

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа №79 г. Пензы

Проектная работа

«Тенсегрити»

Автор(ы):

Шубина Наталья,

9 «А».

Руководитель:

Храмова Е. В.,

учитель физики

Пенза

2024 г.

Оглавление

Введение.....	3
ГЛАВА 1.	3
1.1 История и прототипы систем тенсегрити	3
1.2 Принцип работы тенсегрити	4
1.3 Тенсегрити в нашем теле	4
1.4 Сфера применения и особенности тенсегрити конструкций	5
1.5 Известные тенсегрити сооружения мира	6
ГЛАВА 2.	7
2.1 Производство и сборка макета	7
2.2. Проверка моделей тенсегрити на прочность.	8
Заключение	12
Список используемой литературы	13
Приложение 1.	14
Приложение 2.	15

Введение

Стол тенсегрити — это левитирующая конструкция, представляющая собой круглую столешницу, подвешенную на тросах, установленных на стержнях. Такой тип соединения предполагает полное отсутствие контакта между стержнями. [1]

Натяжение и удержание осуществляется за счёт тросов, не дающих столешнице сместиться в сторону или отлететь при малейшем движении.

Цель: создать стол тенсегрити своими руками.

Задачи:

1. Проанализировать литературу по данной тематике;
2. Изучить историю и прототипы систем тенсегрити;
3. Изучить принципы работы тенсегрити;
4. Создать тенсегрити своими руками.

Объектом исследования: принцип тенсегрити.

Предметом исследования: применение принципа тенсегрити при изготовлении мебели.

Актуальность работы заключается в том, чтобы пополнить коллекцию школьного кабинета физики, на основе данных моделей объяснить обучающимся принцип работы моделей тенсегрити и рассказать о применении данной конструкции. (изготовленную модель тенсегрити можно использовать в качестве наглядного пособия на уроках физики). изготовленная модель тенсегрити может служить в качестве наглядного пособия при изучении темы: «Равновесие».

Гипотеза: сможет ли модель тенсегрити выдержать вес во много раз больше своего собственного.

ГЛАВА 1.

1.1 История и прототипы систем тенсегрити

Тенсегрити (от английского "tension" — напряжение и "integrity" — целостность) — это конструктивная система, основанная на сочетании элементов, находящихся в состоянии напряжения и компрессии. Основная идея тенсегрити заключается в том, что элементы соединяются через натянутые тросы или кабели, что позволяет создать стабильные структуры с минимальным количеством материалов.

Происхождение термина: Термин "тенсегрити" был введён в 1960-х годах архитектором и дизайнером Бакминстером Фуллером, который активно исследовал подобные конструкции.

Развитие концепции: Хотя Фуллер считается основным популяризатором концепции, элементы тенсегрити были известны и до него. Например, некоторые принципы можно увидеть в работах таких архитекторов, как Л. К. Эдвардс и К. Р. Мэрион.

Современное использование: В последние десятилетия тенсегритные структуры нашли применение в архитектуре, искусстве и дизайне. Они используются для создания временных конструкций, выставочных павильонов и даже в некоторых архитектурных проектах.

Модели и макеты: Первые прототипы тенсегрити-структур часто создавались в виде моделей для демонстрации принципов работы. Они могут быть выполнены из простых материалов, таких как палочки и резинки.

Архитектурные сооружения: Некоторые современные здания и павильоны используют тенсегритные конструкции для достижения легкости и элегантности. Примеры включают павильоны на выставках и выставочных центрах.

Искусство: Художники, такие как Кенет Снеллинг, использовали тенсегрити в своих скульптурах, создавая впечатляющие инсталляции, которые иллюстрируют физические принципы.

Для исследования исторических аналогов были выбраны конструкции Музея барона Штиглица в Санкт-Петербурге и Машинного отдела на выставке в Нижнем Новгороде (Приложение 1) (рис. 1.), как наиболее выразительно иллюстрирующие принцип работы тенсегрити.

