

## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗЛОЖЕНИЮ КУРСА СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

## SOME METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS TO EXPOSITION THE COURSE OF STRENGTH OF MATERIALS

### Czesław Jakubowski

Białoruski Narodowy Uniwersytet Techniczny  
Zakład Wytrzymałości Materiałów Wydziału Budowy Maszyn  
Białoruś, 220127 Mińsk, Niezależności 65  
e-mail: r4a@mail.ru

### Andrzej Jakubowski

Akademia Morska w Szczecinie  
Zakład Mechaniki Technicznej  
Polska, 70-500 Szczecin, Wały Chrobrego 1-2  
e-mail: a.jakubowski@am.szczecin.pl

**Abstract:** The main kinds of audience lessons of the course of strength of materials are considered, and the exposition of separate parts of course is analyzed. The recommendations to increase the efficacy of lessons (namely the systematization of educational material and the separate parts intercommunication) are presented. The necessity of acceptance the single rule of signs is reasonable for the internal power factors and the components of tensions. In a separate part to calculate the statically indeterminate constructions of any kinds at the different ways of external influence by single method are suggested. As such method “the method of forces” as the most universal one can be chosen. The long-standing authorial experience to realize the practical and laboratory reading with pointing of the most effective techniques is stated. Methodically reasonable practical recommendations to organize the independent work of students are presented.

**Keywords:** strength of materials, audience lessons, order of exposition, rule of signs, method of forces.

### Введение

Сопrotивление материалов — один из основ-ных предметов в инженерной подготовке студентов. Он является необходимой базой при последующем изучении целого ряда специальных технических дисциплин, а также служит связующим звеном между теорети-ческими науками (математика, механика) и техническими (физика, материаловедение). Сопrotивление материалов закладывает основы знаний, связанных с расчетом элементов конструкций машин и сооружений на прочность, жесткость и устойчивость, и вырабатывает у студентов навыки инженер-ного мышления.

В курсе сопротивления материалов, являю-щимся частью механики твердого деформи-руемого тела, рассматриваются вопросы прикладного характера, связанные с расчетом простейших, наиболее распространенных в технике элементов конструкций. Поэтому для современного инженера необходимы глубокие знания основ сопротивления материалов как фундамента для дальнейшего развития науки и техники.

Сопrotивление материалов, как и большин-ство других технических дисциплин, изучается студентами в виде аудиторных занятий (лекционных, практических, лабора-торных) и самостоятельной работы.

Методика проведения каждого вида занятий имеет свои особенности.

### Методические рекомендации

**Лекционные занятия.** Основное назначение лекции заключается в раскрытии логики предмета и его содержания. Она является важным средством в развитии творческой активности студентов. Во время лекции идет совместная работа лектора со студенческой аудиторией. Здесь должна царить творческая атмосфера, которую обязан создать лектор. По своему содержанию и последовательности изложения лекция должна быть ясной и доступной для восприятия и понимания независимо от степени сложности излагаемого материала. И только тогда учебный материал легко может быть усвоен студентами. Ведь лекция, изложенная сухо, непонятно и неинтересно, не в состоянии активизировать творческое мышление студентов.

Поэтому очень важной особенностью преподавания курса сопротивления материалов является методика изложения учебного материала. Рассмотрим некоторые вопросы, касающиеся последовательности и взаимосвязи отдельных его частей.

Известно, что одной из основных задач курса сопротивления материалов является определение внутренних силовых факторов и выбор по ним оптимальных размеров элементов конструкций машин и сооружений.

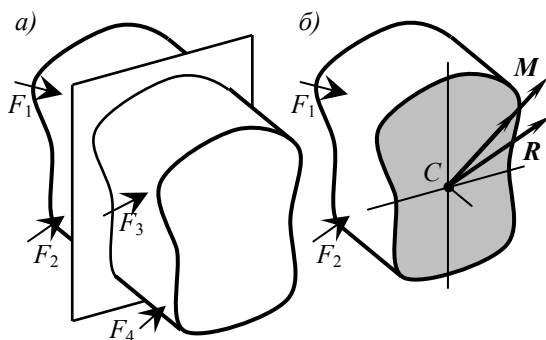


Рис. 1. Метод сечений.

