

Департамент образования города Москвы
Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города
Москвы
Школа №1505
“Преображенская”

ДИПЛОМ

Расчет торсиона и его применение

Выполнил:
Дольников Виктор Вадимович
Руководитель:
Наумов Алексей Леонидович
Рецензент:
Голодняк Михаил Михайлович

Москва
2017-2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2 стр.
Глава 1	4 стр.
Глава 2	14 стр.
Заключение	18 стр.
Список литературы	19 стр.

Введение

В теоретической части своего исследования я рассмотрел несколько видов деформации твердых тел и поподробнее рассказал о деформации кручения на примере торсиона, также, я привел его расчеты. Но это все было в теории. Сейчас же я выясню верны ли были сведения из моего реферата, проверив их на 3D-моделях и макете торсионов. Также я рассмотрю помимо круглого еще и другие виды сечений, порой несколько необычные, чтобы понять, торсион какого сечения лучше выполняет поставленные ему задачи. 3D-модели выполнены в среде Autodesk Fusion 360, что наглядно позволило показать изменение различных параметров торсионов при деформации. Изначально планировалось использовать Autodesk Inventor, но в процессе знакомства с программой, методом проб и ошибок было выявлено, что Fusion 360 больше подходит для проведения данного исследования.

Актуальна эта работа тем, что в ней будет наглядно показано применение расчетов торсиона, и будет выбрано лучшее сечение для выполнения задач торсиона, еще я проверю точность поведения 3D-модели торсиона (сравню с поведением реального макета торсиона). Начну я с вставки с теорией, потом приведу пример расчета торсиона, потом изучу поведение 3D-моделей, а затем рассмотрю и макет. Во второй главе я предоставлю результаты исследования и объясню физику происходящих процессов.

Для меня эта тема интересна своей физической составляющей. Мне были всегда очень интересны металлы и различные их свойства. Также я увлекался бронетехникой и хотел узнать как устроена подвеска современных танков. К моему удивлению оказалось, что подвеска

торсионная. Я не мог себе представить, как возможно рассчитать параметры торсиона и, задавшись этим вопросом, узнал, что отвечает за это раздел физики “сопротивление материалов”. И в итоге решил посвятить реферат именно деформации кручения.

Материал в данной работе изложен языком, ориентированным на учеников средней школы профильного курса физики. Для более легкого восприятия материала, использование формул сведено к минимуму, тем не менее, основные законы в работе отражены.

Глава первая.

Многие люди в наше время владеют автомобилями. И в зависимости от местности эксплуатации техники человеку нужны автомобили с определенными техническими характеристиками. Существуют разные автомобили с разным устройством агрегатов. Одним из важнейших агрегатов автомобиля является подвеска. Видов подвесок есть большое множество: рессорная, пружинно-амортизаторная, пневматическая, гидропневматическая, торсионная и другие. Чаще всего встречается пружинно-амортизаторная, так как она лучше соответствует запросам среднестатистического обывателя. Но если человеку нужна подвеска с большим ресурсом эксплуатации и с возможностью испытывать колоссальные нагрузки и не выходить из строя, то используют торсионную подвеску. Также торсионы можно встретить даже в тех местах, где не ожидаешь их увидеть: крышка багажника автомобилей ВАЗ 2101-2107 открывается с помощью торсиона (рис.1) , так как вместо часто сейчас встречающихся сложных гидравлических систем открывания раньше использовали надежный, простой в устройстве торсион, дабы упростить конструкцию и уменьшить стоимость детали. Точка А на рис. 1 является точкой крепления торсиона к детали, которую он должен уравнивать, а именно к крышке багажника; точка Б на рис. 1 является местом крепления торсиона к кузову автомобиля.

