

About the authors:

NEMOVA Alena Sergeevna – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: nemova_21@list.ru

DVUZHILOV Anton Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Resistance of Materials, Theory of Elasticity and Plasticity, Tver State Technical University, Tver. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

УДК 378

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

И.Д. Роговский, А.С. Двужилов

© Роговский И.Д., Двужилов А.С., 2025

Аннотация. Рассмотрены методы сопротивления материалов. Раскрыты принципы, характерные для указанной науки. Перечислены и описаны основные виды деформации.

Ключевые слова: закон Гука, гипотеза, сопротивление, материал, кручение, стержни, принцип равновесия.

Сопротивление материалов – это введение в науку о прочности, жесткости и надежности элементов. Прочность и надежность проектируемых конструкций зависят от реальных условий эксплуатации.

Первым и основным законом является закон Гука. В 1678 году Р. Гук опубликовал работу, посвященную упругости. В его труде были приведены результаты экспериментов на растяжении пружины длинных проволок:

$$\Delta = \frac{p}{c} = p \times \delta,$$

где Δ – абсолютная деформация (приращение величины), обобщенное перемещение; p – давление; c – отношение внутреннего и внешнего диаметров кольцевого сечения; δ – перемещение.

Принцип действия независимости сил (принцип суперпозиции) гласит, что любое упругое тело характеризуется этой независимостью, т. е. внутренние усилия и перемещение, возникающие в теле от действия на него системы внешних сил, не обуславливаются порядком их приложения [1]. Итог действия на тело указанной системы Δ_A равен

сумме алгебраических или геометрических результатов от влияния отдельных сил Δ_i :

$$\Delta_A = \Delta_i = \Delta_{i1} + \Delta_{i2} + \dots + \Delta_{ij} = \delta_{i1} \times p_1 + \delta_{i2} \times p_2 + \dots + \Delta_{in} \times p_n;$$

$$\Delta_i = \delta_{ij} \times p.$$

Это простое правило иллюстрирует рис. 1, где перемещение точки M от двух сил v_k можно рассматривать как алгебраическую сумму:

$$v_k = v_{k1} + v_{k2},$$

где v_{k1} и v_{k2} – перемещения от каждой из сил P_1 и P_2 (рис. 2).

Принцип независимости действия сил, широко применяемый в механике для абсолютно твердых тел, по отношению к деформируемым телам используется лишь в двух случаях:

1) перемещения точек приложения сил малы по сравнению с размерами тела;

2) перемещения, являющиеся результатом деформации тела, линейно зависят от действующих сил. Такие тела (системы) называют линейно деформируемыми или подчиняющимися закону Гука.

Принцип суперпозиции (рис. 2) в сопротивлении материалов используется при анализе и вычислении внутренних усилий и деформаций в структурах и конструкциях.

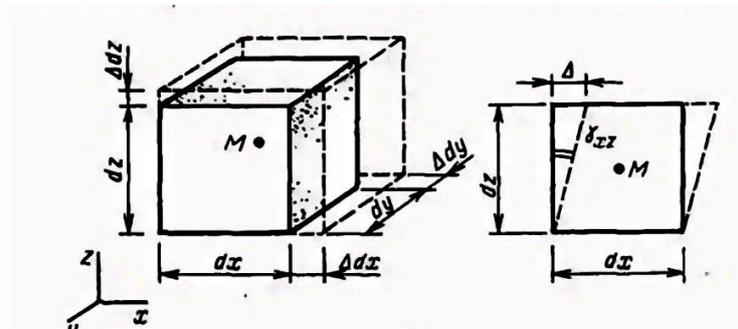


Рис. 1. Линейная и угловая деформация элемента материала

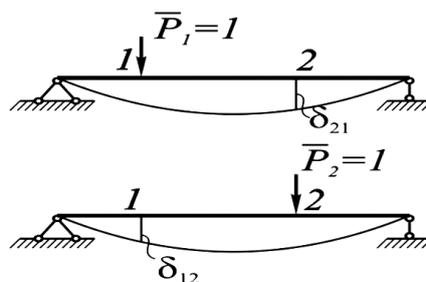


Рис. 2. Иллюстрация принципа суперпозиции:
 P – внешняя сосредоточенная сила

Физическая гипотеза сопротивления материалов заключается в том, что напряжение $\delta_x, \delta_y, \tau_{xy}$ значительно меньше остальных, поэтому указанные напряжения в брусе (стержне) равны нулю [3]:

$$\delta_x, \delta_y, \tau_{xy} = 0.$$

Вторая наиболее известная гипотеза – это гипотеза плоских сечений. Данная гипотеза гласит, что поперечные сечения стержня γ_{yz} , плоские и нормальные к его оси до приложения к нему нагрузки, остаются плоскими и нормальными к его оси в деформированном состоянии:

$$\gamma_{yz} = \gamma_{xz} = 0.$$

Известный из курса физики принцип равновесия формулируется следующим образом: всякое тело, находящееся в равновесии, должно удовлетворять условиям статического равновесия (сумма сил и моментов равна нулю).

Для решения задач, а также рассмотрения стержней (конструкций) в разрезе пользуются методом сечений и внутренних силовых факторов.

Метод сечений (рис. 3) – это способ определения указанных факторов для построения их эпюр, в рамках которого рассматривают равновесие отсеченных частей бруска [2]. Суть данного метода состоит в том, что тело мысленно рассекается плоскостью на две части, любая из которых отбрасывается. Взамен к сечению оставшейся части прикладывают внутренние силы, действовавшие на нее до разреза со стороны отброшенной части. Оставленная часть рассматривается как самостоятельное тело, находящееся в равновесии под действием приложенных к сечению внешних и внутренних сил.

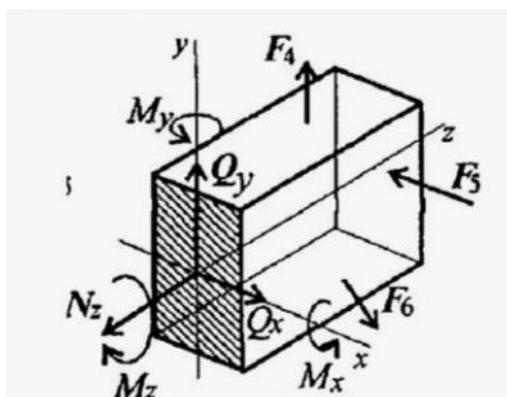


Рис. 3. Метод сечений:

M_x, M_y – внутренний изгибающий момент; M_z – крутящий момент
 N_z – внутренняя продольная сила; Q_x, Q_y – внутренняя поперечная сила;
 F – внешняя сила, сосредоточенная нагрузка [3]

Стоит рассмотреть полный набор внутренних усилий, который включается в себя 6 основных усилий: нормальную силу N ; поперечные (перерезывающие) силы Q_x и Q_y ; изгибающие моменты M_x и M_y ; крутящий момент M_z .

Растяжение вызывает удлинение стержня, а сжатие – укорочение (рис. 4).

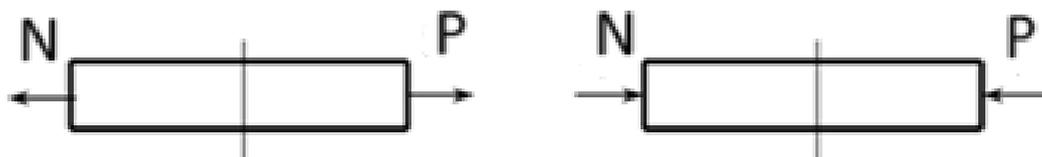


Рис. 4. Деформация растяжения или сжатия

Как и любое тело, стержни подвержены различным видам деформаций. Первый из них – это кручение. Под кручением будем понимать такой вид, при котором в поперечном сечении возникают только крутящие моменты. Внешние силы сводятся к паре сил, действующей в плоскости, перпендикулярной оси стержня [1]. Внутренние силы в этом случае тоже приравнивают к паре, действующей в плоскости, перпендикулярной оси стержня (рис. 5). Стержень под влиянием этих двух пар испытывает кручение.

