



В. Ф. Очков, Ю. В. Чудова, К. Г. Гаджиев,
 Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

ИЗОБРЕТАЕМ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВЕЛОСИПЕДА

Аннотация

В статье рассказано, как можно анимировать работу трехскоростного велосипеда и о том, как на основе этой задачи можно провести занятие в школе и вузе по технологии STEM.

Ключевые слова: велосипед, цепная передача, Mathcad, анимация, форум пользователей Mathcad.

DOI: 10.32517/2221-1993-2019-18-7-57-62

Название статьи — это идиома, которую употребляют, когда хотят сказать, что кто-то пытается выдумать что-то, уже давно известное, изобрести что-то, давно изобретенное. Мы в этой статье этим, естественно, заниматься не будем — мы разработаем простейшую математическую модель байка* и анимируем ее. Но создадим модель не всего велосипеда, а только его самой интересной с точки зрения кинематики части — механизма переключения скоростей.

Задача.

Человек вращает педали велосипеда со скоростью один оборот (*rev*) в секунду (*s*). Спрашивается: какова будет скорость велосипеда, если радиус *R* передней, ведущей звездочки, на которую накинута велосипедная цепь, равен 12 см, а к заднему колесу прикреплены три ведомые звездочки радиусом 3, 4 и 5 см, и эти «скорости»** будут переключаться? Диаметр заднего колеса *D* равен 26 дюймов***.

* Это слово уже давно не нужно помещать в кавычки. В среде тинейджеров (еще один англицизм) велосипед называют велосипедом только какие-нибудь закоренелые «ботаники». Байк — он и есть байк!

** А у этого слова кавычки убирать не следует. Слово «скорости» применительно к велосипеду или автомобилю — это «арго». Правильно следует говорить: «передачи».

*** Весь мир уже давно перешел на СИ, но в технике по-прежнему широко используются англо-американские единицы измерения. В частности, диаметры колес автомобилей, мотоциклов и велосипедов, как правило, измеряются в дюймах. Диаметры труб, которые часто идут на изготовление рамы велосипеда, тоже оцениваются в дюймах. Диагонали телевизоров и дис-

Эти и другие вспомогательные данные на рисунке 1 вводятся в Mathcad-расчет.

Исходные данные велосипеда	
Передняя звездочка и педали	
$R := 12 \text{ cm}$	$\varphi_p := 1 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$
Заднее колесо с тремя звездочками	
$D := 26 \text{ in} = 66.04 \text{ cm}$	$r := \begin{pmatrix} 5 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix} \text{ cm}$
Расстояние между осями $h := 100 \text{ cm}$	
Кадр анимации - от 0 до 720	FRAME := 720
Угол поворота педалей	$\theta_1 := 2\text{FRAME}^\circ = 1440^\circ$

Рис. 1. Ввод исходных данных проектируемого велосипеда

На рисунке 1 значения радиусов звездочек заднего колеса (а это и есть центральный механизм переключе-

плев компьютеров (экранов планшетов и смартфонов) также более привычно мерить дюймами. Из-за этого в инженерные расчеты могут вкрадываться ошибки, если не делать правильные пересчеты. Пакет Mathcad это производит автоматически, храня в своих недрах все величины только в базовых единицах международной системы исчислений СИ. Но вводить и выводить значения переменных можно в любых единицах. В машиностроении принято все измерять миллиметрами, но в нашем расчете фигурируют и дюймы, и сантиметры. Не беда! Пакет Mathcad все переведет в метры — в основную единицу длины. Подобные пересчеты делаются и с угловой скоростью: мы вводим обороты в секунду, а будем работать с «правильными» радианами в секунду.

Контактная информация

Очков Валерий Федорович, доктор тех. наук, профессор, профессор кафедры теоретических основ теплотехники, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва; адрес: 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14; e-mail: ochkov@tw.t.mpei.ac.ru

Чудова Юлия Владимировна, ассистент кафедры теоретических основ теплотехники, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва; адрес: 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14; e-mail: ChudovaYV@mpei.ru

Гаджиев Камилль Гаджиевич, канд. тех. наук, зав. кафедрой основ конструирования машин, Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва; адрес: 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14; e-mail: GajiyevKG@mpei.ru

V. F. Ochkov, Yu. V. Chudova, K. G. Gajiyev,
 National Research University MPEI, Moscow

INVENTING A DIGITAL TWIN BIKE

Abstract

The article describes how to animate the work of a three-speed bicycle and how, based on this problem, you can have a lesson in school and university using STEM technology.