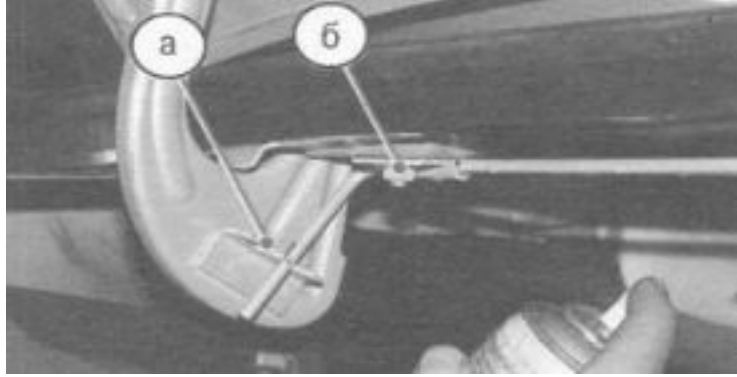
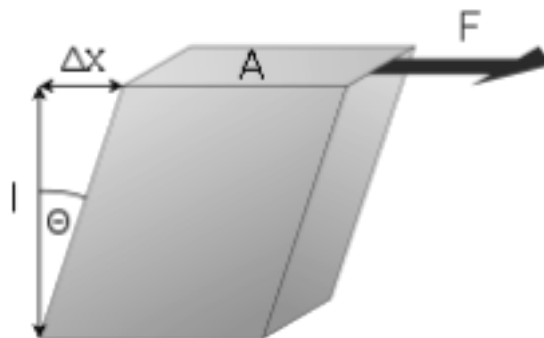


Рис. 1

Зарекомендовав себя надежным и ресурсным агрегатом, торсион стал наиболее распространенным видом подвески бронетехники нашего времени. Также его любят за простоту системы: торсион – это обычно металлический стержень (либо несколько стержней, расположенных параллельно), который работает на деформацию-кручение.

Кручение — один из видов деформации тела. Возникает в том случае, если нагрузка прикладывается к телу в виде пары сил в его поперечной плоскости. При этом в поперечных сечениях тела возникает только один внутренний силовой фактор — крутящий момент. Существуют разные виды деформации, рассмотрим некоторые из них.

Во-первых, деформация сдвига.



где:

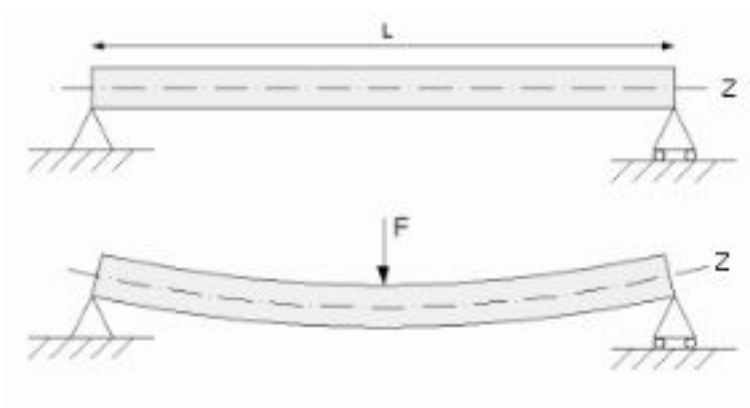
A - площадь поверхности, на которую действует сила F ;

Δx - максимальное расстояние, на которое сдвинулась точка на краю тела;

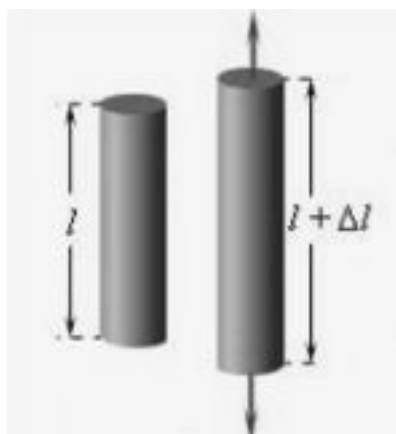
l - длина части тела, которая подвержена сдвигу;

θ - угол сдвига;

Во-вторых, деформация изгиба.