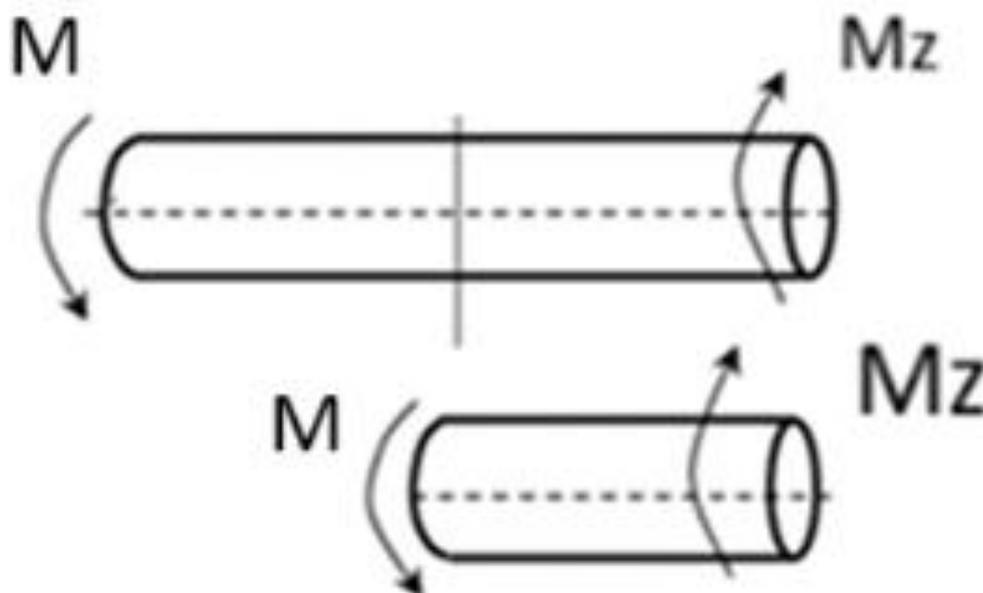


Рис. 5. Деформация кручения

Наиболее распространенный вид деформации в статически определимых задачах – это изгиб. Изгибом называется такой вид нагружения стержня, при котором в поперечном сечении будет иметь

место изгибающий момент, а крутящий равен нулю [3]. Если в поперечном сечении отличным от нуля является только изгибающий момент, то это чистый изгиб (рис. 6).



Рис. 6. Чистый изгиб [4]

Если в поперечном сечении, помимо изгибающего момента, есть отличные от нуля одна или две поперечные силы, то мы имеем поперечный изгиб. Если в поперечном сечении отлична от нуля сила N , то такой изгиб называется продольно поперечным. Если плоскость действия изгибающего момента совпадает с одной из главных осей поперечного сечения, то такой изгиб считается прямым. Если главная центральная ось инерции поперечного сечения служит осью симметрии, то такой изгиб именуют плоским [4].

При изгибе выполняются фундаментальные гипотезы сопротивления материалов.

Кроме того, при плоском поперечном изгибе дифференциальные зависимости Журавского[2]:

$$\frac{dQ}{dz} = -q_y; \quad \frac{dM_x}{dz} = Q_y;$$

$$\frac{d_z M_x}{dz} = -q_y.$$

Библиографический список

1. Васильков Г.В., Буйко З.В., Кравченко Г.М. Расчет статически неопределимых стержневых систем методом сил: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2005. 72 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: М.: Наука; ФИЗМАТЛИТ, 1986. 514 с.

3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник для вузов. 16-е изд. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 542 с.

4. Крамаренко А.А. Лекции по строительной механике стержневых систем. [Б. м.]: Мастерская ОП НГАСУ, 2004. 104 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19621783> (дата обращения: 05.04.2025).

METHODS FOR CALCULATING STATICALLY INDETERMINATE SYSTEMS

I.D. Rogovsky, A.S. Dvuzhilov

Abstract. Methods of resistance of materials are considered. The principles characteristic of this science are revealed. The main types of deformation are listed and described.

Keywords: Hooke's law, hypothesis, resistance, material, torsion, rods, principle of equilibrium.

Об авторах:

РОГОВСКИЙ Илья Дмитриевич – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: ilyrogov308@gmail.com

ДВУЖИЛОВ Антон Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов, теории упругости и пластичности, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: anton_in_tver@mail.ru

About the authors:

ROGOVSKY Ilya Dmitrievich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: ilyrogov308@gmail.com

DVUZHILOV Anton Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Resistance of Materials, Theory of Elasticity and Plasticity, Tver State Technical University, Tver. E-mail: anton_in_tver@mail.ru