Поэтому после вводной лекции необходимо перейти к определению понятия внутренних силовых факторов и их исследованию. Для выявления внутренних сил в сечениях

стержней применяется известный из литературы метод сечений (рис. 1 а) [1, 2]. Он основан на рассмотрении равновесия отсеченной части стержня, к которой кроме внешних сил прикладываются в сечении силы, равные усилиям внутренних связей. Согласно известной из теоретической механики теореме Пуансо (одной из основных теорем статики) эти силы можно привести к центру тяжести сечения в виде главного вектора  $R$  и главного момента  $M$  (рис. 1 б), которые раскладываются на составляющие вдоль заранее выбранных осей координат  $x, y, z$ . Составляющие главного вектора и главного момента и являются внутренними силовыми факторами (рис. 2).

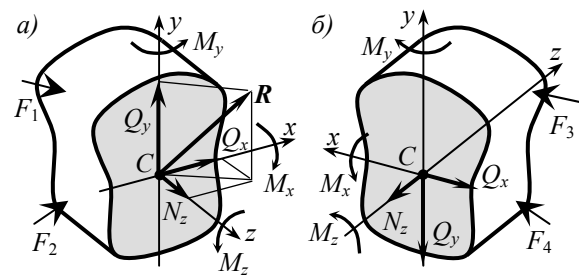


Рис. 2. Внутренние силовые факторы в сечении стержня с положительной (а) и отрицательной (б) внешней нормалью.

Мерой интенсивности внутренних сил является физическая величина, называемая напряжением. При построении графиков изменения внутренних силовых факторов вдоль оси стержня (эпюры), а также при преобразованиях компонент тензора напряжений, связанных с поворотом координатных осей, возникает вопрос о знаках этих величин.

В учебной литературе по сопротивлению материалов правило знаков внутренних силовых факторов в большинстве случаев не связывается с координатными осями, а устанавливается произвольно [1–6]. Такой подход является неправильным и приводит к определенным противоречиям. Так, например, в указанных источниках при плоском поперечном изгибе внутренняя поперечная сила  $Q_y$  в сечении считается положительной, если она стремится повернуть отсеченную часть стержня по часовой стрелке. При этом, обоснование выбора именно такого правила в учебной литературе найти невозможно. В

то же время, в этом же сечении касательные напряжения  $\tau_y$ , являющиеся мерой интенсивности внутренних поперечных сил и действующие в их же направлении, в этих источниках считаются отрицательными [3–6]. Среди большого количества учебной литературы по сопротивлению материалов, в том числе, современной, можно найти лишь отдельные учебники, авторы которых строго придерживаются общего правила знаков для внутренних силовых факторов и напряжений, связывая их с принятой системой координат [7–9].

Следует отметить, что в некоторых случаях знаки внутренних сил и компонент напряжений не имеют существенного значения. Так, например, при расчете по условиям прочности максимальные значения внутренних усилий выбираются без учета знака (по абсолютной величине). Однако для устранения вышеуказанных противоречий и во избежание ошибок, связанных с неправильной трактовкой правила знаков касательных напряжений, что имеет место в отдельных учебниках по сопротивлению материалов [4, 5], необходимо принять общее правило знаков для внутренних силовых факторов и компонент напряжений, которое неразрывно связано с принятой системой координат и зависит от направления внешней нормали к сечению (рис. 3).

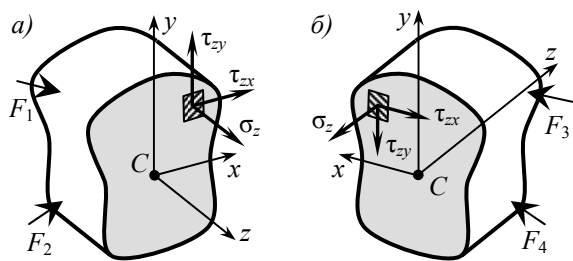


Рис. 3. Компоненты напряжений, действующие на площадке с положительной (а) и отрицательной (б) внешней нормалью.