В-третьих, сжатие/растяжение



Познакомившись с видами деформации, перейдем к самим торсионам.

Торсион можно назвать своеобразной пружиной, так как после воздействия сил, которые его деформировали, торсион возвращается в первоначальное положение, как и пружина. Возвращаясь к применению

торсиона, нужно отметить, что добиться от стержня нужного ресурса работы и упругой деформации не просто, нужно учитывать множество параметров торсиона, среди которых материал, диаметр и длина. Существует единая формула расчета максимального крутящего момента, приложенного к торсиону, из которой можно выразить многие параметры торсиона. Она выглядит вот так:

$$T = \int_t \tau = \int_l \varphi G$$

где:

T - приложенный крутящий момент или момент силы (векторное произведение результирующей силы и плеча силы) в Н*м;

t – касательное напряжение

По определению, напряжение - это сила, деленная на площадь поверхности, на которую она действует. Когда прилагаемая сила направлена по касательной к поверхности (напряжение сдвига) образуется касательное напряжение. Напряжение выражается в системе Си в паскалях (Па) или $\frac{Н}{м^2}$.

J – константа кручения, для торсиона круглого сечения

$$J = \frac{\pi d^4}{32},$$

где d – это диаметр стержня в м;

r – расстояние от оси вращения до дальней точки наружной поверхности в м;

l – длина стержня в м;

φ – угол вращения в радианах;

G – модуль сдвига в Па,

$$G = \frac{\tau}{\operatorname{tg}\varphi}$$

Модуль сдвига — физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться сдвиговой деформации, является касательным напряжением, деленным на сдвиговую деформацию (tg угла сдвига).

Рассмотрим понятие “напряжение” поближе. Механическим напряжением называют меру внутренних сил, возникающих в деформируемом теле под влиянием различных факторов. Механическое напряжение в точке тела определяется как отношение внутренней силы к единице площади в данной точке рассматриваемого сечения.

$$Q = \frac{F}{S}$$

где:

Q — механическое напряжение;

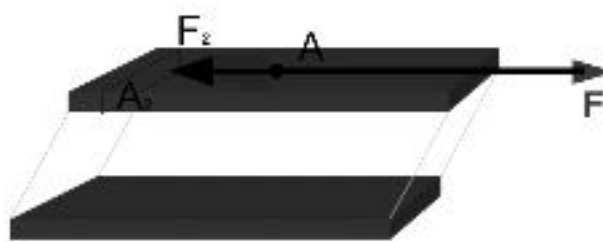
F — сила, возникшая в теле при деформации;

S — площадь;

Напряжения являются результатом взаимодействия частиц тела при его нагружении. Внешние силы стремятся изменить взаимное расположение частиц, а возникающие при этом напряжения препятствуют смещению частиц, ограничивая его в большинстве случаев некоторой малой величиной. Различают две составляющие вектора механического напряжения:

- Нормальное механическое напряжение — приложено на единичную площадку сечения, по нормали к сечению (обозначается σ), (F_2/A_2 на рис. 2);
- Касательное механическое напряжение — приложено на единичную площадку сечения, в плоскости сечения по касательной (обозначается τ), (F/A на рис. 2);

В Международной системе единиц (СИ) механическое напряжение измеряется в паскалях.



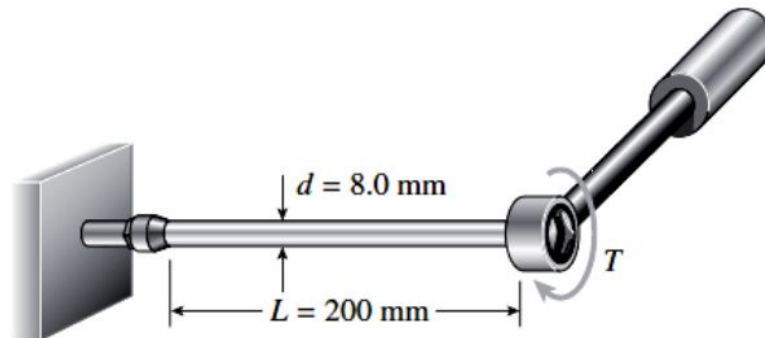
$$\text{Shear stress } \tau = \frac{F}{A} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Рис. 2

*shear stress - касательное напряжение (англ.)

