

кое). Особый акцент делается на дифференциальное уравнение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси.

Изучение принципа Даламбера и уравнений Лагранжа проводится на понятийном уровне (без вывода основных уравнений). Рассматриваются основные понятия систем (обобщенные координаты и обобщенные скорости), выражение элементарной работы и мощности в обобщенных координатах, обобщенные силы и их вычисление. Дифференциальные уравнения движения системы в обобщенных координатах (уравнения Лагранжа 2-го рода) даются кратко в связи с основными методами решения задач теоретической механики и примерами их применения на практике.

Завершить изучение раздела “Теоретическая механика” необходимо кратким обобщением пройденного материала с выделением вопросов, важных для освоения последующих разделов предмета “Сопrotивление материалов” и “Детали машин”.

УДК 621. 81: 001

П.П. Капуста, А.Г. Бондаренко

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАЗДЕЛА “СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ” В КУРСЕ “ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА”

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Перед началом изучения раздела обуславливается его место, необходимость, роль и практическая значимость в общей системе подготовки по учебной дисциплине и специальности.

Программный материал излагается структурно на основании классификации (см. тему “Основные положения”) видов нагружения элементов конструкций: растяжение и сжатие; срез и смятие; кручение и срез с кручением; изгиб; растяжение (сжатие) и изгиб; изгиб с кручением, кручение с растяжением (сжатием); устойчивость сжатых стержней.

Методически схема изучения всех видов нагружения одинакова: от активных внешних нагрузок, действующих на элемент конструкции, к определению реактивных нагрузок (решая соответствующую задачу статики или динамики), от внутренних силовых факторов (используя метод сечений) к соответствующим им напряжениям (нормальным, касательным или эквивалентным). При этом обращается внимание, что алгоритм-формула определения напряжений при всех видах нагружения одинакова: напряжение равно частному от деления величины внут-

ренного силового фактора на величину геометрической характеристики прочности сечения. Последняя зависит в общем случае от характера распределения напряжений по сечению, его размеров и формы.

Для всех видов нагружения изучаются способы определения внутренних силовых факторов, включая построение их эпюр, и их значения в опасных сечениях.

Формулы напряжений при всех видах одноосного нагружения целесообразно вывести. При этом поясняется, что для каждого вида нагружения применяются уравнения равновесия для статически определимых систем внешних и внутренних силовых факторов (растяжение-сжатие) или уравнений равновесия и уравнений деформаций для статически неопределимых задач по определению напряжений (кручение, изгиб). При выводе формул напряжений необходимо пояснить, что их определение по известным внутренним силовым факторам всегда является статически неопределимой задачей независимо от того, является ли данная конструктивная схема статически определимой или неопределимой. Именно поэтому для определения напряжений, кроме уравнений равновесия статики, используют уравнения зависимости напряжений и деформаций (закон Гука при различных видах напряжения, например, кручения и изгиба).

При выводе соответствующих формул напряжений особое внимание обращается на определение геометрических характеристик плоских сечений для каждого вида нагружения и их связи между собой (например, полярных и осевых моментов инерции и моментов сопротивления сечений кручению и изгибу). Необходимо вывести формулы для определения указанных характеристик для круглого, кольцевого, квадратного (только в случае изгиба) сечений и показать примеры их нахождения по таблицам стандартов для профилей проката.

Указанные вопросы по решению цикловой комиссии могут быть выделены отдельной темой, которая может изучаться после темы “Срез и смятие” или “Кручение; срез с кручением”. Наряду с этим использовать основное учебное время на решение задач по определению моментов инерции и моментов сопротивления сложных сечений, состоящих из простых геометрических фигур и стандартных профилей проката, необязательно. Это связано с тем, что расчет стержней и балок таких сечений на прочность и жесткость программой не предусмотрен.

При изучении каждого вида нагружения рассматриваются соответствующие деформации и формулы для их определения.

В теме “Основные положения” четко формулируются основные задачи, понятия, гипотезы и допущения сопротивления материалов. Делаются акценты на то, что все конструкционные материалы являются деформируемыми, а под разрушением конструкций и их элементов необходимо понимать появление значительных пластических (остаточных) деформаций.

Подробно рассматривается метод сечений как теоретическая база для изучения сопротивления материалов.

