

15.01.2026 ТЕМА: «Деформации твёрдого тела. Растворение и сжатие. Сдвиг. Модуль Юнга. Предел упругих деформаций» (выделенное красным под запись в тетрадь)

Под нагрузкой материалы деформируются. Это связано с тем, что нагрузка вызывает перемещение частиц тела относительно друг друга. Деформация сопровождается изменением величин межатомных сил, мерой которого является *механическое напряжение*.

**Деформация тела** – изменение формы или объёма тела под действием внешних сил.

**Изменение длины тела**  $\Delta l = l - l_0$ , где  $l_0$  – начальная длина недеформированного тела,  $l$  – длина деформированного тела, принято называть величиной деформации.

**Величина деформации** – это скалярная физическая величина, которая может быть и положительной (тело растягивается), и отрицательной (тело сжимается).

Сила упругости направлена против смещения частей тела при деформации, возникает в деформируемом теле, но приложена к тому объекту, действием которого вызвана деформация.

### **Виды и типы деформации**

Деформации разделяются на два типа:

- обратимые или *упругие* – исчезают после окончания действия приложенных сил;
- необратимые или *неупругие* (пластические, ползучести) – остаются после окончания действия приложенных сил.

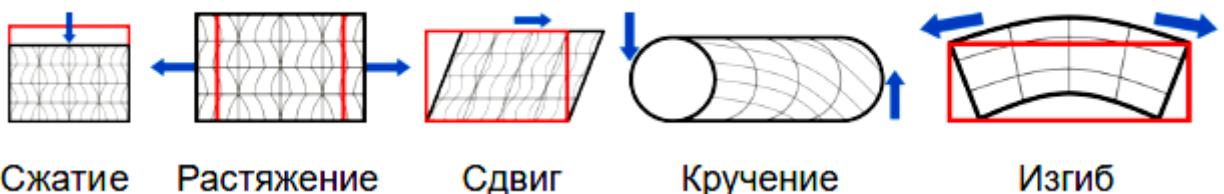
*Пластические деформации* – это необратимые деформации, вызванные изменением напряжений. Пластичностью называется способность вещества получать большие остаточные деформации без разрушения.

*Деформации ползучести* – это деформации, возникающие под действием длительного воздействия на тело постоянного напряжения.

Ползучесть и пластичность внешне схожи, но механизм ползучести имеет преимущественно диффузионную природу, а пластичность связана с быстрым скольжением вдоль атомных плоскостей. При температурах, близких к температуре плавления, различие между этими видами деформации исчезает.

Наиболее простые *виды деформации*: 1) **растяжение / сжатие**, 2) **сдвиг**, 3) **изгиб**, 4) **кручение**. Практически любую деформацию можно представить одновременным наложением нескольких из указанных видов простой деформации, которые, в конечном счете, могут быть сведены к двум первым видам.

## Виды деформации



### Упругие и неупругие деформации

**Упругая деформация** – деформация, при которой после прекращения действия силы размеры и форма тела полностью восстанавливаются. Деформация перестает быть упругой, если внешняя сила становится больше определенной величины, которая носит название **предела упругости**. При таком виде деформации происходит возврат частиц из новых положений равновесия в кристаллической решетке в старые. Тело полностью восстанавливает свои размеры и форму после снятия нагрузки.

**Неупругая деформация** — деформация, при которой происходит необратимая перестройка кристаллической решетки.

Упругие деформации весьма малы, и их измерение требует высокой точности. Измерение деформаций называется *тензометрией*.

### Закон упругой деформации (закон Гука)

**Закон Гука:** Для тонкого растяжимого стержня модуль силы упругости прямо пропорционален величине деформации:  $F_{\text{упр}} = k |\Delta l|$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности (коэффициент упругости), называемый **жёсткостью**;

$\Delta l$  — абсолютное удлинение (сжатие) стержня.

Единица измерения жёсткости в системе СИ: Н/м. Коэффициент упругости зависит от материала, формы и размеров деформируемого тела. Можно выделить зависимость от размеров стержня (площади поперечного сечения —  $S$  и длины —  $L$ ) явно, записав коэффициент упругости как  $k = ES/L$ .