Чтобы облегчить расчеты, существуют справочники модулей сдвига для различных материалов, через которые можно выразить касательное напряжение или угол сдвига. Так как сейчас при создании торсионов используется некий набор металлов, то следует отметить, что довольно просто и удобно находить сразу численные значения в справочнике, нежели высчитывать самому.

Для



наглядности рассмотрим следующую расчетную задачу.

Стальной вал выступает из стены. Человек пытается свернуть его гаечным ключом. Длина стержня = 200 мм, диаметр = 8 мм, максимальное касательное напряжение = 60 МПа. Найти максимальный крутящий момент к моменту необратимой деформации стержня.

Воспользуемся формулой $T = \frac{J}{r} \tau$ для нахождения максимального крутящего момента.

Для этого найдем радиус стержня:

$$d = 2 \cdot r$$

$$r = \frac{d}{2} = 0,004 \text{ м}$$

Затем, найдем константу кручения для данного стержня:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0,0000000040192 \text{ м}^4 \approx 0.4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

Далее найдем максимальный крутящий момент:

$$\tau = 60\,000\,000 \text{ Па}$$

$$T = \frac{0.4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4}{0.4 \cdot 10^{-2} \cdot 60} \approx 6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Ответ: 6 Н*м .

Подведем итог, для данного стержня, максимальный крутящий момент, который не приведет к необратимой деформации равен 6 Н*м .

Теперь применим расчет характеристик торсиона на его 3D-модель и реальный макет и изучим его свойства.

