на рис. 1. Уравнение этого распределения имеет вид

$$F_i = F(0,0001i^4 - 0,0036i^3 + 0,0391i^2 - 0,2107i + 0,5142), \quad (1)$$

где i - порядковый номер витка.

На основе теории Н.Е. Жуковского сделан важный практический вывод о нецелесообразности применения гаек с большим количеством (более 10) витков. Стандартные крепежные гайки обычно имеют 5-6 витков.

На практике при изготовлении резьб всегда имеет место погрешность по шагу, влияние которой на распределение нагрузки между витками обычно не учитывается. Для оценки степени влияния погрешности по шагу на максимальное значение неравномерности распределение нагрузки между витками резьбы было проведено соответствующее исследование. В качестве объекта исследования была принята резьба с параметрами, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для исследования распределения нагрузки по виткам метрической резьбы

* Жуковский Н.Е. рассматривал гайку с десятью витками

Параметр резьбы	Болт, мм	Гайка, мм
Номинальный диаметр	M20	
Шаг	P = 2,5	
Наружный диаметр	$d = 20$	$D = 20$
Средний диаметр	$d_2 = 18,376$	$D_2 = 18,376$
Внутренний диаметр	$d_1 = 17,294$	$D_1 = 17,294$
Размер под ключ	30	
Высота головки болта	12,5	-
Высота гайки	-	25

Анализ влияния погрешности по шагу на распределение нагрузки по виткам резьбы производился при помощи метода конечных элементов [2].

Метод конечных элементов (МКЭ) широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела. Задачи решаются с применением численных методов решения дифференциальных уравнений в частных производных, а также интегральных уравнений, используемых при решении задач прикладной физики. Прежде всего, создается 3D-модель рассчитываемого объекта и производится его разбивка на большое число элементов конечного размера. С уменьшением максимального размера элементов увеличивается число узлов и неизвестных узловых параметров. Вместе с этим повышается возможность более точно удовлетворить условиям задачи и тем самым приблизиться к искомому решению. Взаимодействие конечных элементов осуществляется через их узлы по определенным законам, причем законы, описывающие эти уравнения, разные для разных типов конечных элементов. С учетом выбранного типа конечного элемента формируется матрица жесткости. В конечном итоге, матрица жесткости сводится к системам алгебраических уравнений. Эти уравнения дополняются законами, описывающих внешние силы, а также заданными ограничениями на перемещение отдельных частей конструкции (опоры).

Для решения поставленной задачи использовался метод конечных элементов, реализованный в модуле APM Studio комплекса CAD/CAE системы APM WinMachine*.

Исследуемая 3D-модель состоит из двух объектов – болта и накрученной на него гайки. Для того чтобы визуализировать распределение напряжений, действующих в витках резьбы, модель разрезалась осевой плоскостью (рис. 2). Материалы гайки и винта приняты одинаковыми.

Гайка в сборке закреплялась по двум схемам

- по основаниям витков гайки - «жесткая гайка» по Жуковскому (рис. 3а);

* <http://www.apm.ru/rus/machinebuilding/>

- по торцевой поверхности гайки (рис. 3б).