Оно заключается в следующем [10].

*Внутренние силовые факторы и напряжения в сечении, внешняя нормаль к которому совпадает с положительным направлением координатной оси, считаются положительными, если они действуют в положительном направлении соответствующих осей координат. В*

*сечении, внешняя нормаль к которому направлена вдоль отрицательной полуоси, они считаются положительными, если действуют в сторону соответствующей отрицательной полуоси. При этом, для моментов в сечении с положительной внешней нормалью за положительное принимается направление против часовой стрелки при взгляде со стороны положительной полуоси, а в сечении с отрицательной внешней нормалью положительным считается вращение по часовой стрелке.*

На рис. 2 и 3 все внутренние силовые факторы и компоненты напряжений показаны положительными.

После исследования внутренних силовых факторов необходимо перейти к построению соответствующих эпюр и прочностному расчету стержня, обращая внимание на основные правила построения эпюр и общие закономерности распределения внутренних усилий вдоль оси стержня.

В подавляющем большинстве учебных пособий по сопротивлению материалов также методически не обоснована последовательность изложения отдельных разделов курса. Так, например, при изучении – некоторых простых видов деформаций (растяжение, сжатие, кручение) одновременно рассматриваются задачи по расчету статически определимых и статически неопределимых конструкций. При этом, решение последних производится путем добавления к уравнениям статического равновесия так называемых уравнений совместности перемещений. Такой устаревший подход является трудоемким и неэффективным, так как требует значительного объема вычислений.

На наш взгляд, изложение материала необходимо строить следующим образом. После изучения простых видов деформаций и рассмотрения задач по расчету статически определимых конструкций целесообразно рассматривать, выделив в отдельный раздел, конструкции статически неопределимые. При этом, решение последних можно производить единым методом независимо от того, какую деформацию испытывают элементы конструкций [11, 12]. Авторами предлагается использовать «метод сил» как наиболее универсальный и эффективный метод для расчета любых статически неопределимых систем:

- стержневых конструкций и ферм (элементы работают на растяжение–сжатие);
- рамных и балочных конструкций (элементы работают в основном на изгиб);
- валов (испытывают деформацию кручения);
- пространственных конструкций.

При этом могут рассматриваться различные виды воздействия:

- внешнее силовое воздействие;
- тепловое воздействие (равномерный или неравномерный нагрев стержней);
- кинематическое воздействие, связанное со смещением опор или узлов системы вследствие неточности изготовления отдельных элементов конструкции.

В результате получаем стройную систему расчета любых статически неопределимых конструкций единым методом. Такой подход является методически обоснованным, поскольку значительно упрощает изложение учебного материала и облегчает усвоение студентами важного раздела курса сопротивления материалов. Отдельные рекомендации по этому актуальному вопросу изложены нами в работе [12].

В конце каждой темы преподаватель должен продемонстрировать на доске или при помощи технических средств обучения содержание решения элементарной типовой задачи на данную тему со всеми подробными пояснениями, обращая внимание на ее практическую значимость.

Изложение курса сопротивления материалов органически связано со значительным объемом графической иллюстрации. Поэтому для эффективного восприятия и качественного усвоения предмета немаловажное значение имеет правильный с методической точки зрения отбор необходимого графического материала и его представление. Чертежи на доске должны быть четкими, аккуратно выполненными и отвечающими требованиям чертежных стандартов. Графическую часть следует размещать в одном углу доски, оставляя место для выполнения необходимых расчетов и выводов. Размеры чертежа увязываются с площадью доски для доступности при обзоре всей аудитории. Чертеж должен четко отражать взаимосвязь между аналитической и графической частью излагаемого материала, способствуя выявлению физической сущности рассматриваемого процесса.

