



Почему мост не падает, хотя под ним пустота

Как строители заставляют камень, сталь и воздух держать поезда



Технологии · 8–12 лет · 10 минут

Мост — это спор с гравитацией, который длится сто лет и который люди пока выигрывают. Куда уходит вес грузовика, почему арка держит, зачем мосту зазоры — и что случилось с мостом, который раскачал сам себя.

Странная штука под ногами

Ты идёшь по мосту, под тобой сто метров пустоты и река. Рядом проезжает грузовик весом с небольшой дом. Мост слегка вздрагивает — и всё.

Он стоит так шестьдесят лет. Зимой его стягивает мороз, летом печёт солнце, весной по реке идёт лёд. И он всё равно стоит.

Это не везение. Мост — результат расчёта, и правила в нём на удивление понятные. Главное правило звучит так: **вес никуда не девается**. Его можно только передать дальше — в опоры, а из опор в землю. Вся работа строителя мостов — придумать, по какой дороге вес пойдёт вниз.

Куда идёт вес

Положи линейку концами на две книжки и надави в середину. Линейка прогнётся.

Посмотри внимательно, что при этом с ней происходит. Снизу она **растягивается** — её волокна расходятся. Сверху **сжимается** — волокна сдавливаются друг с другом. Между ними есть слой, которому всё равно.

Это и есть балка — самый простой мост, бревно через ручей. Проблема у балки одна: чем она длиннее, тем сильнее прогибается. Удвой длину — и прогиб вырастет не вдвое, а в восемь раз. Поэтому просто «взять бревно подлиннее» не выйдет: своим собственным весом оно сломается раньше, чем ты на него ступишь.

Значит, нужно что-то похитрее.

Сжатие и растяжение

Два главных способа нагрузить материал. При **сжатии** его давят с двух сторон, при **растяжении** тянут в разные стороны. Материалы ведут себя по-разному: камень и бетон отлично держат сжатие, но легко трескаются при растяжении. Сталь одинаково хорошо терпит и то и другое, поэтому в бетон закладывают стальные прутья — арматуру.

Арка: древний и гениальный ход

Древние римляне не знали формул, но заметили простую вещь: если выложить камни дугой, мост держит гораздо больший вес.



Арка превращает давление сверху в упор в стороны

Работает это так. Груз давит на арку сверху. Камни арки не могут разойтись — они упираются друг в друга и передают давление вбок и вниз, по всей дуге, до самых берегов. В итоге камень нигде не растягивается, а **только сжимается**. А сжатие камень держит прекрасно.

У арки есть цена: она сильно распирает опоры в стороны. Поэтому у старых каменных мостов такие толстые быки и такие мощные основания на берегах — их задача не дать арке разъехаться.

Мост, которому две тысячи лет

Каменный мост Понте Фабричо в Риме построили в 62 году до нашей эры. По нему ходят до сих пор — уже больше двух тысяч лет, без единого стального прутка и без цемента в нашем понимании. Римляне строили с огромным запасом прочности: считать они не умели, поэтому делали «с большим перебором».

Треугольники, которые не складываются

Дальше людям понадобились мосты для поездов — длинные и очень прочные. Сплошная арка тут не годится, и придумали ферму — конструкцию из множества балок.



Треугольник — единственная фигура, которая не складывается

Секрет фермы — в треугольнике. Собери из четырёх палочек квадрат на болтах: толкни его — и он перекосятся в ромб. А треугольник

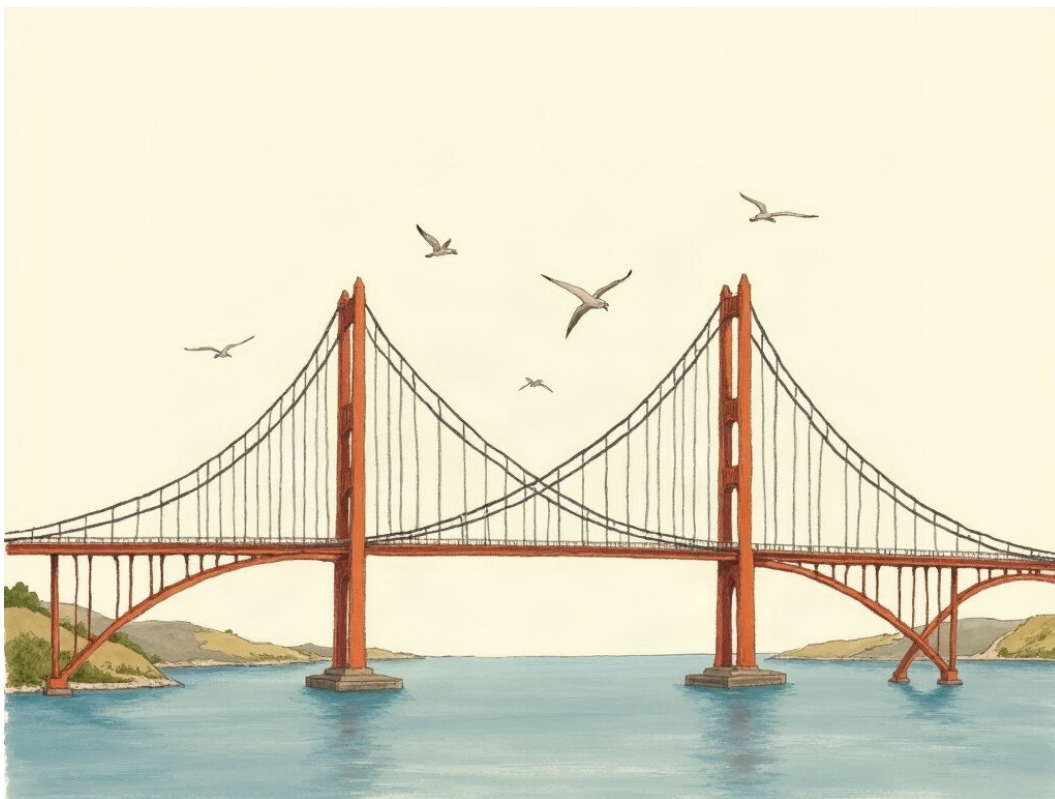
толкай сколько хочешь: чтобы он изменил форму, придётся укоротить или удлинить одну из сторон. Растянуть или сжать стальной стержень гораздо труднее, чем повернуть узел.