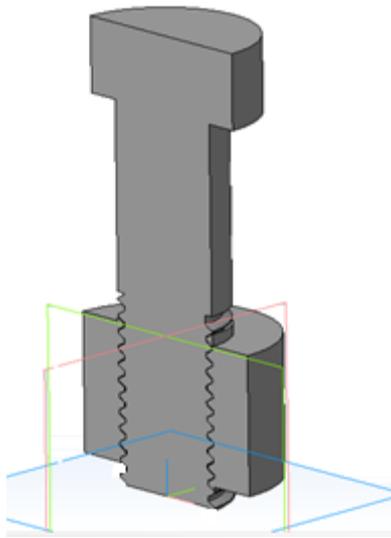


Рис. 2 – 3D-модель-исследуемого объекта

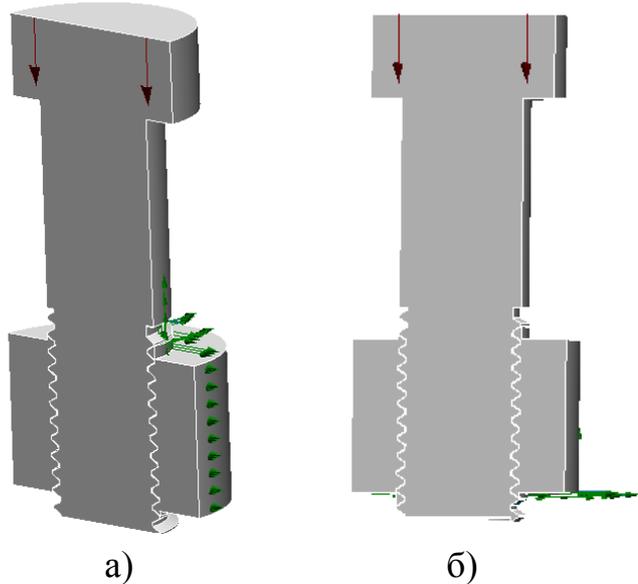


Рис. 3 - Схемы закрепления и схема нагружения модели исследуемого объекта

Осевая нагрузка интенсивностью 2000 Н/мм прикладывалась к головке болта по окружности среднего диаметра резьбы (рис. 3).

Объемная 3D-модель разбивалась на конечные элементы с шагом разбивки 2мм и максимальным коэффициентом сгущения 3. В итоге объекты исследования насчитывали 38881 конечных элементов. Пример разбивки 3D-модели на конечно-элементную сетку представлен на рис. 4.

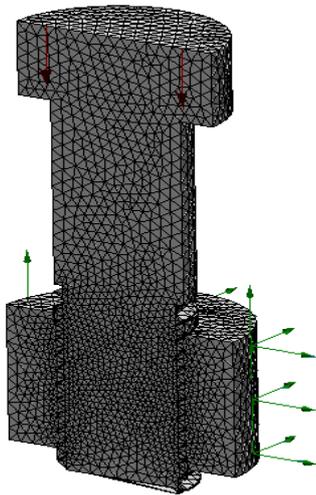


Рис. 4 - 3D-модель, разбитая на конечно элементную сетку

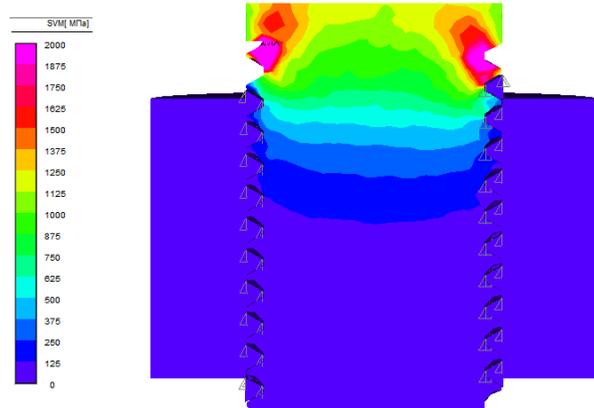


Рис. 5 - Распределение нагрузки по виткам резьбы по схеме Н.Е. Жуковского (погрешность шага равна нулю)

Для оценки адекватности принятой реализации метода конечных элементов модель была нагружена в соответствии с расчетной моделью Н.Е. Жуковского при погрешности шага резьбы, равной нулю (рис. 5).

При применении метода конечных элементов для определения силы, действующей на виток, было принято допущение, что напряжения в витках

распределены по центральным окружностям равномерно. Тогда можно считать, что относительная нагрузка, на i -й виток будет пропорциональна отношению напряжения в витке к сумме напряжений по всем виткам

$$\frac{F_i}{F} = \frac{\sigma_i}{\sum \sigma_i} \quad (2)$$

В случае разных значений напряжений по длине витка в качестве σ_i принималось среднее значение действующих напряжений.