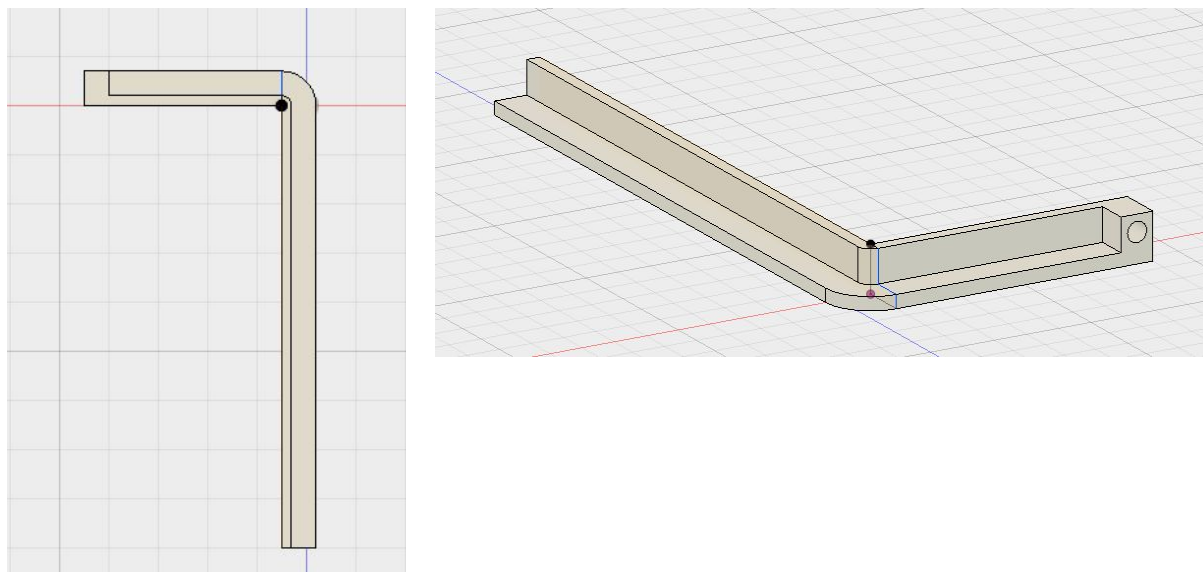
1) 3D-модель

Я создал несколько моделей торсионов с разным сечением и из разных материалов (алюминия и стали). Результаты симуляций приложения одинакового крутящего момента к торсионам с одинаковой толщиной стенки профиля (все торсионы полого профиля) представлены в формате PDF-файлов на сайте gum1505.ru в разделе моего исследования.

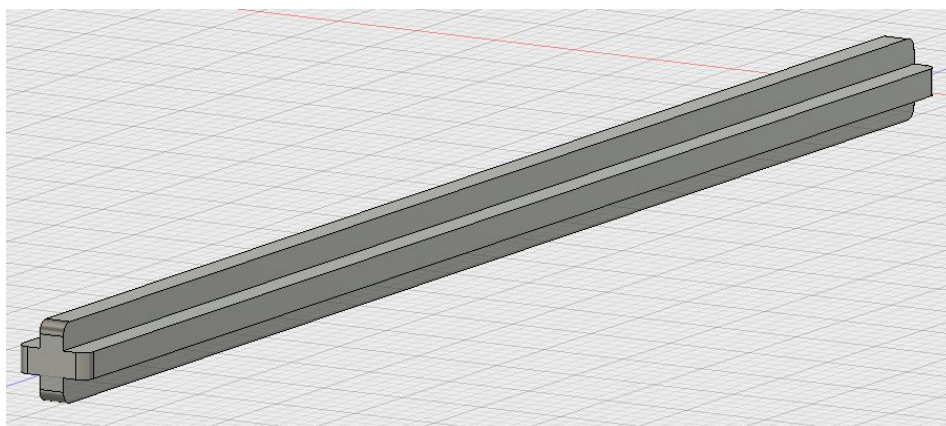
Проанализировав результаты, можно заметить, что вне зависимости от материала самыми устойчивыми к нагрузкам были торсионы круглого сечения, что объясняет их распространенность. Но это были стандартные сечения, а в автомобильных подвесках помимо круглых торсионов довольно часто встречаются U-образные и V-образные торсионы. Так что далее я решил сравнить крестообразный стержень с V-образным. Я создал еще две 3D-модели, но уже одного материала (пластик) и сплошного профиля, а именно сплошного крестообразного и сплошного V-образного сечений. Торсион крестообразного сечения я сделал точной копией стержня Lego, а V-образный я сделал с той же площадью сечения, что и крестообразный. Для более удобного применения в макете V-образный

торсион я сделал с дополнительным рычагом, в котором было проделано отверстие для подвешивания грузов. Ниже прикреплены его изображения.

V-образный:



Крестообразный:

