

## 2. Выдержит или не выдержит?

Кто из нас не задавал себе этот вопрос, сидя в самолетном кресле и, глядя на то, как за стеклом иллюминатора покачивается вверх - вниз крыло. Этот вопрос задает себе любой инженер - конструктор каждый раз, когда он разрабатывает новую деталь или узел. Этот же вопрос регулярно задавали себе миллионы инженеров, живших на протяжении всей многотысячелетней истории техники.



У этого лайнера на большой высоте воздушным потоком сорвало часть обшивки. Лишь благодаря удаче и мастерству пилотов все закончилось достаточно благополучно.

Знать правильный ответ на этот вопрос очень важно, ибо ошибка могла стоить очень дорого, ведь, например, в древней Персии мастеру, построившему непрочный дом, отрубали голову.

И помогает решить эту вечную задачу наука, которая называется МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА. Она изучает поведение твердого тела под нагрузкой.

Механика твердого тела состоит из различных дисциплин: сопротивления материалов, строительной механики, теории упругости и т.д.; содержит много разных формул и довольно сложна для восприятия. Мы за время учебы в школе подробнее познакомимся с некоторыми элементами этой науки, научимся рассчитывать некоторые детали на прочность, а в этой главе даются только первоначальные сведения.

### Сначала вспомним Физику.

Известно, что все (или почти все) в нашем мире состоит из атомов. Атом - мельчайшая частица, которая определяет свойства химического элемента. Атомы различных химических элементов складываются в молекулы различных окружающих нас веществ. Молекула - мельчайшая частица, которая определяет свойства химического вещества.

Возьмем для примера обычную стирательную резинку (она наверняка есть у тебя в портфеле). Ее можно сдавить, что есть силы, тогда она сожмется. Изменение длины резинки происходит, потому что между молекулами, из которых она состоит, есть очень - очень маленькие промежутки. При растяжении они увеличиваются, а при сжатии - уменьшаются.

Молекулы отстоят друг от друга на некотором расстоянии, которое очень трудно изменить. (Если не веришь - возьми какую-нибудь деревяшку или гвоздь и попробуй растянуть их хотя бы на миллиметр.)

Дело в том, что МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ ДЕЙСТВУЮТ СИЛЫ ВЗАИМНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ. Причем, эта сила проявляется лишь на расстояниях, сравнимых с размерами самих молекул. Если межмолекулярное расстояние станет больше, сила резко пойдет на убыль. Следует еще добавить, что молекулы в различных веществах притягиваются по-разному: одни - сильнее, другие - слабее.

Но тогда возникает вопрос: а почему существуют промежутки между молекулами? Ведь молекулы должны притянуться друг к другу и «слипнуться».

Этого не происходит, потому что **ОДНОВРЕМЕННО С СИЛАМИ ПРИТЯЖЕНИЯ МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ ДЕЙСТВУЮТ СИЛЫ ОТТАЛКИВАНИЯ**. Эти силы становятся заметнее, если попытаться уменьшать межмолекулярное расстояние.

### **Теперь пойдём дальше.**

Знаешь ли ты, что тебе, точнее твоему телу, чуть ли не с самого рождения ежесекундно приходится участвовать в невидимой, но очень жестокой борьбе. С кем? А с окружающими тебя телами. Точнее с силами, с которыми эти тела на тебя действуют. Эти силы (назовем их **ВНЕШНИМИ**) норовят разрушить твоё тело или, в крайнем случае, изменить его форму. Им противостоят **ВНУТРЕННИЕ СИЛЫ** или силы межмолекулярного притяжения (или отталкивания).

Всякое изменение формы и размеров тела называется **ДЕФОРМАЦИЕЙ**.

Способность тела сопротивляться изменению формы и размеров называется **ЖЕСТКОСТЬ**.

Способность тела сопротивляться разрушению называется **ПРОЧНОСТЬ**.

Давай посмотрим, какие деформации бывают.

Если внешние силы стремятся удлинить деталь, то это **РАСТЯЖЕНИЕ**. При **СЖАТИИ** все наоборот, внешние нагрузки норовят сжать, укоротить деталь.

А теперь вспомни заклепочное соединение. Внешние силы, действующие на заклепку, не растягивают её и не сжимают, а как бы стараются сдвинуть одну часть заклепки относительно другой, срезать её. Этот вид деформации называют **СДВИГ** (или **СРЕЗ**).

Можно иначе представить, что такое сдвиг. Вообрази себе аккуратную стопку книг, лежащую на столе. Теперь слегка сдвинь часть книг в плоскости стола. Ты наблюдаешь примерно то же, что происходит внутри заклепки, т.е. сдвиг «слоев» молекул друг относительно друга.