Текст, сопровождающий чертеж, должен быть четким, ясным и последовательным. Таким образом, методически правильно и аккуратно выполненная графическая часть в значительной мере способствует выяснению связи задачи с реальной конструкцией и успешному усвоению предмета, а также является важным элементом с воспитательной точки зрения.

**Практические занятия.** Практические занятия со студентами играют важную роль в усвоении курса сопротивления материалов, в выработке навыков творческого применения теоретических знаний при решении конкретных практических задач. Методически правильно построенные практические занятия способствуют развитию и активизации инженерного мышления студентов, приучают их к самостоятельной работе и работе со справочной литературой, прививая им навыки выполнения технических расчетов, необходимые будущему инженеру. Поэтому методика изложения практических занятий преподавателем имеет немаловажное значение для качественного усвоения и систематизации студентами учебного материала.

С методической точки зрения материал каждого практического занятия должен следовать после прочтения соответствующей темы лекции.

Важным этапом методической работы преподавателя является выбор одного из трех традиционных методов проведения практических занятий по сопротивлению материалов — активного, пассивного, смешанного [13].

Следуя активному методу, преподаватель при рассмотрении каждой новой темы показывает на примерах ее практическое значение, решая несколько типовых задач. При этом, решение каждой задачи должно производиться не формально, а со всеми подробными пояснениями. Такой метод имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что студенты механически переписывают с доски решения, не проявляя при этом самостоятельности и не прикладывая никаких умственных усилий. Кроме того, на таких занятиях не представляется возможным проверить уровень подготовки студентов. В этом случае активно работает лишь только преподаватель.

При пассивном методе проведения занятий преподаватель предлагает студентам задачи рассматриваемой темы для самостоятельного решения, предварительно изложив их условия и объяснив план решения. Затем поочередно вызывает к доске студентов для решения этих задач. Однако такой метод позволяет проверить подготовленность лишь некоторых, вызванных к доске студентов. И он не лишен того же недостатка, что и активный метод, а именно, пассивного списывания с доски решений задач основной аудиторией.

При смешанном методе преподаватель вначале излагает краткое содержание темы занятия и напоминает основные положения теории. Затем демонстрирует подробное решение типовой задачи, обращая внимание на выбор расчетной схемы и последовательность вычислений. После этого предлагает аудитории примеры для самостоятельного решения. Примеры должны быть несложными, иметь практическое применение и соответствовать специальности группы. В процессе самостоятельной работы студентов преподаватель обходит аудиторию и дает необходимые консультации, оставляя за студентами право самостоятельного выбора того или иного способа решения задачи. В конце занятия необходимо обобщить решения предложенных задач и показать наиболее рациональные способы. Такой метод, связанный с самостоятельной работой студентов в аудитории, позволяет развить у них способность к творческому мышлению, восстановить в памяти забытый или плохо усвоенный лекционный материал, критически оценить свою работу.

Исходя из опыта многолетнего преподавания авторами курса сопротивления материалов в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ, г. Минск, Беларусь), наиболее рациональным и полезным для студентов с точки зрения глубины изучения курса, на наш взгляд, является смешанный метод проведения практических занятий [14].

**Лабораторные занятия.** При изложении курса сопротивления материалов значительное внимание должно уделяться организации лабораторных работ, основная цель которых — изучение механических свойств материалов опытным путем с последующим сравнением эксперимен-

тальных результатов с результатами теоретических расчетов.

С методической точки зрения материал каждого лабораторного занятия должен следовать после прочтения соответствующей темы лекции.

Лабораторные занятия должны проводиться в следующей последовательности.

1. Проверка преподавателем готовности студентов к выполняемой лабораторной работе. Это может осуществляться путем проведения вводного опроса студентов для напоминания и уточнения некоторых положений теории, относящихся к выполняемой работе. Для контроля степени готовности студентов к работе можно использовать опыт проведения лабораторных занятий в Морской Академии (г. Щецин, Польша). В самом начале занятия проводится 5–10-минутный письменный опрос всей группы студентов по тематике предстоящей работы. Темы работ оглашаются преподавателем заранее или вывешиваются на информационной доске лаборатории. Затем письменные ответы проверяются, и положительная оценка является допуском к работе.

