

МОДУЛЬ № 2
«ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ
И АБСОЛЮТНО ТВЁРДОГО ТЕЛА»
ЛЕКЦИЯ № 3
СИЛЫ В МЕХАНИКЕ
Часть II

План лекции:

1. Силы упругости.....	2
1.1. Деформация, виды деформаций твёрдого тела.....	2
1.2. Закон Гука для растяжения-сжатия.....	2
1.3. Диаграмма напряжений.....	3
2. Силы трения.....	4
2.1. Виды трения.....	4
2.2. Закон Амонтона-Кулона для скольжения	5
2.3. Закон трения скольжения для очень гладких поверхностей	6
2.4. Сила трения качения.....	7

1. Силы упругости

1.1. Деформация, виды деформаций твёрдого тела

Деформация тела – изменение формы и размеров тела под действием сил.

Различают **упругую деформацию**. Это деформация, при которой после прекращения действия внешних сил тело принимает первоначальные размеры и форму.

В большей степени это, конечно, идеализация, используемая, если остаточные деформации тела пренебрежимо малы.

Пластическая (остаточная) деформация – деформация, которая сохраняется в теле после прекращения действия внешних сил.

Деформации принято делить на следующие виды:

- 1) растяжение-сжатие;
- 2) сдвиг;
- 3) изгиб;
- 4) кручение.

Все виды деформаций могут быть сведены к одновременно происходящим деформациям растяжения-сжатия и сдвига.

1.2. Закон Гука для растяжения-сжатия

Механическое напряжение, σ – скалярная физическая величина, определяемая силой, действующей на единицу площади поперечного сечения.

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

$$[\sigma] = \text{Па}.$$

В зависимости от направления действия силы различают нормальное и касательное (тангенциальное) механическое напряжение.

Закон Гука для растяжения-сжатия (на языке механических напряжений): нормальное механическое напряжение прямо пропорционально относительной деформации тела (относительному удлинению или укорочению).

$$\sigma_n = E\varepsilon,$$

$$\sigma_n = \frac{F_{\perp}}{S} \text{ – нормальное механическое напряжение,}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \text{ – относительная деформация,}$$

которую можно найти, поделив изменение длины тела на его первоначальную длину (это величина безразмерная), изменение длины тела по-другому называется **абсолютной деформацией**

$$\Delta l = l - l_0,$$

это может быть как удлинение, конечная длина l больше начальной, $\Delta l > 0$ так и укорочение, $\Delta l < 0$.

E – модуль Юнга,

$$[E] = \text{Па}.$$

Аналогично абсолютной и относительной продольным деформациям можно ввести абсолютную и относительную поперечные деформации:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \rightarrow \varepsilon' = \frac{\Delta d}{d_0}.$$

Причём относительные деформации ε и ε' , как и соответствующие абсолютные, всегда имеют различные знаки.

ε и ε' связаны между собой коэффициентом Пуассона μ :

$$\varepsilon' = -\mu\varepsilon.$$

Связь между деформацией и напряжением представляется в виде диаграммы напряжений.

1.3. Диаграмма напряжений

Диаграмма напряжений представляет связь между относительной деформацией и механическим напряжением (рассмотрим её на примере металлического тела) – см. рис. 1.

– линейная зависимость $\sigma(\varepsilon)$ выполняется лишь до предела пропорциональности $\sigma_{\text{п}}$;

– остаточные деформации не возникают до предела упругости σ_y , хотя зависимость $\sigma(\varepsilon)$ уже нелинейная;

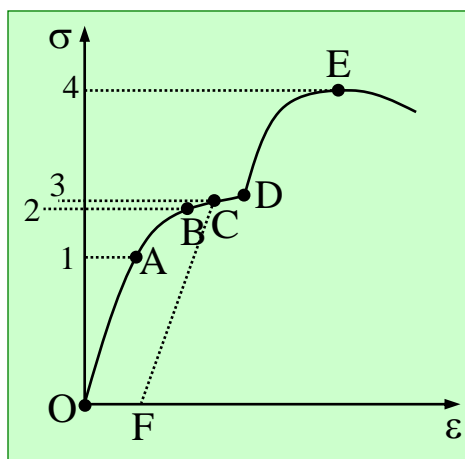


Рис. 1. Диаграмма напряжений

– напряжение, при котором появляется заметная остаточная деформация, называется пределом текучести σ_T (в области CD деформация возрастает без увеличения напряжения, тело как бы «течет»);

(материалы, для которых область текучести значительна, называются **вязкими**, для которых же она практически отсутствует – **хрупкими**).

– σ_p – предел прочности – максимальное напряжение, возникающее в теле до разрушения.

2. Силы трения

2.1. Виды трения

Различают **внешнее (сухое)** и **внутреннее (жидкое или вязкое)** трение.

Внешнее трение – это трение, возникающее в плоскости касания двух соприкасающихся тел при их относительном перемещении (**трение скольжения, качения и верчения**). Если соприкасающиеся тела неподвижны друг относительно друга, то имеет место **трение покоя**.

Внешнее трение обусловлено шероховатостью соприкасающихся поверхностей, а в случае очень гладких поверхностей трение обусловлено силами межмолекулярного притяжения.