Keywords: bicycle, chain gear, Mathcad, animation, Mathcad user forum.

чения скоростей велосипеда) задан в виде вектора rv , который может иметь не только три (обычный городской велосипед), но и большее число элементов — семь*, например, как у горных велосипедов (маунтинбайков). У такого велосипеда, как правило, три ведущие звездочки около педалей. В этом случае радиусы таких звездочек тоже нужно будет задавать не скаляром R , а вектором Rv с тремя элементами. Реально же скоростей (вернее, передач) у такого велосипеда не двадцать одна ($7 \cdot 3$), а поменьше, так как не все сочетания звездочек можно использовать на практике. У некоторых «продвинутых» многоскоростных велосипедов неразумные сочетания звездочек заблокированы, а управление ими ведется не двумя отдельными рычагами, а одним устройством, на котором прописаны возможные передачи. В последнее время получили распространение компактные велосипеды с колесами сверхмалого диаметра и с дополнительной парой звездочек разного диаметра в трансмиссии с двумя цепями. Это обеспечивает приемлемую скорость движения такого мини-байка. Были попытки создания велосипедов с автоматической коробкой передач, с неким вариатором, поддерживающим постоянство скорости вращения педалей при меняющихся скоростях движения велосипеда. Но это оказалось излишним, так как тяговые характеристики человеческих ног намного универсальнее тяговых характеристик двигателей внутреннего сгорания**. Более того, такие автоматические вариаторы существенно утяжеляли велосипед, и от них в конце концов отказались, оставив привычные звездочки с накинута на них цепью. Стоит также упомянуть велосипеды с планетарной коробкой передач, спрятанной во втулке заднего колеса***. Изредка встречаются также экзотические велосипеды с карданом вместо цепи****. Читатель при желании может смоделиро-

вать и «санимировать» подобные механизмы, опираясь на методы, описанные в данной статье. Мы же сейчас отметим только то, что есть велосипеды с зубчатым ремнем вместо цепи.

Дело в том, что в нашей модели трансмиссии велосипеда мы будем иметь дело не с цепью, а с неким тонким ремнем с бесконечным числом зубьев****. Цепная передача — это фактически зубчатая передача, у которой две шестеренки***** разнесены друг от друга на определенное расстояние*****. Величину этого «разноса» в нашем расчете будет хранить переменная h (см. рис. 1).

Расчет зубчатой передачи — это очень интересная задача науки и учебной дисциплины под названием «Основы конструирования машин» (ОКМ). Читатели с высшим техническим образованием могут вспомнить, как они выполняли курсовой проект, связанный с расчетом редуктора с зубчатой или червячной передачей. Расчеты такого плана в настоящее время ведутся, как правило, только на компьютерах.

Но вернемся к нашему трехскоростному велосипеду — к его расчету, а также к его анимации, у которой будет 721 кадр. В среде Mathcad 15 под счетчик кадров зарезервирована встроенная системная переменная с именем $FRAME$, значение которой у нас будет меняться от 0 до 720 (см. рис. 4 ниже). При этом педали велосипеда сделают четыре оборота, во время выполнения которых попеременно будут задействованы все три передачи — см. первый оператор на рисунке 2. Переменная θ , хранит текущий угол поворота педалей, который будет меняться в диапазоне от 0 до 1440 градусов (четыре оборота). Вначале (до 480°) включена третья передача ($i = 3$), затем (до 960°) — вторая ($i = 2$) и в конце — первая ($i = 1$): человек на велосипеде как бы берет крутой подъем и включает нужные скорости.