2. Выполнение лабораторной работы:

- объяснение преподавателем цели работы, принципа действия экспериментального оборудования и работы измерительных приборов с указанием и объяснением причин возможной погрешности эксперимента по сравнению с теоретическим расчетом;
- снятие показаний измерительных приборов;

- обработка опытных и теоретических данных, выполнение соответствующих расчетов, построение необходимых графиков на основе полученных результатов.

3. Составление отчета выполненной работы. Следует объяснить студентам, что отчет является конечной целью эксперимента, частью научного исследования. Поэтому в отчете должно быть отражено следующее:

- проведен анализ выполненной работы;
- определена погрешность эксперимента с указанием причины, вызвавшей эту погрешность;
- сделаны соответствующие выводы.

Таким образом, эффективность лабораторных занятий зависит от методики их проведения. От того, на каком техническом и методическом уровне будут проходить эти занятия, во многом зависит качество

подготовки будущего инженера-исследователя. Поэтому совершенствование методики проведения лабораторных занятий позволяет добиться более глубокого осмысления и улучшения качества усвоения студентами учебного материала, а также прививает им навыки экспериментатора и исследователя, необходимые будущему инженеру.

**Самостоятельная работа студентов.** Современный научно-технический прогресс требует высококвалифицированных специалистов, способных быстро адаптироваться к новым технологиям и оборудованию, самостоятельно принимать решения различных производственных задач. Одним из путей подготовки таких специалистов является организация самостоятельной работы студентов (СРС). Наилучших результатов этой работы можно добиться, реализуя основные принципы ее организации. Многолетний опыт авторов, а также других исследователей [15], показывает, что для организации СРС необходимо реализовать следующее.

1. Обучение методам и приемам СРС. Оно должно начинаться с первых дней обучения студента в ВУЗе. Здесь основным учителем является преподаватель, лектор, который должен научить студентов методам самостоятельной работы по своему предмету, передавая им необходимые знания и навыки.

2. Планирование и нормирование СРС. Как показывает практика, в большинстве случаев студенты работают самостоятельно только по тем предметам, по которым учебным планом предусматриваются экзамены или зачеты. Такая работа, как правило, осуществляется не систематически, а приходится в основном на конец семестра. Во избежание этого необходимо научить студентов планировать самостоятельную работу на каждую учебную неделю. При этом необходимо учитывать реальный бюджет времени студента.

3. Методическое и материально-техническое обеспечение СРС. Для улучшения качества и эффективности работы преподаватель должен обеспечить студентов рядом методических руководств, пособий и правил по научной организации и выполнению самостоятельной работы. Для этой цели могут служить также учебные модели и технические средства обучения, дающие

возможность создать иллюзию реального объекта исследования и помогающие студенту самостоятельно овладеть сложными разделами курса сопротивления материалов.

4. Контроль и стимулирование СРС. Контроль со стороны преподавателя необходим, в первую очередь, за слабыми и плохо работающими студентами. Необходимо учить студентов вырабатывать у себя навыки самоконтроля, позволяющие самостоятельно выполнять анализ и давать оценку результатам своей работы, формировать у студентов требовательное отношение к самим себе. Активная СРС во всех ее видах возможна только при наличии серьезной и устойчивой мотивации. Она может быть обусловлена перспективами будущей профессиональной деятельности студентов, а также различными формами поощрения (премирование, особые формы диплома, зарубежная стажировка, аспирантура и др.).

Одним из важных методов стимулирования самостоятельной деятельности студентов является их участие в научно-исследовательской работе, обеспечивающее приобретение более глубоких знаний в рамках изучаемого предмета и оказывающее влияние на формирование творческого мышления будущих инженеров, а также на их всестороннее развитие.

Участие студентов в научно-исследовательской работе имеет важное значение для приобретения навыков исследователя, является одной из форм трудового воспитания студентов, а также вырабатывает у них стремление творчески подходить к своей будущей профессиональной деятельности.