1.2 Принцип работы тенсегрити

Классические тенсегрити — конструкции из стержней и тросов, в которых стержни работают на сжатие, а тросы — на растяжение. Важнейшим условием такой конструкции является состояние устойчивого равновесия растяжения и сжатия, зависящего от геометрических характеристик модели, расположения сжимающих стержней и растягивающих тросов, а также наличие преднапряжения. Различают стержневые (Приложение 1) (рис. 2.) и мембранные (поверхностные) тенсегрити. В последних стержни все так же работают на сжатие, но встроены уже в эластичную мембрану, работающую на растяжение. [1]

Схема работы отдельных элементов: красный - сжатие, синий - растяжение.

Пространственные тенсегрити состоят из минимальных, прерывистых не соприкасающихся линейных элементов, соединенных непрерывным растянутым плоскостным элементом.

Для контроля финальной формы конструкции важен паттерн (узор) сжимающих элементов служащих исключительно как средство предварительного натяжения и передачи нагрузок для растягивающих элементов. В этом эксперименте важно было найти оптимальную структуру и логику, которая равномерно бы растягивала ткань, держала нужную форму и перекрывала пространство (Приложение 1) (рис. 3.).

Цифровое моделирование тенсегрити.

Равновесие систем тенсегрити можно находить в цифровой среде путем симуляции физических процессов с помощью плагина Kangaroo 3D в среде Rhino/Grasshopper. Элементам системы (стержням и тросам) назначаются различные параметры жесткостей и с помощью итеративного процесса находится состояние равновесия системы, приводя к финальной конфигурации.

Изначальная и финальная геометрия модели тенсегрити после симуляции в Kangaroo 3D.

1.3 Тенсегрити в нашем теле

Тенсегрити в контексте человеческого тела представляет собой модель, которая помогает понять, как различные структуры и системы взаимодействуют друг с другом для поддержания стабильности и функциональности. Эта концепция находит применение в анатомии, физиологии и медицине. [2]

Структурная целостность: Человеческое тело может быть представлено как тенсегритная структура, где кости (компрессионные элементы) удерживаются в пространстве мышцами, связками и фасциями (тянущими элементами). Это взаимодействие создает устойчивую и гибкую систему, способную адаптироваться к различным нагрузкам.

Фасциальная система: Фасции — это соединительные ткани, которые обвивают мышцы, органы и другие структуры тела. Они играют важную роль в поддержании тенсегритной структуры, обеспечивая натяжение и распределение сил по всему телу.

Динамика движения: Модель тенсегрити может объяснить, как тело управляет движением и силой. Напряжение в мышцах и связках позволяет оптимально распределять нагрузки, что важно для выполнения различных движений и предотвращения травм.

Функциональная медицина: Концепция тенсегрити используется в функциональной медицине для понимания взаимосвязей между различными системами тела. Это позволяет врачам и терапевтам разрабатывать более эффективные методы лечения, учитывающие целостный подход.

Терапевтические применения: В некоторых методах физиотерапии и мануальной терапии, таких как остеопатия и миофасциальный релиз, используются принципы тенсегрити для улучшения подвижности и уменьшения боли, что демонстрирует актуальность этой модели в клинической практике.

Тенсегритная модель человеческого тела позволяет глубже понять его анатомию и физиологию, а также предлагает новые подходы к лечению и восстановлению. Эта концепция подчеркивает важность взаимосвязей между различными системами и структурами, что делает ее важным инструментом в области медицины и здравоохранения.

1.4 Сфера применения и особенности тенсегрити конструкций

Тенсегрити - структуры могут применяться как в гражданском, так и в архитектурном строительстве, в основном в таких конструкциях, как купольные сооружения, мосты, башни, крыши стадионов, временные сооружения, а также палатки.

В настоящее время идея «тенсегрити» активно внедряется в производство мебели (столы, стулья, декоративные подставки) и элементов декора. Мебель тенсегрити имеет прочную конструкцию и интересный дизайн, который может быть использован в различных интерьерах.