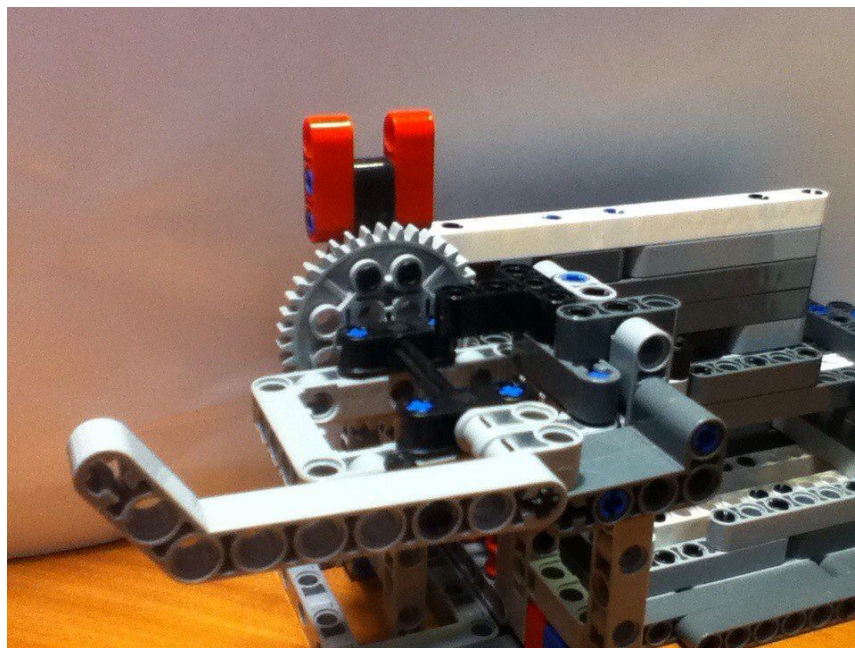


2) Макет

После изучения поведения 3D-моделей я решил проверить, как работают торсионы в реальной жизни. Я взял настоящий стержень Lego и распечатал V-образный торсион на 3D-принтере (стержни выполнены из

схожих по свойствам пластиков, так что они подходят друг другу для сравнения). Затем я собрал подставку и закрепил на нее торсион.

Конструкция подставки подразумевает, что ее нужно придерживать рукой, чтобы она не перевернулась, когда грузы будут подвешены. Также я предусмотрел возможный изгиб торсиона под действием веса грузов и сделал специальную платформу, которая удерживает торсион горизонтально. На конечную точку перед закрепленным сечением я прикрепил держатель для карандаша, чтобы при приложении нагрузки карандашом была начерчена дуга, угловое значение которой будет равно сдвигу в данной точке. При помощи такой конструкции вычислять сдвиг очень удобно и просто. Ниже прикреплены изображения этой установки:



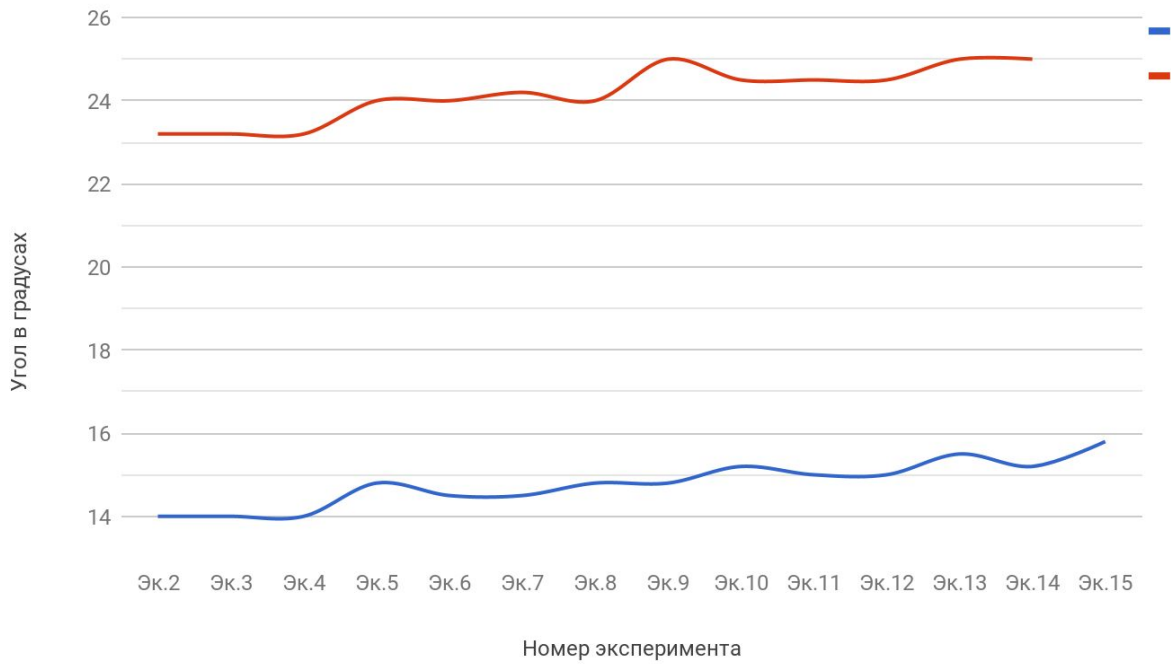
Результаты скручивания торсиона L-образного сечения:

Нагрузка, Н	Угол закручивания в градусах														
	Эк. 1	Эк. 2	Эк. 3	Эк. 4	Эк. 5	Эк. 6	Эк. 7	Эк. 8	Эк. 9	Эк. 10	Эк. 11	Эк. 12	Эк. 13	Эк. 14	Эк. 15
1	11,0	11,0	11,0	11,5	12,5	12,5	11,5	12,0	12,0	11,5	12,0	11,8	12,5	11,5	12,0
2	19,0	18,5	18,8	19,5	19,2	18,5	18,5	18,0	18,5	18,5	18,5	18,5	18,8	19,0	18,5
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Для большей наглядности ниже представлены графики, составленные по результатам исследования. Результаты приложения нагрузки в 5 Н в графиках не отображаются, так как данных слишком мало, ввиду прохождения предела упругости торсионов. Синим цветом нарисован график изменения значений величины угла закручивания при приложении нагрузки в 1 Н. Красным цветом нарисован график изменения значений величины угла закручивания при приложении нагрузки в 2 Н.

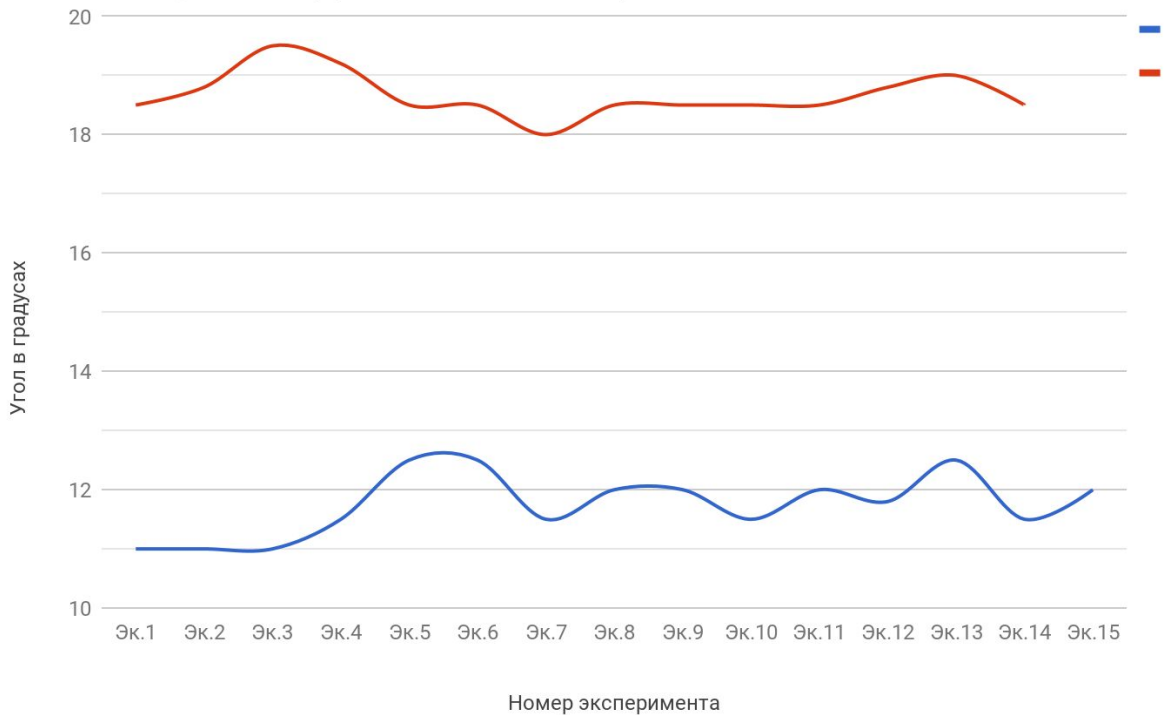
Результаты скручивания торсиона крестообразного сечения:

