

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия*

***Аннотация.** В процессе создания передовых образцов электронной техники, на этапе конструирования большое значение отводится обеспечению заданной прочности, как отдельных элементов электронной техники, так и изделия в целом [1]. В Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ», при обучении студентов используются передовые методики, основанные на сочетании традиционных способов решения инженерных задач, и возможностей предоставляемыми современными системами автоматизированного проектирования (CAD, CAE), с целью подготовки инженерных кадров, обладающих способностью решения одной и той же задачи с использованием разных подходов и технических средств.*

Ключевые слова: прикладная механика; стержневая конструкция; прочность; метод сечений; напряжения; статический анализ

В современных условиях, для обеспечения гарантированной точности и высокого качества разнообразных конструкторских решений, часто, требуется достижение конечного результата разными подходами и методами. При создании передовых образцов электронной техники большое значение отводится обеспечению заданной прочности, как отдельных элементов электронной техники, так и изделия в целом. В большинстве научных работ, посвященных решению задач на прочность, рассматривается какой-либо один метод решения [2,3]. На кафедре «Прикладной механики и инженерной графики» (ПМИГ) Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ГЭТУ (ЛЭТИ) в процессе обучения студентов по дисциплине «Прикладная механика» используется комплексный подход, основанный на использовании нескольких методов решения задач на прочность стержневых конструкций. В первом случае определение внутренних сил и напряжений в конструкции осуществляется методом сечений [4]. Во втором случае используются возможности современных систем автоматизированного проектирования и в частности, систем Компас 3D («Аскон», Россия), SolidWorks («Dassault Systemes», Франция) [5]. Системы автоматизированного проектирования, используя метод конечных элементов, позволяют провести анализ напряженного состояния нагруженных конструкций, потери устойчивости, оптимизации, а также частотный и термический анализ.

При решении задач на прочность стержневых конструкций, вычисляются напряжения, которые зависят от параметров внешних сил и геометрических размеров поперечного сечения стержня, а также определяется запас прочности конструкций, при использовании различных материалов. На первом этапе исследование выполнено методом сечений. Рассмотрены следующие варианты разме-

ров поперечного сечения стержня $b \times h, м$: 0,05×0,05, 0,1×0,1, 0,15×0,15, 0,2×0,2, а также внешней нагрузки $P, Н$: 5000, 10000, 15000, 20000. В результате решения задачи установлено, что при уменьшении размеров поперечного сечения стержня от 0,2*0,2 м до 0,15*0,15 м напряжения увеличиваются в 2,3 раза, при уменьшении от 0,15*0,15 м до 0,1*0,1 м в 3,3 раза, при уменьшении размеров поперечного сечения от 0,1*0,1 м до 0,05*0,05 м напряжения увеличиваются в 8,5 раз (табл.1).

Таблица 1 – Нормальные напряжения σ , МПа в конструкции стержня

Нагрузка, $P, Н$	Размеры поперечного сечения стержня, $b \times h, м$			
	0,05×0,05	0,1×0,1	0,15×0,15	0,2×0,2
20000	1000	117,6	35,6	15,2
15000	750	88,2	26,7	11,4
10000	500	58,8	17,8	7,6
5000	250	29,4	8,9	3,8

Из табл.1 следует, что при размерах стержня 0,2×0,2 и 0,15×0,15м независимо от уровня нагрузки, все материалы обеспечивают требуемый запас прочности конструкции, при размерах стержня 0,1×0,1 м и уровне нагрузки 20000 Н стержень из меди не обеспечивает требуемый запас прочности, а при размерах 0,05×0,05м, независимо от уровня нагрузки и материала, все стержни не обеспечивают требуемый запас прочности. Предельно допустимые нормальные напряжения $[\sigma]$ стержня, изготовленного из меди, стали и молибдена соответственно равны 100, 130, 300 МПа.

Рассмотрено решение этой же задачи методом конечных элементов в программе SolidWorks. Последовательно построены эскиз и 3D модель стержня, задано жесткое закрепление, приложена сила $P=5000Н$ и создана сетчатая модель. Для создания трехмерной модели стержня в программе SolidWorks использован документ «Деталь» и команда «Вытянуть бобышку». В меню «Simulation» последовательно выбраны команды: тип исследования – статический, материал – легированная сталь, нагрузка/крепление – выбрана торцевая грань и задано жесткое закрепление, сила – приложена на краю стержня с использованием вкладок «разделить» и «тип», сетка – создать. После этого выполнен статический анализ конструкции на прочность с использованием команды «Выполнить» из меню «Simulation». В результате в дереве исследования получены три графика: 1) напряжения; 2) перемещения; 3) деформации. Решение задачи в системе SolidWorks показало, что наибольшие напряжения возникают в области, прилегающей к заделке и равны 31,2 МПа.

Таким образом, в результате статического анализа в системе SolidWorks для стержня размером 0,1×0,1 м и уровне нагрузки 5000Н, наибольшее напряжение σ составило 31,2 МПа, а в результате расчета методом сечений 29,4 МПа. Погрешность между значениями составила 5,7%. Анализ решений значительного числа задач на прочность показал, что погрешность между напряжениями, вычисленными методом сечений и методом конечных элементов не превышает 6%, что свидетельствует о возможности использования обоих методов для анализа прочности конструкций.

Рассмотренный комплексный подход используется в рамках специализированной подготовки студентов, обучающихся на направлениях подготовки бакалавров специальности 12.03.01 «Приборостроение», 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» факультета информационно-измерительных и биотехнических систем, а также в рамках соответствующих дополнительных профессиональных программ.

Список литературы:

1. Афонин П.Н., Титов А.В. Разработка технических средств потокового контроля веса транспортных средств в пунктах пропуска через государственную границу Российской Федерации // Бюллетень инновационных технологий. – 2022. Т. 6. – № 3 (23). – С. 75–77.
2. Белов А.В., Неумоина Н.Г., Поливанов А.А. О выборе критерия прочности в расчетах на длительную прочность при неизотермических процессах нагружения. // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – №1. – С.20–25.
3. Поливанов А.А., Белов А.В., Неумоина Н.Г. Воздействие водорода высоких параметров на длительную прочность двух- и трехслойных плоских пластин, работающих в условиях температурной ползучести// Современные наукоемкие технологии. – 2018. – №11-2. – С.210–215.
4. Воробьев С. В., Кормилицын О. П. Анализ прочности и жесткости стержней: учеб.-метод. пособие. СПб., 2016. – 32 с.
5. Лебедева Е. А. Решение инженерных задач в программном комплексе SolidWorks: учеб. пособие. СПб., 2014. – 279 с.

A. V. Titov, P. N. Afonin

An integrated approach to solving problems on the strength of rod structures in applied mechanics

Saint Petersburg Electrotechnical University, Russia

Abstract. *In the process of creating advanced samples of electronic equipment, at the design stage, great importance is given to ensuring a given strength, both of individual elements of electronic equipment and of the product as a whole. At St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", advanced methods based on a combination of traditional methods of solving engineering problems and the capabilities provided by modern computer-aided design systems (CAD, CAE) are used in teaching students, in order to train engineering personnel who have the ability to solve the same problem using different approaches and technical funds.*

Keywords: Applied mechanics; rod construction; strength; cross-section method; stresses; static analysis