Даются понятия механических напряжений в точке тела (полного, нормального и касательного), их связи с видами нагружения и соответствующими им внутренними силовыми факторами. Рекомендуется показать качественную связь напряжений с размерами и формой поперечного сечения при различных видах нагружения (например, используя модель деформируемого тела).

При изучении темы **“Растяжение и сжатие”** практический упор должен быть сделан на построение эпюр продольных сил, нормальных напряжений и осевых перемещений поперечных сечений при растяжении-сжатии ступенчатых стержней, нагруженных системами осевых сосредоточенных сил, и на умение определять опасные сечения.

Вводя понятие опасного сечения, необходимо рассмотреть вопросы, связанные с определением механических характеристик конструкционных материалов, которые получают путем их испытаний; показать, что именно в результате испытаний можно определить опасные напряжения для последующих расчетов на прочность и жесткость. Здесь указывается, что значения механических характеристик материалов приводятся в соответствующих стандартах, учебно-методической и справочной литературе.

Все конструкционные материалы целесообразно классифицировать на пластичные (имеющие физический предел текучести), хрупкопластичные (с условным пределом текучести) и хрупкие (не имеющие предела текучести). После изучения понятия опасных и допускаемых напряжений (в том числе коэффициента запаса прочности) показывается общий подход к выбору класса и марки материала при проектировании и расчетах элементов конструкций на прочность и жесткость. При этом следует отметить, что рассмотренные характеристики определяются аналогично и при других видах нагружения.

Тема **“Срез и смятие”** изучается кратко с выраженной практической направленностью к соответствующим расчетам.

Формулы для определения расчетных напряжений при срезе и смятии записываются вне связи с законом Гука на основании гипотез об их равномерном распределении по рассчитываемому сечению (по условным площадям при срезе и смятии).

Тему **“Кручение; срез с кручением”** целесообразно изучать по общей схеме, разбив ее на две части: кручение и совместное действие среза и кручения.

Все программные вопросы, выводы и зависимости рассматриваются для прямого бруса круглого поперечного сечения с последующим распространением их на сечения другой формы (например, кольцевое сечение). При этом особое внимание обращается на характер деформаций (угловых) и на неравномерный характер распре-

деления касательных напряжений по сечению бруса при его кручении, а также на то, что эта неравномерность учитывается новыми геометрическими характеристиками сечений (полярный момент инерции) и прочности сечений при кручении (полярный момент сопротивления сечения кручению), полученными в процессе вывода формулы касательных напряжений при кручении.

**Совместное действие среза и кручения** рассматривается на примере напряженного состояния в поперечных сечениях витков цилиндрических винтовых пружин растяжения (сжатия). Здесь следует особое внимание обратить на то, что при действии одинаковых (только касательных) напряжений в одном и том же сечении их результирующие значения определяются путем простого алгебраического сложения с учетом знака (направления действия). Отмечается также, что расчет пружин растяжения и сжатия на прочность и жесткость одинаков, а различие состоит лишь в знаках (направлениях действия) напряжений и деформаций.

**Тема "Изгиб"** изучается по общей схеме. Особое внимание обращается на приобретение учащимися устойчивых навыков построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для статически определимых двухопорных (и в меньшей степени консольных) балок, нагруженных плоской системой параллельных сил, включающей сосредоточенные силы и моменты и равномерно распределенные нагрузки. Построение эпюр рекомендуется проводить по характерным точкам, а соответствующие правила формулировать на основании дифференциальных зависимостей между внешними и внутренними нагрузками или на основании решения элементарных случаев нагружения (сосредоточенным моментом, сосредоточенной силой, равномерно распределенными) консольной и двухопорной балок. Последнее зависит от количества часов по предмету, отведенных учебными планами на специальность.

Решать статически неопределимую задачу по определению нормальных напряжений при чистом изгибе рекомендуется аналогично решению при выводе формулы касательных напряжений при кручении, указывая, что разница состоит лишь в направлении нормальных напряжений по отношению к секущей плоскости и что сечения при изгибе поворачиваются относительно поперечных осей  $X$  и  $Y$ , а при кручении — относительно продольной оси  $Z$ .

Особое внимание необходимо обратить на геометрический смысл осевых моментов сопротивления сечения при изгибе. При этом проводится связь и аналогия между полярными моментами инерции и моментами сопротивления сечений кручению.