**ДЛЯ УДОБСТВА РАСЧЕТОВ СПЕЦИАЛИСТЫ В ОБЛАСТИ ПРОЧНОСТИ СЧИТАЮТ, ЧТО ВСЕ ДРУГИЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ СОСТОЯТ ИЗ РАСТЯЖЕНИЯ (СЖАТИЯ) И СДВИГА В РАЗЛИЧНЫХ СОЧЕТАНИЯХ**. Покажем это на примерах.

Пример первый - **КРУЧЕНИЕ**. Чтобы тебе легче было разобраться, что происходит при кручении, давай проведем маленький эксперимент. Возьми кусок пластилина и скатай из него не очень толстую, по возможности, цилиндрическую колбаску. Теперь спичкой нарисуй на её боку сетку, подобную той, что нанесена на листе в тетради по математике. А затем возьми колбаску за концы и слегка закрути её.

Обрати внимание, клеточки на боку колбаски перестали быть квадратными. Они стали похожи на стопку книг, которую мы представляли, когда говорили о сдвиге. Т.е. **ПРИ КРУЧЕНИИ, КАК И ПРИ СДВИГЕ ПРОИСХОДИТ СМЕЩЕНИЕ «СЛОЕВ» АТОМОВ**. Пример второй - **ИЗГИБ**. Рассмотрим один из самых простых случаев.

Вот ветка тополя, покрытая тонкой корой. Сгибай её до тех пор, пока не начнет ломаться.

Приглядись повнимательнее, как ведет себя кора. На выпуклой стороне она лопнула и расползлась ближе к концам, а на вогнутой - собралась складками. Это говорит о том, что на выпуклой стороне кора растягивалась, а на вогнутой - сжималась. И какой бы мы предмет не гнули, **ВСЕГДА ПРИ ИЗГИБЕ ВЫПУКЛАЯ СТОРОНА РАСТЯГИВАЕТСЯ, А ВОГНУТАЯ - СЖИМАЕТСЯ**

Итак, мы теперь знаем несколько простых деформаций, а бывают и более сложные, скажем, изгиб и одновременно кручение, или сдвиг с растяжением и т. д.

Почему они разрушаются?

Силы межмолекулярного притяжения очень малы и действуют на небольшом расстоянии, но молекул много и каждой из них достается лишь маленькая часть нагрузки.

Но иногда внешние силы оказываются сильнее. Им удается настолько отодвинуть молекулы друг от друга, что силы притяжения ослабевают, межмолекулярные связи разрываются, и тело разрушается.

Отсюда вывод - **ЧЕМ ТОЛЩЕ ДЕТАЛЬ** (а значит чем больше в ней молекул), **ТЕМ БОЛЬШУЮ НАГРУЗКУ ОНА СПОСОБНА ВЫДЕРЖАТЬ**.

И еще, мы уже говорили о том, что молекулы различных веществ притягиваются друг к другу по-разному, благодаря этому прочность одних веществ выше, чем прочность других. Поэтому **ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛИ ЗАВИСИТ НЕ ТОЛЬКО ОТ ЕЕ ТОЛЩИНЫ, НО ОТ МАТЕРИАЛА, ИЗ КОТОРОГО ОНА СДЕЛАНА**.

Надо сказать, что разным деформациям тела противостоят по-разному. Хуже всего они сопротивляются срезу, лучше всего - сжатию. Запомни это.

#### Жирные гуси не летают!

Выше было сказано, что чем толще деталь, тем она прочнее. Но чем она толще, тем тяжелее, что совершенно неприемлемо для летающей техники. Дело в том, что если не следить за весом, то мощности самолетных двигателей с трудом может хватить только на то, чтобы поднять самого себя, без пассажиров и груза. (Кстати, в истории авиации известно множество конструкций, так и не сумевших оторваться от земли по этой причине.) Следовательно, **ВСЕ ДЕТАЛИ этого САМОЛЕТА ДОЛЖНЫ ИМЕТЬ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНЫЙ ВЕС**.

Внимательно прочти правила, заключенные в рамку, и запомни их. Эти правила выработаны практикой, вспоминай их всегда, когда будешь обдумывать новую конструкцию.

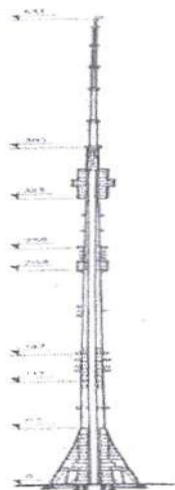
1. Легкую конструкцию сделать тяжело, а тяжелую - легко.
2. Любую конструкцию можно облегчить и «довести».
3. Большое облегчение складывается из множества малых.
4. Более жесткие требования к конструкции не должны удовлетворяться за счет ее массы
5. У любой конструкции есть свои плюсы и минусы, но нужно стараться недостатки превратить в достоинства.

