

Жюль-верновский силач и формула Эйлера

Вы помните у Жюля Верна силача-атлета Матифу? «Великолепная голова, пропорциональная исполинскому росту; грудь, похожая на кузнечный мех; ноги – как хорошие брёвна, руки – настоящие подъёмные краны. С кулаками, похожими на молоты...» Вероятно из подвигов этого силача, описанных в романе «Матиас Стандорф», вам памятен поразительный случай с судном «Трабоколо», когда наш гигант силой могучих рук задержал спуск целого корабля.

Вот как рассказывает романист об этом подвиге:

«Судно, освобождённое уже от подпорок, которые поддерживали его по бокам, было готово к спуску. Достаточно было отнять швартов, чтобы судно начало спускаться вниз. Уже с полдюжины плотников возились под килем судна. Зрители с живым любопытством следили за операцией. В этот момент, обогнув береговой выступ, появилась увеселительная яхта. Чтобы войти в порт, яхта должна была пройти перед верфью, где подготавливали спуск «Трабоколо», и, как только она подала сигнал, пришлось, во избежание всяких случайностей, задержать спуск, чтобы снова приняться за дело после прохода яхты в канал. Если бы суда, - одно, стоявшее поперёк, другое, подвигающееся с большой быстротой, - столкнулись, яхта погибла бы.

Рабочие перестали стучать молотками. Все взоры были устремлены на грациозное судно, белые паруса которого казались позолоченными в косых лучах Солнца. Скоро яхта очутилась как раз против верфи, где замерла тысячная толпа любопытных. Вдруг раздался крик ужаса: «Трабоколо» закачалось и пришло в движение в тот самый момент. Когда яхта повернулась к нему штирбортом! Оба судна готовы были столкнуться, не было ни времени, ни возможности помешать этому столкновению. «Трабоколо» быстро скользило вниз по наклону... Белый дымок, появившийся вследствие трения, закрутился перед его носом, тогда как корма погрузилась уже в воду бухты (судно спускалось кормой вперёд. – Я.П.).

Вдруг появился человек, схватывает швартов, висящий у передней части «Трабоколо», и старается удержать его, пригнувшись к земле. В одну минуту он наматывает швартов на вбитую в землю железную трубу и, рискуя быть раздавленным, держит с нечеловеческой силой в руках канат в продолжение 10 секунд. Наконец швартов обрывается. Но этих 10 секунд было достаточно: «Трабоколо», погрузившись в воду, только слегка задело яхту и пронеслось вперёд.

Яхта была спасена. Что касается человека, которому никто не успел даже прийти на помощь, - так быстро и неожиданно всё произошло, - то это был Матифу!»

Как бы изумился автор романа, если бы ему сказали, что для совершения подобного подвига не нужно вовсе быть великаном и обладать, как Матифу, «силою тигра». Каждый находчивый человек мог бы сделать то же самое!

Механика учит, что при скольжении каната, навитого на тумбу, сила трения достигает большой величины. Чем больше число оборотов каната, тем трение больше;

правило возрастания трения таково, что, с увеличением числа оборотов в прогрессии арифметической, трение растёт в прогрессии геометрической. Поэтому даже слабый ребёнок, держа за свободный конец каната, 3-4 раза навитого на неподвижный вал, может уравновесить огромную силу.

На речных пароходных пристанях подростки останавливают этим приёмом подходящие к пристаням пароходы с сотней пассажиров. Помогает им не феноменальная сила их рук, а трение верёвки о сваю.

Знаменитый математик XVIII века Эйлер установил зависимость силы трения от числа оборотов верёвки вокруг сваи. Для тех, кого не пугает сжатый язык алгебраических выражений, приводим эту поучительную формулу Эйлера:

$$F = fe^{k\alpha}$$

Здесь F - та сила, против которой направлено наше усилие f . Буквой e обозначено число 2,718... (основание натуральных логарифмов), k - коэффициент трения между канатом и тумбой. Буквой α обозначен «угол навивания», т. е. отношение длины дуги, охваченной верёвкой, к радиусу этой дуги.

Применим формулу к тому случаю, который описан у Жюль Верна. Результат получится поразительный. Силой F в данном случае является сила тяги судна, скользящего по доку. Вес судна из романа известен: 50 тонн. Пусть наклон стапеля 1/10; тогда на канат действовал не полный вес судна, а 1/10 его, т. е. 5 тонн, или 5000кг.

Далее, величину k - коэффициента трения каната о железную тумбу - будем считать равной 1/3. Величину α легко определим, если примем, что Матифу обвил канат вокруг тумбы всего три раза. Тогда

$$\alpha = (3 \times 2\pi)/r = 6\pi;$$

подставив все эти значения в приведённую выше формулу Эйлера, получим уравнение

$$5000 = f \cdot 2,76^{6\pi \cdot 1/3} = f \cdot 2,72^{2\pi}.$$

Неизвестное f (т. е. величину необходимого усилия) можно определить из этого уравнения, прибегнув к помощи логарифмов:

$$\lg 5000 = \lg f + 2\pi \lg 2,72, \text{ откуда } f = 9,3 \text{ кг.}$$

Итак, чтобы совершить подвиг, великану достаточно было тянуть канат с силой всего лишь 10 килограммов!

Не думайте, что эта цифра - 10кг - только теоретическая и что на деле потребуется усилие гораздо большее. Напротив, наш результат даже преувеличен: при пеньковой верёвке и деревянной свае, когда коэффициент трения k больше, усилие потребуется до смешного ничтожное. Лишь бы верёвка была достаточно крепка и могла выдержать натяжение, - тогда даже слабый ребёнок мог бы, навив верёвку 3-4 раза, не только повторить подвиг жюль-верновского богатыря, но и превзойти его.

(Я.И. Перельман, *Занимательная физика*, кн. 2, 1916)