Расчеты на прочность при изгибе даются по общей схеме с распространением выводов для чистого изгиба также на поперечный изгиб (пояснив обоснованность этого распространения).

Касательные напряжения и формулу Журавского (вывод не обязателен) можно рассмотреть на понятийном уровне, отметив, что их влияние на прочность несущественно. Однако следует указать область применения расчетов по касательным напряжениям при изгибе в конструкциях.

Расчеты на жесткость при изгибе проводят по общей схеме, обратив внимание учащихся на наличие, в случае изгиба, одновременно двух геометрических схем деформаций: линейных и угловых.

Определение линейных и угловых деформаций можно изучать с применением метода Мора и правила Верещагина, рационального интегрирования дифференциального уравнения упругой линии или с помощью обобщенных уравнений прогибов и углов поворота (данные уравнения изучаются без вывода).

В зависимости от количества часов, отводимых учебным планом по специальности на предмет, расчет на жесткость при изгибе допускается изучать с использованием принципа независимости действия сил и справочной (табличной) информации для элементарных случаев нагружения статически определимых балок (порознь сосредоточенными силами и моментами и равномерно распределенной нагрузкой).

Тема “Растяжение (сжатие) и изгиб бруса большой жесткости” изучается кратко, при максимальном базировании на знаниях, полученных при изучении предыдущих тем сопротивления материалов. Аналогично, как и в теме “Кручение; срез с кручением”, показывается способ определения наиболее напряженных точек для бруса простой формы поперечного сечения (прямоугольного или круглого) и определения в них суммарных нормальных напряжений с учетом знака (направления действия) последних.

Далее изучение темы ведется по общей схеме.

Тему “Изгиб с кручением; кручение с растяжением (сжатием)” можно изучать по общей схеме. Здесь необходимо обратить внимание студентов на то, что при рассматриваемых видах нагружения в сечениях бруса возникают одновременно нормальные и касательные напряжения, и определение суммарных (эквивалентных) напряжений является более сложной задачей, чем во всех предыдущих случаях. Далее следует расширить изучение напряженного состояния в точке тела в объеме программных понятий.

После введения понятия эквивалентного напряжения при сложном нагружении необходимо перейти к изучению гипотез прочности.

Особое внимание в теме необходимо обратить на практическое применение гипотез прочности для расчетов сложно напряженных конструкций (например, расчет вала круглого поперечного сечения на изгиб с кручением).

При изучении темы “Устойчивость сжатых стержней” необходимо хорошо разобраться с понятием устойчивости, физическим смыслом критической силы.

Формула Эйлера для определения критической силы может быть дана без вывода, а формулу для определения критических напряжений полезно вывести. В процессе вывода последней необходимо ввести понятия гибкости и предельной гибкости стержня, обратив внимание студентов на то, что эти понятия не зависят от свойств материала и учитывают лишь размеры, форму и способ закрепления концов стержня.

Изучая пределы применимости формулы Эйлера, следует сделать запись формулы Ясинского в общем виде для определения критических напряжений при гибкости стержня меньше предельной. При этом обязательно отмечается случай сведения расчета на устойчивость к расчету на сжатие.

Расчеты на устойчивость изучаются по общей схеме по коэффициентам запаса устойчивости.

ЗаклЮчить изучение раздела "Сопротивление материалов" рекомендуется кратким обобщением материала сводящимся к формированию понимания студентами методической аналогии всех изученных видов расчетов для любого вида нагружения. Отмечается также, что рассмотренные в разделе методы расчета при статическом нагружении элементов конструкций, являются базой для построения соответствующих методов расчета при переменном нагружении (динамическом), которому подвержены большинство деталей машин. Таким образом делается логический переход к следующему разделу курса "Детали машин".

УДК 621. 81: 001

**П.П. Капуета**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАВАНИЯ РАЗДЕЛА «ДЕТАЛИ МАШИН» В КУРСЕ «ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

Перед изучением основного программного материала необходимо точно определить цели и задачи раздела "Детали машин", связав их с теоретической механикой, теорией механизмов и машин, сопротивлением материалов и другими общетехническими и специальными предметами, изучаемыми по конкретной специальности.

В начале изучения раздела необходимо привести подробную классификацию деталей машин общемашиностроительного применения, рассмотреть условия их работы, нагруженность и вопросы, связанные с соответствующими критериями работоспособности (например в теме "Основные положения"). Если вопросы и темы здесь