Как же сделать деталь легче и не снизить при этом ее прочность?

Один из способов заключается в следующем. Мы уже говорили о том, что внешняя нагрузка распределяется между молекулами, составляющими деталь. Но оказывается, она распределяется неравномерно. Там, где молекулы работают с перегрузкой, деталь будет разрушаться, в других же местах молекулы работают «вполсилы». Если деталь в этих местах сделать тоньше, то нагрузка на молекулы будет распределяться равномерно, а деталь будет легче. Конструкция, сделанная таким образом, называется **РАВНОПРОЧНОЙ**.

Пример равнопрочной конструкции показан на рис. - это телебашня. Обрати внимание на ее форму. Конструкторы путем расчетов установили, что максимальная нагрузка действует возле самой земли (здесь башня имеет наибольшую толщину). С высотой нагрузка убывает, и, чтобы разделить ее между всеми молекулами поровну, башню нужно делать тем тоньше, чем она выше.

Существуют и другие методы получения конструкций минимального веса, которые мы рассмотрим в старших классах.



Останкинская  
телебашня

\*\*\*

В заключение хотелось бы дать один совет.

В работе конструктора очень большую роль играет интуиция. Она приходит с опытом, но ты можешь начать развивать ее уже сейчас. Поэтому внимательно приглядывайся к различным конструкциям, запоминай те или иные решения, пытайся понять, почему разработчики сделали так, а не иначе, и особенно внимательно изучай сломанные конструкции, стараясь выяснить, что послужило причиной поломки: дефект материала или несовершенство конструкции (если последнее, то как его устранить).

**ЖЕЛАЕМ УСПЕХА!!!**

Ну а теперь...

### **Практическая работа 2.**

Цель работы: показать зависимость жесткости конструкции от формы поперечного сечения. Определить пути снижения веса конструкции при одинаковой прочности.

Данная работа состоит из двух разделов.

#### Раздел I.

Исследуем изгиб линейки.

Работа состоит из двух частей:

В первой части исследуется зависимость прогиба линейки от нагрузки. (ПРОГИБ - это отклонение линейки от первоначального положения.)

Во второй части надо попытаться предложить равнопрочную конструкцию, работающую на изгиб. Конструкций две - балка и консоль. БАЛКА - это линейка, положенная на две опоры, а КОНСОЛЬ - та же линейка, но закрепленная только одним концом.

**ХОД РАБОТЫ:**

I. Исследование изгиба линейки.

1.1. Кладем линейку плашмя на гвозди, нагружаем посередине, измеряем прогиб и результаты заносим в таблицу. Увеличиваем нагрузку и повторяем измерения.

линейк плашмя а		линейка на ребро	
нагрузка	прогиб	нагрузка	прогиб

1.2. Линейка устанавливается на ребро, измерения повторяются, и результаты снова заносятся в таблицу.

**ВЫВОД:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Попробуем уменьшить вес конструкции.

2.1. Кладем линейку плашмя на опоры и нагружаем ее, пока не сломается. Нагрузку прикладываем в середине.

В каком месте сломалась линейка? \_\_\_\_\_

2.2. Закрепляем линейку одним концом, нагрузку прикладываем на другом конце и также нагружаем до слома. В каком месте теперь сломалась линейка? \_\_\_\_\_

Нарисуй, где, по твоему мнению, нужно убрать и где добавить материал у балки и консоли. (Для этого найдите места, где на каждую молекулу приходится наибольшая и наименьшая нагрузки. Эти места можно определить с помощью прогибов. Они больше там, где больше внутренние усилия.)

### Раздел 2.

В этом разделе мы исследуем свойства облегченных конструкций. Это очень интересные конструкции. Они получаются из тонких листов, обладают высокой прочностью и малым весом.

Возьмем лист бумаги и положим его на две опоры. У нас получится что-то похожее на мост. Но этот мост не выдержит даже собственного веса и очень сильно прогнется.

Интересно, а что будет, если из того же листа бумаги свернуть трубку? Увеличится ли жесткость (не прочность!!!) или нет? И что еще влияет на жесткость?

Попробуем ответить на эти вопросы.

#### ХОД РАБОТЫ:

1. Перед тобой две трубки (№ 1 и №2). Они внешне одинаковы, но на них нарисованы стрелки. Дело в том, что бумага - материал, состоящий из волокон, и стрелки показывают их направление.