Одной из форм активизации познавательной деятельности студентов также являются олимпиады по изучаемому предмету. В БНТУ проводятся ежегодные олимпиады по сопротивлению материалов, вызывающие большой интерес у студентов. В них участвуют студенты технических ВУЗов Беларуси. Подготовка и участие студентов в олимпиаде обеспечивает приобретение более глубоких знаний и вырабатывает у них способность самостоятельно находить пути и способы решения той или иной задачи. Для привлечения большего количества участников в олимпиадах применяются различные формы поощрения

— награждение ценными подарками наиболее отличившихся студентов, определенные льготы при сдаче экзамена по курсу и др.

### Заключение

1. Даны методические рекомендации по проведению различных видов аудиторных занятий по сопротивлению материалов, а именно:

- предлагается изменить существующий порядок изложения отдельных разделов курса с целью его систематизации;
- обоснована необходимость принятия общего правила знаков для внутренних силовых факторов и компонент напряжений, неразрывно связанного с выбранной системой координат;
- предложено производить расчет любых статически неопределимых систем, выделив

их в отдельный раздел, единым методом — методом сил;

- рекомендован смешанный метод проведения практических занятий как наиболее эффективный, а также методически обоснована организация лабораторных занятий.

2. Даны практические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов, направленной на приобретение студентами навыков, необходимых будущему инженеру.

Таким образом, изложенные в статье на основании многолетнего авторского опыта вопросы совершенствования методики преподавания курса сопротивления материалов позволяют поднять подготовку будущих инженеров на качественно высокий уровень, что является особенно важным в век научно-технического прогресса и согласуется с идеями и требованиями Болонского соглашения.

### Библиографический список

1. Feodosiev V.I. Strength of materials.— M: Science, 1967.— 552 p.
2. Darkov A.V., Shpiro G.S. Strength of materials.— M: High School, 1989.— 624 p.
3. Gorshkov A.G., Troshin V.N., Shalashilin V.I. Strength of materials.— M: PhysMathLit, 2002.— 544 p.
4. Starovoitov E.I. Strength of materials.— Gomel: BelSUT, 2004.— 376 p.
5. Vinokurov E.F., Petrovich A.G. Strength of materials.— Minsk: High School, 1987.— 228 p.
6. Dolinski F.V., Michailov M.N. Course of the strength of materials.— M.: High School, 1988.— 432 p.
7. Birger I.A., Mavliutov R.R. Strength of materials.— M: Science, 1986.— 560 p.
8. Melnikov B.E. Introduction to the strength of materials.— StP: Lan, 2002.— 160 p.
9. André Bazergui, Thang Bui-Quoc, André Biron, Georges McIntyre, Charles Laberge. Résistance des matériaux.— École Polytechnique de Montréal, 2003.— 466 p.
10. Yakubouski Ch.A., Yakubouski A.Ch. To the rule of signs for internal power factors // Machine Building.— Minsk, 2014.— Vol. 28.— P. 135–136.
11. Yakubouski Ch.A., Yakubouski A.Ch. Mechanics of materials. The statically indeterminate systems.— Minsk: BNTU, 2013.— 56 p.
12. Yakubouski A.Ch., Yakubouski Ch.A. The general method of account the statically indeterminate systems // Machine Building.— Minsk, 2005.— Vol. 21.— T. 2.— P. 170–176.
13. Zhdanovich G.M., Kurovski I.F. Some methodical recommendations to study the course of strength of materials // Problems of engineering and pedagogical education.— Minsk: BPI, 1975.— P. 78–86.
14. Novikov V.I., Yakubouski Ch.A. Some methodical recommendations to teach the course of strength of materials // The engineering and pedagogical education: history, problems, perspectives.— Minsk, 1994.— P. 79–80.
15. Plagov I.M., Parubchaya T.I. Organization of the independent work of students is the base of high-qualification specialist training // Optimization of pedagogical work in the High School.— Chelabinsk, 1983.— P. 109–118.