Определить скорость велосипеда V несложно — см. простые формулы на четвертой и пятой строках расчета на рисунке 2. Сложнее анимировать «мельканье» спиц велосипеда при его движении. В среде Mathcad спицу (отрезок прямой линии) можно нарисовать на графике с помощью пары векторов, хранящих координаты начала и конца отрезков прямых линий. У педальной (p) звездочки мы рисуем четыре крестообразные «спицы» через

* Семь (как, впрочем, и три) — это некое сакральное число. Почему в этой сборке именно семь, а не шесть или восемь звездочек? А потому, что у нас есть... семь древних мудрецов, семь чудес света, семь дней недели, семь цветов радуги, семь нот в звукоряде, семь банкнот рублей, долларов и евро и т. д. Другого разумного объяснения тут мы вряд ли найдем! Но выбор числа звездочек и их диаметра — это сложная задача оптимизации.

** Сейчас на автомобилях и велосипедах получают широкое распространение электромоторы с аккумуляторами и электронными системами управления, которые позволяют отказаться от коробок передач. Очень популярны и гибридные автомашины, у которых попеременно или одновременно работают и электромотор, и бензиновый двигатель. Были времена, когда на обычные велосипеды устанавливали небольшие двигатели внутреннего сгорания. Это были тоже гибридные устройства, так как при старте человеку приходилось помогать движку, нажимая на педали. Иначе двигатель заглох бы на малых оборотах — не было у таких мотовелосипедов (мопедов) коробок передач.

*** Такие велосипеды предпочитают люди, привыкшие к ножному тормозу. Хотя есть велосипеды с коробкой передач во втулке заднего колеса без ножного тормоза. В интернете можно найти чертежи и анимацию работы такой коробки передач. В ней шестеренки вращаются не только вокруг своей оси, но и вокруг центрального зубчатого колеса, как планеты вокруг Солнца. Отсюда и пошло название этого механизма.

**** Карданом этот вал называют по аналогии с таким же устройством у автомобилей. Но у велосипедов это никакой не кардан, а просто некий вал, передающий крутящий момент от педалей к колесу. Кардан — это довольно сложный механизм с крестовиной посередине, обеспечивающий передачу крутящего

момента при изменении угла взаиморасположения двух отдельных валов. Кардан на автомобилях стали применять тогда, когда появился подрессоренный задний мост. Кстати, расчет и анимирование рессор, пружин и амортизаторов автомобилей, мотоциклов и велосипедов — это еще одна интересная задача, требующая, в частности, привлечения аппарата решения дифференциальных уравнений.

***** На старинных фотографиях заводов и фабрик можно видеть, как через весь цех под потолком проходит вал со шкивами. От этих шкивов с помощью ремней передавали крутящий момент станкам — прядильным, ткацким, токарным... На шкивы разного диаметра с помощью специальных устройств накидывали ремни, выбирая нужную скорость вращения. Вспомним наш велосипед с подобными механизмами! Первоначально усилие на такие заводские валы передавались от ветряных или водяных мельниц. Затем их заменили паровыми машинами. Но в конце концов победителем тут стал индивидуальный электродвигатель с коробкой передач.

***** Еще одна своеобразная идиома: у шестеренки не обязательно шесть зубьев. Идиома, напомним, — это устоявшееся выражение, потерявшее свой буквальный смысл.

***** Педали жестко связаны с ведущим колесом у трехколесных детских и у старинных взрослых паукообразных велосипедов.

Определяем номер передачи
 $i := \text{if}(0^\circ < \theta_t \leq 480^\circ, 3, \text{if}(480^\circ < \theta_t \leq 960^\circ, 2, 1)) = 1$

Текущая звездочка $r := r_i = 50 \text{ mm}$

Угловая скорость колеса $\varphi_w := \varphi_p \frac{R}{r} = 2.4 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$

Линейная скорость велосипеда $V := \frac{D}{2} \varphi_w = 17.925 \text{ kph}$

Рисуем четыре «спицы» передней звездочки и педали

$$xp_1 := \begin{pmatrix} 2R \cos(\theta_t) \\ 2R \cos(\theta_t - \pi) \end{pmatrix} \quad yp_1 := \begin{pmatrix} 2R \sin(\theta_t) \\ 2R \sin(\theta_t - \pi) \end{pmatrix}$$

$$xp_2 := \begin{pmatrix} R \cos(\theta_t - \frac{\pi}{2}) \\ R \cos(\theta_t - \pi - \frac{\pi}{2}) \end{pmatrix} \quad yp_2 := \begin{pmatrix} R \sin(\theta_t - \frac{\pi}{2}) \\ R \sin(\theta_t - \pi - \frac{\pi}{2}) \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Операторы создания четырех виртуальных «спиц» (двух диаметров) передней звездочки велосипеда

формирование векторов x_{p1} , y_{p1} , x_{p2} и y_{p2} , значения которых зависят от константы R и переменной θ_t . Вот тут-то и пригодятся нам школьные знания тригонометрии!