Влияние погрешности изготовления резьбы по шагу определялось следующим образом. Было принято допущение, резьба винта выполнена с погрешностью по шагу, а резьба гайки выполнена идеально точно. Распределение погрешности принято соответствующим нормальному закону с максимальным значением 0,5 мм. Было проанализировано несколько вариантов расположения максимального значения погрешности: максимум на первом витке, максимум на последнем витке, максимум на пятом витке и минимум на пятом витке. Пример результата исследования резьбового соединения представлен на рис. 6.

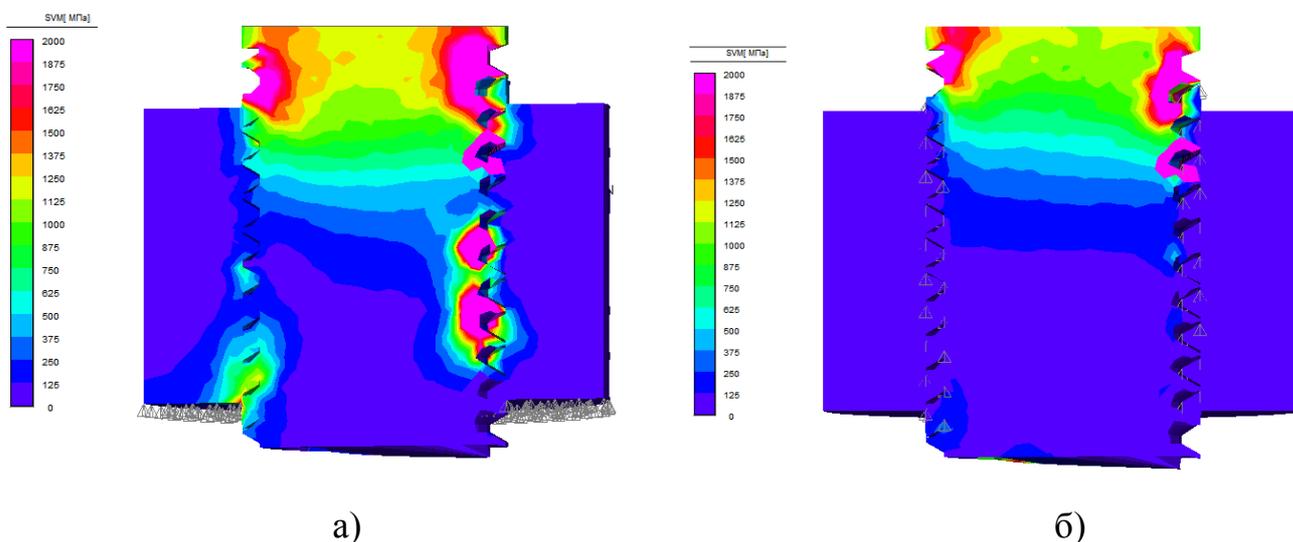


Рис. 6 – Распределение напряжений по виткам резьбы по методу конечных элементов с учетом погрешности по шагу резьбы:

а) – схема закрепления гайки по рис. 3а;

б) схема закрепления гайки по рис. 3б

Результаты обработки проведенных исследований представлены на рис.7.

Кривые 1 и 2 на рис. 7 расположены довольно близко друг от друга, следовательно, можно сделать вывод, что результаты определения распределения нагрузки по виткам резьбы, найденное методом конечных элементов, практически полностью совпадают с результатами теории Жуковского Н.Е.