Величина  $E$  называется **модулем Юнга**. Если ввести относительное удлинение  $\epsilon = \Delta l/l$  и нормальное напряжение в поперечном сечении  $\sigma = F/S$ , то закон Гука для относительных величин запишется как  $\sigma = E\epsilon$ . В такой форме он справедлив для любых малых объёмов материала. Также при расчёте прямых стержней применяют запись закона Гука в относительной форме  $\Delta l = Fl/ES$ .

**Внимание!** Если тело отсчёта выбранной ИСО расположить у свободного конца деформируемого тела, то при его деформации координата этого конца тела равна величине деформации. Тогда формула закона Гука, записанного для проекции силы упругости, принимает вид:  $F_{\text{упр},x} = -kx$ . Знак «минус» в этом случае указывает на то, что сила упругости направлена в сторону, противоположную смещению частей тела при деформации.

Величины деформаций, для которых справедлив закон Гука, определяются экспериментально для каждого деформируемого тела.

**Внимание!** Линейная зависимость между модулем силы упругости и удлинением пружины (закон Гука) лежит в основе способа измерения силы с помощью динамометра.

При этом модуль измеряемой силы равен силе упругости пружины, которая, в свою очередь, рассчитывается по величине деформации. Для правильного измерения силы, растягивающей пружину динамометра, необходимо, чтобы во время измерения динамометр находился в покое или двигался прямолинейно и равномерно! Только в этом случае модуль измеряемой силы и модуль силы упругости равны друг другу.

Закон Гука — описывает поведение деформируемого твердого тела в зоне упругости. Закон Гука выполняется только при малых деформациях. При превышении предела пропорциональности связь между силой и деформацией становится нелинейной. Для многих сред закон Гука неприменим даже при малых деформациях.

#### Частные случаи силы упругости:

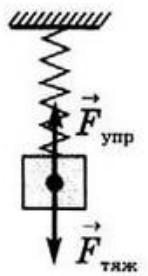
1. **Сила реакции опоры  $N$ :** возникает при деформации опоры, приложена к телу, деформирующему опору, и направлена перпендикулярно поверхности опоры.
2. **Сила натяжения (нити, сцепки)  $T$ :** возникает в нити, приложена к телу, действие которого вызывает деформацию нити, и направлена вдоль нити в сторону, противоположную деформации.

**Внимание!** При решении задач часто используется физическая модель «невесомая нерастяжимая нить». Если нить невесома, то она не рассматривается в качестве отдельного тела, для неё не пишется уравнение движения. Условие невесомости приводит также к тому, что силы упругости, возникающие в нити и приложенные к двум связанным телам, равны по модулю (исключение могут составлять задачи, в которых нить перекинута через весомый блок). Нерастяжимость нити приводит к тому, что связанные ею тела движутся с одинаковым по модулю ускорением.

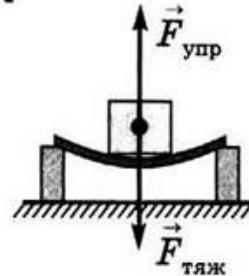
**Предел упругих деформаций** (предел упругости) — механическая характеристика материала, показывающая **максимальное значение напряжения, при котором в элементах конструкций не возникает остаточных деформаций** (имеют место только упругие деформации). Если предел перейден, то после него тело уже не может вернуться к первоначальному, недеформированному состоянию и сохраняет изменения формы. Такие деформации называются остаточными, или пластическими.

**Предел упругости измеряют в паскалях (Па)**

## СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА



$$F_{\text{упр}} = F_{\text{тяж}}$$



### СИЛА УПРУГОСТИ

*сила, возникающая в результате деформации тела и направленная в сторону противоположную перемещению частиц тела*

#### ВИДЫ ДЕФОРМАЦИИ



### ЗАКОН ГУКА

*модуль силы упругости при растяжении (или сжатии) тела прямо пропорционален изменению длины тела*

справедлив только для  
**УПРУГОЙ** деформации

$$F_{\text{упр}} = k\Delta l$$

$\Delta l$  – удлинение тела  
 $k$  – жесткость тела

$$\Delta l = l - l_0$$

$k$  зависит от:  
– формы  
– размеров  
– материала