Аналогичные тригонометрические формулы используются и при подготовке к анимации заднего колеса (рис. 3).

Рисуем восемь спиц заднего колеса

$$xw_1 := \begin{pmatrix} \frac{D}{2} \cos(\theta_{1t}) \\ \frac{D}{2} \cos(\theta_{1t} - \pi) \end{pmatrix} - h \quad yw_1 := \begin{pmatrix} \frac{D}{2} \sin(\theta_{1t}) \\ \frac{D}{2} \sin(\theta_{1t} - \pi) \end{pmatrix}$$

$$xw_2 := \begin{pmatrix} \frac{D}{2} \cos(\theta_{1t} + \frac{\pi}{2}) \\ \frac{D}{2} \cos(\theta_{1t} - \pi + \frac{\pi}{2}) \end{pmatrix} - h \quad yw_2 := \begin{pmatrix} \frac{D}{2} \sin(\theta_{1t} + \frac{\pi}{2}) \\ \frac{D}{2} \sin(\theta_{1t} - \pi + \frac{\pi}{2}) \end{pmatrix}$$

$$xw_3 := \begin{pmatrix} \frac{D}{2} \cos(\theta_{1t} - \frac{\pi}{4}) \\ \frac{D}{2} \cos(\theta_{1t} - \pi - \frac{\pi}{4}) \end{pmatrix} - h \quad yw_3 := \begin{pmatrix} \frac{D}{2} \sin(\theta_{1t} - \frac{\pi}{4}) \\ \frac{D}{2} \sin(\theta_{1t} - \pi - \frac{\pi}{4}) \end{pmatrix}$$

$$xw_4 := \begin{pmatrix} \frac{D}{2} \cos(\theta_{1t} + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4}) \\ \frac{D}{2} \cos(\theta_{1t} - \pi + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4}) \end{pmatrix} - h \quad yw_4 := \begin{pmatrix} \frac{D}{2} \sin(\theta_{1t} + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4}) \\ \frac{D}{2} \sin(\theta_{1t} - \pi + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4}) \end{pmatrix}$$

Рис. 3. Операторы создания восьми виртуальных «спиц» (четырёх диаметров) заднего колеса велосипеда

Восемь спиц, конечно, маловато для велосипедного колеса, но будем считать, что это колесо у нас литое, без спиц. Такие «крутые» колеса нередко можно видеть у современных велосипедов. И, наоборот, на «крутых тачках» — на особых спортивных автомобилях — встречаются колеса со спицами. На заре автомобилестроения, кстати, почти все колеса были со спицами.

Примечание. Сборка или ремонт велосипедного колеса со спицами — это целая наука и искусство. Требуется это сделать так, чтобы не было осевых и радиальных биений. Для этого специальным ключом регулируют длину «левых» и «правых» спиц, чтобы не было «восьмерок» и прочих «заскоков». Подобным образом, но с помощью компьютера проводят балансировку и автомобильных колес после сезонной смены резины или ремонта после прокола. Об этой операции (совмещение

оси колеса с его центром тяжести) можно прочесть в нашей статье [4].

Прежде чем анимировать вращение педалей и заднего колеса велосипеда, нужно все это нарисовать на графике. А на каком? В среде Mathcad есть два основных типа плоских графиков — декартов график и полярный график. Они оба годятся для рисования велосипеда: на полярном графике проще рисовать все округлые детали (колеса, звездочки, крылья и др.), а на декартовом — раму и другие «угловые» части. Более универсальным является декартов график, и мы его будем использовать при создании анимации велосипеда.