Мебель тенсегрити - это особый тип мебели, который использует принципы тенсегрити, то есть сочетание сжимаемых и напряженных элементов, для создания прочной конструкции без использования традиционных соединений.

Тенсегритные элементы могут использоваться в некоторых транспортных средствах, таких как самолеты и космические аппараты, для уменьшения веса и улучшения аэродинамических характеристик.

Медицинские устройства: В области медицины тенсегритные конструкции изучаются для разработки имплантатов и протезов, которые могут лучше адаптироваться к движению и нагрузкам.

Легкость и прочность: Тенсегритные конструкции обеспечивают высокую прочность при низком весе благодаря распределению нагрузок между тянущими и компрессионными элементами.

Гибкость и адаптивность: Эти конструкции обладают способностью адаптироваться к различным условиям и нагрузкам, что делает их идеальными для динамических сред.

Экономия материалов: Благодаря своей структуре тенсегритные конструкции требуют меньшего количества материалов, что снижает затраты и делает их более устойчивыми с точки зрения экологии.

Эстетика: Тенсегритные системы создают визуально привлекательные формы, которые могут служить как функциональными, так и декоративными элементами.

Простота сборки: Многие тенсегритные конструкции могут быть легко собраны и разобраны, что делает их подходящими для временных и мобильных приложений.

Тенсегритные конструкции представляют собой универсальный подход, который находит применение в различных сферах, от архитектуры до медицины. Их уникальные особенности

делают их привлекательными для дизайнеров, инженеров и художников, открывая новые возможности для создания инновационных и функциональных решений.

1.5 Известные тенсегрити сооружения мира

1. «Игольчатая башня» Кеннета Снельсона в Вашингтоне (США)

Музей и Сад скульптур Хиршхорна в Вашингтоне может похвастаться удивительной структурой, получившей название «Башня Игла» (Needle Tower). Спроектированная художником Кеннетом Снельсоном. Стоя в центре «Башни Иглы» (у ее основания), посетители могут увидеть шестиконечную звезду Давида. А вот при взгляде издали стальные тросы становятся практически незаметными, поэтому создается впечатление, что вся башня балансирует над землей, стараясь противостоять законам гравитации.

2. Олимпийский парк в Мюнхене (Германия).

Олимпийский парк в Мюнхене (Munich Olympic Park), спроектированный Фреем Отто – архитектором и инженером-строителем является свидетельством того, как знание принципов устройства растяжимых конструкций помогает построить огромный комплекс. Опыт в создании палаток во время Второй мировой войны вдохновил его на исследования и инновации, которые вылились в масштабные объекты, ставшие свидетельством того, как принципы тенсегрити помогают ускорить и удешевить процессы строительства. При этом, несмотря на видимую хлипкость, такая сборка никак не скажется на их устойчивости, тем более на эстетическом облике. А как раз наоборот, обязательно привлечет внимание к объекту, глядя на который многие не только восхищаются, но и пытаются разгадать технологию вполне реальной иллюзии.

3. Мост Курилпа через реку Брисбен (Австралия) - один из самых длинных пешеходных мостов мира, соединивший два берега реки Брисбен в австралийском штате Квинсленд.

4. «Биосфера» в Монреале от Бакминстера Фуллера (Канада).

Монреальская биосфера (Montreal Biosphere) – Экологический музей. Эстетически привлекательное архитектурное сооружение, в котором сейчас находится музей Монреальская биосфера, первоначально являлось американским павильоном, построенным для Всемирной выставки Экспо 67. Но строение настолько очаровало канадцев, что они решили его не демонтировать. Расположено в парке Жан-Драпо на острове Святой Елены.

5. Международный аэропорт Денвера (США).

Культовый международный аэропорт Денвера (Denver International Airport), являющийся одним из крупнейших аэроузлов США и мира, стал наглядным примером того, как можно использовать растяжимые структуры для строительства масштабных объектов. Конструкция культового объекта, напоминающего вершины скалистых гор, создана по принципу тенсегрити, а вот в роли оболочки остроконечных крыш выступает стекловолокно с тефлоновым покрытием.