Внутреннее трение – это трение между частями одного и того же тела (например, между слоями жидкости или газа). В отличие от сухого трения здесь отсутствует трение покоя.

2.2. Закон Амонтона-Кулона для скольжения

Закон Амонтона-Кулона: сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления, с которой одно тело действует на другое.

$$F = \mu N^1.$$

μ – коэффициент трения скольжения² (зависит от рода и состояния трущихся поверхностей).

Закон справедлив для относительного скольжения не слишком гладких поверхностей.

Максимальная сила трения покоя (при возможном скольжении):

$$F_{\max} = \mu_0 N.$$

Часто её считают приближённо равной силе трения скольжения. Однако она немного больше неё.

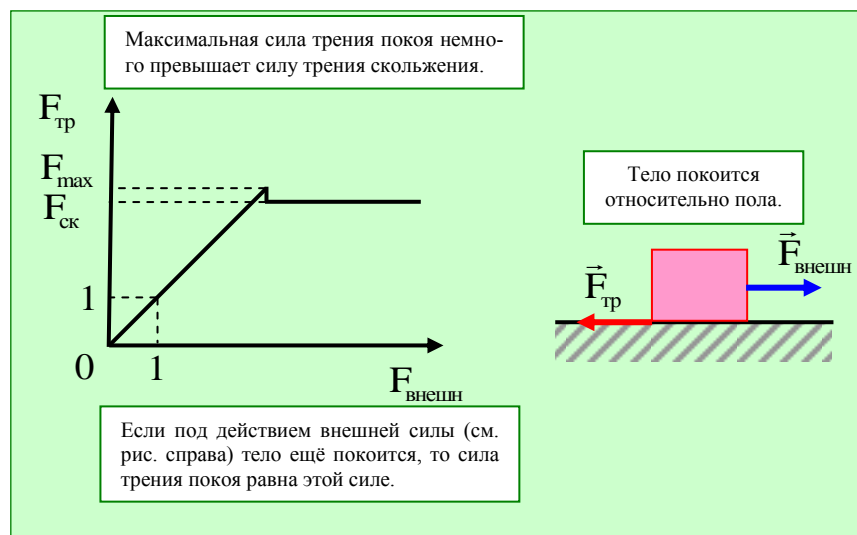


Рис. 2. К пояснению силы трения

Природа сил трения – электромагнитная.

¹ В формулировке под «силами» подразумеваются их модули.

² Коэффициент трения скольжения также часто обозначают как f .

Сила трения направлена вдоль поверхности трущихся тел противоположно действительному или предполагаемому движению рассматриваемого тела.

Так, например, если груз стоит на наклонной плоскости, то на него действует сила трения направленная вдоль плоскости вверх. Если же груз перемещать по наклонной плоскости вверх, то на него будет действовать сила трения, направленная по плоскости вниз.

В заключение обсуждения закона Амонтона-Кулона, обращаем внимание на то, что $N = mg$ только в самых простых частных случаях (например, опора горизонтальна неподвижна, нет составляющих сил в направлении, перпендикулярном поверхности опоры)³.

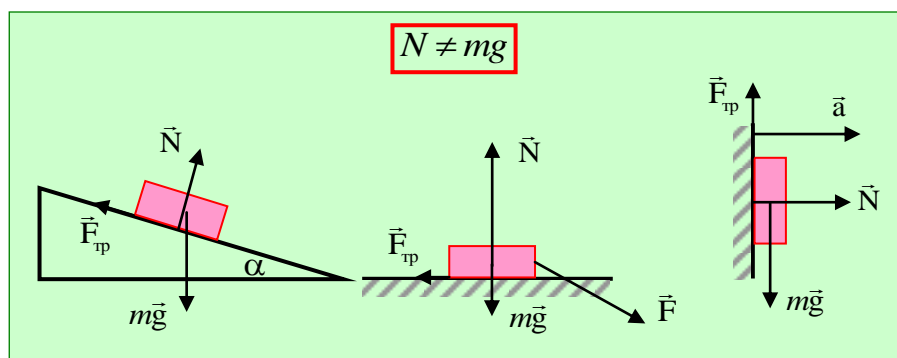


Рис. 3. К пояснению нормальной силы реакции опоры

2.3. Закон трения скольжения для очень гладких поверхностей

Для очень гладких поверхностей начинает иметь значение межмолекулярное притяжение.

Закон трения скольжения необходимо записывать в виде:

$$F_{\text{тр}} = \mu_{\text{ист}} (N + Sp_0),$$

где p_0 – добавочное давление, обусловленное силами межмолекулярного притяжения, S – площадь контакта между телами, $\mu_{\text{ист}}$ – истинный коэффициент трения скольжения.

³ На рисунке приведены несколько случаев, когда $N \neq mg$. Для нахождения N необходимо решать «стандартную» задачу динамики.

2.4. Сила трения качения

Для трения качения справедлив **закон Кулона**:

$$F_{\text{тр}} = \mu_k \frac{N}{r},$$

где r – радиус катящегося тела, μ_k – коэффициент трения качения (в отличие от коэффициента трения скольжения имеет размерность длины).

Из закона следует, что сила трения качения убывает обратно пропорционально радиусу катящегося тела.