Величины угла закручивания в экспериментах



Результаты скручивания торсиона L-образного сечения:

Величины угла закручивания в экспериментах



При анализе полученных данных было выявлено увеличение величины угла закручивания торсиона крестообразного сечения в течение проведения экспериментов. С каждым новым экспериментом торсион “растягивался”. Наличие такой зависимости в характеристиках данного торсиона и ее отсутствие в характеристиках другого объясняется различием материалов, из которых они были выполнены. Хотя свойства материалов были схожи, но полного совпадения не было. Материал, из которого был выполнен торсион крестообразного сечения оказался немного пластичнее, чем материал, из которого был выполнен торсион L-образного сечения.

Анализ результатов экспериментов показал, что крестообразный торсион был пластичнее и устойчивее к нагрузкам, чем торсион L-образного сечения.

Поведение реальных торсионов оказалось схожим с поведением их 3D-моделей. Полного совпадения не получилось ввиду погрешности измерений.

Заключение.

В данной работе был представлен и объяснен расчет торсиона на примере задачи, было продемонстрировано поведение реальных торсионов различного сечения и их 3D-моделей при приложении к ним различных нагрузок.

В ходе исследования было выявлено сходство поведения реальных прототипов и их 3D-моделей при приложении к ним нагрузок, а также преимущество крестообразного сечения над L-образным в устойчивости к нагрузкам и пластичности. Абсолютно верным данный вывод считать нельзя, так как ввиду обстоятельств использовались торсионы, выполненные из материалов, схожих по свойствам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. (2017, Март 08). Активна на Январь 12, 2017, https://en.wikipedia.org/wiki/Torsion_constant
2. (2017, Март 04). Активна на Январь 15, 2017, https://ru.wikipedia.org/wiki/Модуль_сдвига
3. (2017, Март 23). Активна на Январь 07, 2017, https://ru.wikipedia.org/wiki/Торсионная_подвеска
4. (Беляев Н.М. Сопротивление материалов. 1965)
5. (Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. Издательство МГТУ им. Баумана. 1999)
6. (В.Ф. Горбунов. Изучай сопротивление материалов самостоятельно. 2008)
7. (Покровский А.М. Сопротивление материалов. Лекции. II курс МГТУ им. Баумана. 2012)
8. Torsion (mechanics). (2017, Март 02). Активна на Декабрь 31, 2016, [https://en.wikipedia.org/wiki/Torsion_\(mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Torsion_(mechanics))
9. (2016, Август 08). Активна на Январь 02, 2017, <https://www.youtube.com/watch?v=awrGg2P5a5c>
10. (2014, Январь 21). Активна на Январь 02, 2017, <https://www.youtube.com/watch?v=ICDZ5uLGrI4>
11. (2012, Июль 23). Активна на Январь 03, 2017, <https://www.youtube.com/watch?v=ynzA2nzaEgE>
12. (2012, Июль 23). Активна на Январь 03, 2017, https://www.youtube.com/watch?v=pd_1Kwe_vKY
13. (2015, Октябрь 04). Активна на Февраль 21, 2017, <https://www.youtube.com/watch?v=OTe4WZCahVk>

14. (2012, Июнь 12). Активна на Март 12, 2017,
<http://civil.emu.edu.tr/courses/civ1222/Chap6-Torsion.pdf>
15. (2012, Июль 23). Активна на Февраль 09, 2017,
<https://www.youtube.com/watch?v=ynzA2nzaEgE>