Треугольник — **единственная жёсткая фигура**, которую можно собрать на шарнирах.

Поэтому железнодорожные мосты выглядят как кружево из треугольников. В такой конструкции каждый стержень занят чем-то одним: либо его тянут, либо давят. Инженеру остаётся посчитать, какая палка сколько держит, и подобрать толщину. Металла уходит в разы меньше, чем на сплошную стену, а держит лучше.

Висячие мосты: дорога на верёвках

Когда нужно перекрыть километр воды, опоры ставить негде. Тогда мост **подвешивают**.



В висячем мосту дорога висит на тросах, а тросы тянут башни

Строят две высокие башни. Между ними перекидывают толстые стальные канаты, а концы канатов намертво закрепляют в огромных бетонных блоках на берегах. От главных канатов вниз спускаются тонкие тросы, и на них висит дорога.

Вес машины тянет тонкий трос вниз, тот тянет главный канат, канат передаёт усилие на башни, башни давят в землю. Вся конструкция работает на **растяжение**, а тянуть сталь можно очень сильно: стальной прут толщиной с палец выдерживает несколько легковых автомобилей.

Главные канаты собирают прямо на месте: специальная машина снуёт туда-сюда над пропастью, протягивая тонкие проволоки одну за другой, пока не наберётся жгут толщиной в обхват. В большом мосту таких проволок десятки тысяч, а их общая длина — сотни тысяч километров.

Враги моста: жара, мороз и ветер

Мост должен выстоять не только под грузовиками.

Температура. Металл на жаре удлиняется. Километровый стальной пролёт летом длиннее, чем зимой, на десятки сантиметров. Если мост зажать наглухо, он сам себя ломает. Поэтому в дорожном полотне делают деформационные швы — те самые гребёнки, на которых машина стучит колёсами. Стучит она не от плохого ремонта: так и задумано.

Ветер. Самая коварная штука. В 1940 году в Америке рухнул висячий мост через пролив Такома. Он был прочным — но слишком гибким и плоским. Произошло вот что: пролёт чуть-чуть повернулся вокруг своей оси, от этого поворота ветер обтекал его иначе и подкрутил ещё сильнее, тот повернулся круче — и так по нарастающей. Мост сам подхватывал собственное движение и раскачивал себя, пока не развалился. Инженеры называют это флаттером; ровно с ним же борются конструкторы крыльев самолётов. Люди успели уйти; погибла оставшаяся в машине собака.

После этой истории мосты стали продувать в аэродинамических трубах на моделях, а пролётам придавать обтекаемую форму, чтобы ветер их не раскачивал.

Мост из бумаги

Понадобится несколько листов А4, две одинаковые книжки и горсть монет.

1. Положи книжки на стол в двадцати сантиметрах друг от друга, а сверху — лист бумаги. Клади монеты на середину. Лист провиснет с одной-двух монет.
2. Сложи второй лист гармошкой с частыми сгибами и положи гармошку между книжек. Сверху накрой третьим листом и снова клади монеты.
3. Считай. Гармошка выдержит в десятки раз больше.

Ты ничего не добавил — бумага та же самая. Изменилась только форма: сгибы работают как рёбра, они не дают листу прогнуться. Ровно так же устроены гофрокартон, балки двутаврового сечения и обшивка самолётов.

Мост не «готов» никогда

Построить мост — половина дела. Дальше его всю жизнь осматривают: ищут трещины, проверяют болты и тросы, счищают ржавчину и красят.

На больших мостах ставят датчики, которые следят за колебаниями и наклоном и передают показания инженерам каждую секунду. У каждого моста есть паспорт с записью, сколько он может держать и что с ним делали за все годы.

Инженеры честно говорят: любой мост когда-нибудь придётся заменить. Вопрос только в том, когда — через пятьдесят лет или через сто пятьдесят.

Главное в трёх строчках

- Вес не исчезает: задача моста — передать его по конструкции в опоры и дальше в землю.

- Форма важнее количества материала: арка превращает всё в сжатие, ферма — в треугольники, висячий мост — в натянутые тросы.
- Мосты рассчитывают не только на грузовики, но и на жару, мороз и ветер, а потом всю жизнь проверяют.

Вопросы для размышления

- Почему старинные каменные мосты строили с толстенными опорами, а современные стальные — с тонкими?
- Зачем на мосту нужны стыки, из-за которых машина подпрыгивает, — разве не лучше сделать дорогу сплошной?
- Ровный несильный ветер сумел разрушить мост. Откуда взялась раскачка, если ветер дул без всяких толчков?