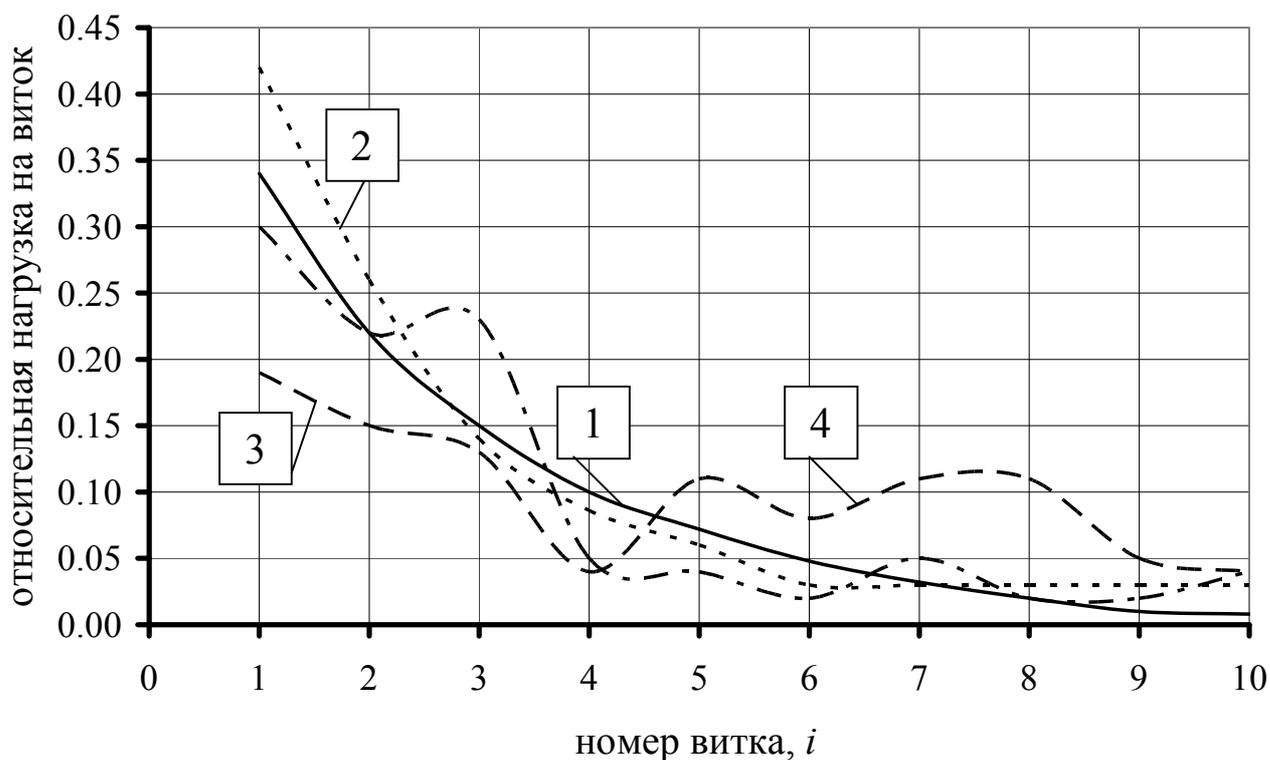


Рис. 7 – Распределение нагрузки между витками резьбы по результатам теоретического эксперимента: 1 - теория Жуковского Н.Е.; 2 – МКЭ, модель Жуковского Н.Е.; 3 – МКЭ схема закрепления гайки по рис. 3а с учетом погрешности по шагу резьбы; 4 - МКЭ схема закрепления гайки по рис. 3б с учетом погрешности по шагу резьбы

Выводы.

1. Метод конечных элементов является надежным инструментом для исследования напряженного состояния в витках резьбы.
2. Модель резьбы Н.Е. Жуковского является упрощенной, так как не учитывает деформацию болта и тела гайки. Учет этих факторов в методе конечных элементов показывает, что неравномерность распределения нагрузки по виткам резьбы снижается с 34% до 19%.
3. Погрешность по шагу резьбы не меняет общий характер распределения нагрузки по виткам резьбы, но влияет на положение наиболее нагруженного витка, который располагается в зоне максимальной (минимальной) погрешности резьбы.

Список литературы: 1. Жуковский, Н.Е. Распределение давлений на нарезках винта и гайки / Н.Е. Жуковский // Полное собрание сочинений. – М. : ОНТИ, 1937. – Т. VIII. – С. 48–54. 2. Метод конечных элементов/ И.М. Бузун, А.С. Гордецкий, В.Г. Пискунов, Ю.Н. Толокнов. под ред.. П.М. Варвака К. Виша Школа. 1981 173с.