Возьми трубку № 1, поставь ее на приспособление и нагружай книгами и тетрадями, пока не сломается.

Замечание: следи за тем, чтобы вес книг распределялся на стенки равномерно.

Сколько книг выдержала трубка? \_\_\_\_\_

Сделай то же самое с трубкой №2. И сколько выдержала на?

2. Теперь испытай трубку на изгиб.

Для этого возьми оставшиеся трубки №3 и №4. Укрепи одну из них в приспособлении и нагружай до тех пор, пока не сломается. Только помни одно - нагрузку следует наращивать постепенно, начиная со 100г.

При какой нагрузке сломалась трубка? \_\_\_\_\_

Теперь сделай то же самое с другой трубкой. При какой нагрузке сломалась она?

ВЫВОД: \_\_\_\_\_

P.S. Кстати, о равнопрочных конструкциях. Прочти, пожалуйста, стихотворение американского поэта Оливера Уэндла Холмса (1809-1894), посвященное этой теме:

Дьячок не без смекалки был  
И образован был прилично,  
А по причине той решил  
Он сделать фаэтон «логичным».

«Где, стал быть, тонко, молвил он,  
Там рвется, это точно.  
А потому мой фаэтон

Быть должен равнопрочным...»

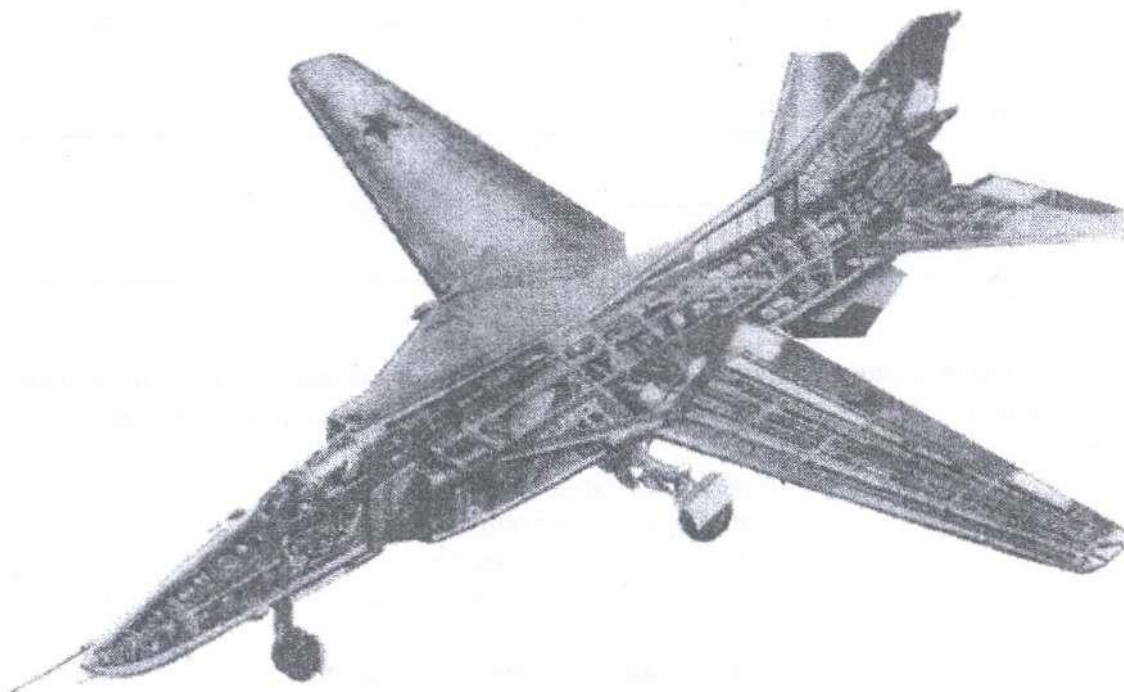
Немало миль тот экипаж  
Набегал по дорогам.  
Он лошадь пережил и аж  
Дьячка, притом намного.

Прошло сто лет с поры былой.  
Подгнила брочка средне,  
А в ней епископ пожилой  
Отправился к обедне...

.....

Но вот круги в глазах пошли  
У старого прелата.  
И оказался вдруг в пыли  
Епископ скуповатый.  
Едва не растерял мозги  
В паденьи непривычном  
Возок распался на куски!  
Логично? Да, логично!

Дело в том, что если равнопрочная конструкция ломается, то ломается сразу вся.  
Помни об этом!



Под самолетной обшивкой скрывается его скелет - силовой набор  
(Истребитель-бомбардировщик МиГ-27)