6. «Исчезающая башня» от Томаса Ван Девентера (Африка).

«Исчезающая башня» была построена в 2015 году для проведения южноафриканской версии американского мероприятия Burning Man (Горящий человек) с соответствующим континенту названием – AfrikaBurn. Южноафриканское региональное мероприятие, собирающее людей искусства, которые представляют свои творения стало довольно популярным в мире современного искусства. К его проведению представляют самые невероятные арт-композиции. В рамках такого мероприятия и была построена «Исчезающая башня», поразившая «парящей» конструкцией. [4]

ГЛАВА 2.

2.1 Производство и сборка макета

Производство и сборка макета вышли за рамки всех ожиданий. Даже с четкой структурой и узлами получилось найти множество как мелких, так и больших проблем. Основные из которых заключались в недостаточном первоначальном количестве затяжек на трос (была одна, стало две), попытке объединения нескольких тросов для уменьшения количества талрепов, что упрощало бы натяжение тросов, и улучшало внешний вид конструкции. Первая проблема вскрылась быстро и так же решилась. А вот вторая не давала сбалансировать конструкцию, что привело к последующей переделке каждого троса. [3]

При этом важной задачей было подобрать длину каждого троса с учетом финальной геометрии и длины хода резьбы талрепа. Большой же проблемой оказалось недостаточный диаметр сечения первоначального шуруп-крюка, которое составляло 5 миллиметров, что в последствии при финальном натяжении всей конструкции привело к банальной его поломке.

В последующем же этапе сбора конструкции все ошибки были учтены и оставалось лишь одновременно натянуть все тросы и привезти конструкцию в положение равновесия.

Материалы, которые потребовались для сборки модели на нитях:

1. Бруски 25*25 мм;
2. 200мм=2 шт;
3. 170мм=2 шт;
4. 150мм=4 шт;
5. 100 мм=2 шт.

Сборку модели можно посмотреть в (Приложении 2).






Таблица. 2. Сборка модели тенсигрити на цепях.





№	Фото	Описание
1.		Подготавливаем цепи размерами: 4 шт. - по 58 см. 1 шт. – по 18,5 см.
2.		Подготавливаем бруски: 4 шт. 40×40 мм. – по 27 см. 4 шт. 40×40 мм. – по 35 см. (квадратные). 2 шт. 40×40 мм. – по 20 см Г-образные. Собираем детали вместе, с помощью гвоздей.

3.		<p>Подготавливаем столешницу: 1 шт. - 16 мм, 27×27 мм. Собираем детали вместе, с помощью гвоздей.</p>
4.		<p>Для сборки всех деталей в единое целое нам понадобятся крючки для цепей 10 шт.</p>
5.		<p>Красим детали чёрной краской, при помощи валика.</p>
6.		<p>Собираем конструкцию.</p>

2.2. Проверка моделей тенсегрити на прочность.

Модель	Масса удерживаемого предмета	Фото, удерживаемого предмета	Удерживаемый предмет

Тенсегрити на цепях (модель № 1).	2,9 кг.		Цветок.
	5 кг.		Коробка с наполнением.
	10 кг.	 	Блин спортивный.
Тенсегрити на нитях Тенсегрити на цепях (модель № 2).	0,488 кг.		Учебник по физике.

1,192 кг.		3 учебника по физике 7,8,9 класс. 7 класс - 334 г. 8 класс – 370 г. 9 класс – 488 г.
1,501 кг.		3 учебника по физике 7,8,9 класс + 1 задачник по физике. 7 класс - 334 г. 8 класс – 370 г. 9 класс – 488 г. Задачник по физике - 309 г.
1,810 кг.		3 учебника по физике 7,8,9 класс + 2 задачник по физике. 7 класс - 334 г. 8 класс – 370 г. 9 класс – 488 г. Задачник по физике - 309 г.
2,119 кг.		3 учебника по физике 7,8,9 класс + 3 задачник по физике. 7 класс - 334 г. 8 класс – 370 г. 9 класс – 488 г. Задачник по физике - 309 г.

Модель № 1 (тенсегрители на цепях) выдержало массу предметов 2,9 кг. и 5 кг., а вот спортивный блин с массой 10 кг, выдержать уже не получилось, приходилось держать руками, модель теряла равновесие, но цепи выдерживали это связано с тем, что данная модель выполнена с погрешностями, если ее переделать с более точными размера, то она сможет выдержать 10 кг, возможно и более, эксперимент закончился на 10 кг.

Модель № 2 (тенсегрители на нитях) выдержало максимальную массу 2,119 кг, есть вероятность, что и более тяжёлый груз она выдержит, эксперимент прекратился потому что услышали короткий звук (треск).

Вывод: все изготовленные модели довольно устойчивы. Модели №1 и №2 выдерживают предметы, масса которых больше в несколько раз массы самих моделей. Если у модели №2 натянуть толще нить (трос), то она тоже будет удерживать предметы большей массы. Чем толще нить или цепь, тем большую массу модель тенсегрители может выдержать

Заключение

В ходе изучения данной темы мы выяснили, что конструкции тенсегрити имеют разнообразные формы, также наше тело тоже построено по принципу «баланса сжатия и напряжения».

Идея «тенсегрити» сейчас активно внедряется в производство мебели и элементов декора, на просторах интернета можно увидеть, большие столы, стулья, маленькие столики (тумбы) как в нашей работе, которые приковывают к себе взгляд окружающих. Выглядит мебель тенсегрити очень красиво, многие люди не зная данный принцип находят для себя в данной конструкции некую загадку и волшебство, но на самом деле зная законы физики все легко и просто.

Мы заметили, что практически все модели мебели, изготовленные по принципу тенсегрити, состоят из двух симметричных деталей, соединением и опорой служат натянутые тросы. При изготовлении моделей тенсегрити один из тросов должен проходить под геометрическими центрами столешницы и ножек. Это для того, чтобы центр тяжести стола не сместился и модель получилась устойчивой. Собрали две разные модели с использованием нити и цепей, проверили их устойчивость. Гипотеза подтверждена.

Данные модели можно использовать на уроках физики в качестве наглядного пособия при изучении темы «Равновесие», в школьном музее для демонстрации законов физики и для того, чтобы привлечь внимание учеников к изучению нового предмета, у которых данный предмет еще не ведётся.

Список используемой литературы

1. Большой Российский энциклопедический словарь. Научное издательство «Большая российская энциклопедия» М.: 2006г.
2. Концепция Тенсегрити – как наше тело приспосабливается к нагрузке. Режим доступа: <https://institut-osteopatii.ru/blog/tensegrity/>
3. Левитирующая подставка своими руками. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=9ESJ8aTHXIY>
4. Напряженная целостность: 6 архитектурных объектов, бросающих вызов гравитации. Режим доступа: <https://novate.ru/blogs/200323/65843/>
5. Самые удивительные примеры тенсегрити в дизайне. Режим доступа: <https://fishki.net/3527687-tensegriti-i-drugaja-samajaneobychnaja-nauchno-obosnovannaja-mebely.html>
6. Тенсегрити - Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тенсегрити>
7. Физика в действии: удивительная конструкция, части которой парят в воздухе. Режим доступа: https://www.maximonline.ru/guide/progress/_article/fizika-vdeistvii-udivitelnaya-konstrukciya-chasti-kotoroi-paryat-vvozdukh-video/

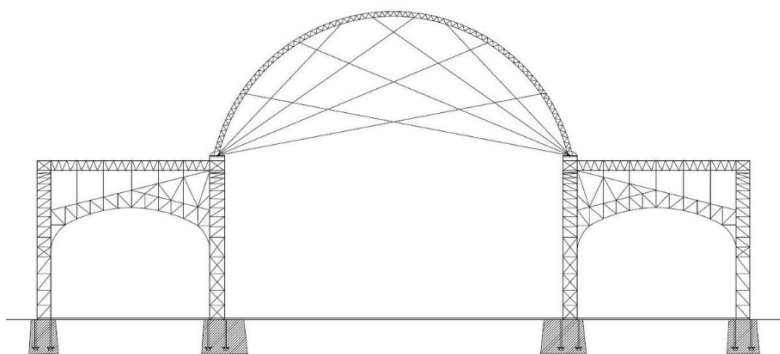


Рис. 1. Поперечный разрез Машинного отдела на выставке в Н. Новгороде, 1896 г. Д. Андреева.

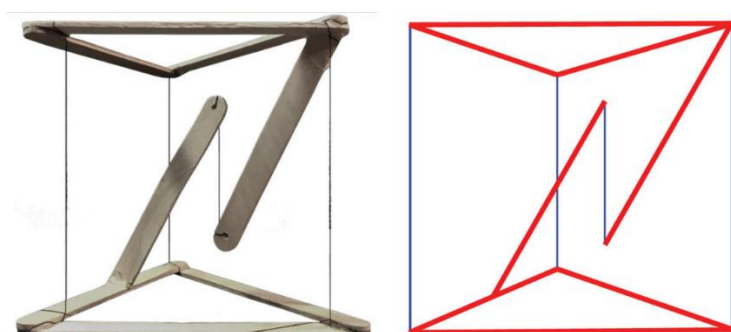


Рис. 2. Стержневая модель тенсегрити.



Рис. 3. Поверхностная модель тенсегрити

Таблица. 1. Сборка модели тенсигрити на нитях.

№	Фото	Описание
1.		<p>Вымеряем и распиливаем бруски необходимой длины.</p> <p>Сверлом 3 мм сверлим где будут проходить нитки и зенкуем. Для построения тенсегрити я использовала толстую нить. Продеваем нить и крепим саморезами. Затем нити нужно натянуть так чтобы получилось одинаковое расстояние слева и справа.</p>
2.		<p>Шкурим бруски.</p>
3.		<p>С помощью гвоздей соединяем брусочки.</p> <p>Шканты 8*30мм, сверлом 8мм соединим бруски 200мм и 100мм между собой.</p>
4.		<p>Соединим бруски 200мм и 100мм между собой, следом соединим центральные бруски 170 мм и боковые 150 мм. Следующим этапом будем соединять брусок на 200 мм с бруском на 170 мм по середине.</p>

5.		Следующим этапом крепим нити
6.		Собираем конструкцию.

**Рецензия на исследовательскую работу
ученика 9 «А» класса МБОУ СОШ №79**

Шубина Наталья

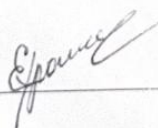
Для работы была выбрана тема «Тенсегрити». Тема рецензируемой работы достаточно *актуальна* в настоящее время. Данный проект посвящен изучению строительного принципа тенсегрити, основанного на использовании элементов, работающих на сжатие и растяжение. Проект рассматривает как теоретические аспекты, так и практическое применение тенсегрити в современных архитектурных и инженерных решениях. Кроме того, исследуются примеры успешных внедрений тенсегрити-структур, что позволяет выявить их преимущества, такие как легкость, прочность и эстетичность. В ходе проекта также будет представлена информация по сборке тенсегрити, выполненный эксперимент, и обсуждены перспективы применения данной работы.

Данная работа структурно выстроена правильно, логична, четко сформулированы цель и задачи. Содержание отвечает выбранной теме, которая раскрыта достаточно. Четко структурирована, грамотно изложена, прослеживается логическая связь между частями работы.

Работа отвечает выбранной теме, может использоваться в качестве обзорного факультативного материала на уроках физики в начальной и основной школе.

В работе ученик проявил исследовательские качества, самостоятельность в изучении большого объема специализированных источников информации, компьютерную грамотность в оформлении и создании презентации к защите.

Руководитель: _____



Храмова Е. В.