Началом координат у нас будет центр звездочки с педалями. Нарисовать ее на графике несложно, используя так называемый параметрический график, когда в качестве абсциссы графика используется выражение $R \cdot \sin(\theta)$, а в качестве ординаты — $R \cdot \cos(\theta)$, где θ — это параметр, переменная области, хранящая значения от 0 до 360 угловых градусов с единичным шагом. Подобные же выражения задействованы для рисования заднего колеса и трех «скоростных» звездочек, с той лишь разницей, что подставляются другие значения радиусов и все это сдвинуто влево на величину h .

Чтобы нарисовать движущиеся по кругу спицы, достаточно в графике добавить отрезки прямых с координатами-векторами x_p , y_p , x_w и y_w (см. рис. 2, 3). Верхние и нижние свободно висящие части цепи рисуются упрощенно: верхние и нижние точки соответствующих звездочек соединяются отрезками прямых линий. Читатель при желании может убрать это допущение, прикрепив цепь в более правильных точках на звездочках и учтя ее провисание [3, 5, 6]. Вот хорошая задача для решения на компьютере: даны две непересекающиеся окружности/звездочки, на которые навешена замкнутая цепь; нарисовать все это для двух случаев — велосипед едет (нижняя часть цепи провисает) и велосипед тормозит (верхняя часть цепи провисает). Кстати, правильное натяжение цепи при установке заднего колеса — это очень важная операция по сервисному обслуживанию велосипеда.

Когда график будет готов, можно приступить к его анимации, вызвав соответствующее диалоговое окно из меню **Инструменты** (рис. 4) [1].

Мы ведем обратный счет кадров анимации от 720-го до нулевого, чтобы педали и колеса нашего велосипеда вращались в нужную сторону — по часовой стрелке*.

На рисунке 5 показаны три кадра анимации цепной передачи велосипеда с попеременно включенными тремя скоростями. Сама анимация, а также Mathcad-расчет размещены на сайте по адресу: <https://community.ptc.com/t5/PTC-Mathcad/Vike-трехскоростная-цепная-передача-велосипеда/td-p/450423>

* Был такой советский фильм, над которым смеялись все велогонщики. В нем рассказывалось о некоем изобретателе, который придумал велосипед, где при движении можно переключать направление вращения педалей. Мол, одна группа мышц велогонщика устала — меняем направление вращения и работаем другой группой мышц. Но дело в том, что в гоночном (не в обычном) велосипеде ноги гонщика связаны с педалями так, что одна нога толкает одну педаль вниз, а другая — тянет вторую педаль вверх. И эти усилия меняются местами каждые полоборота.

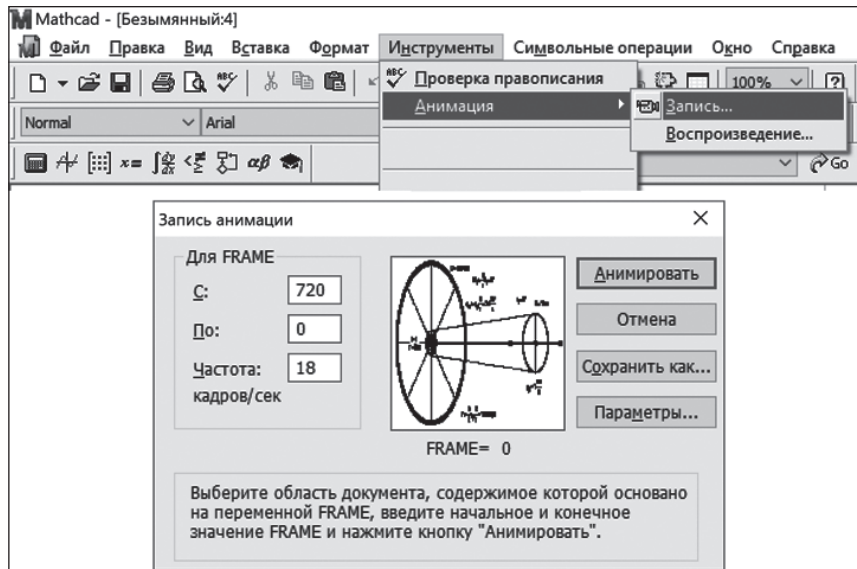


Рис. 4. Диалоговое окно создания анимации в среде Mathcad 15

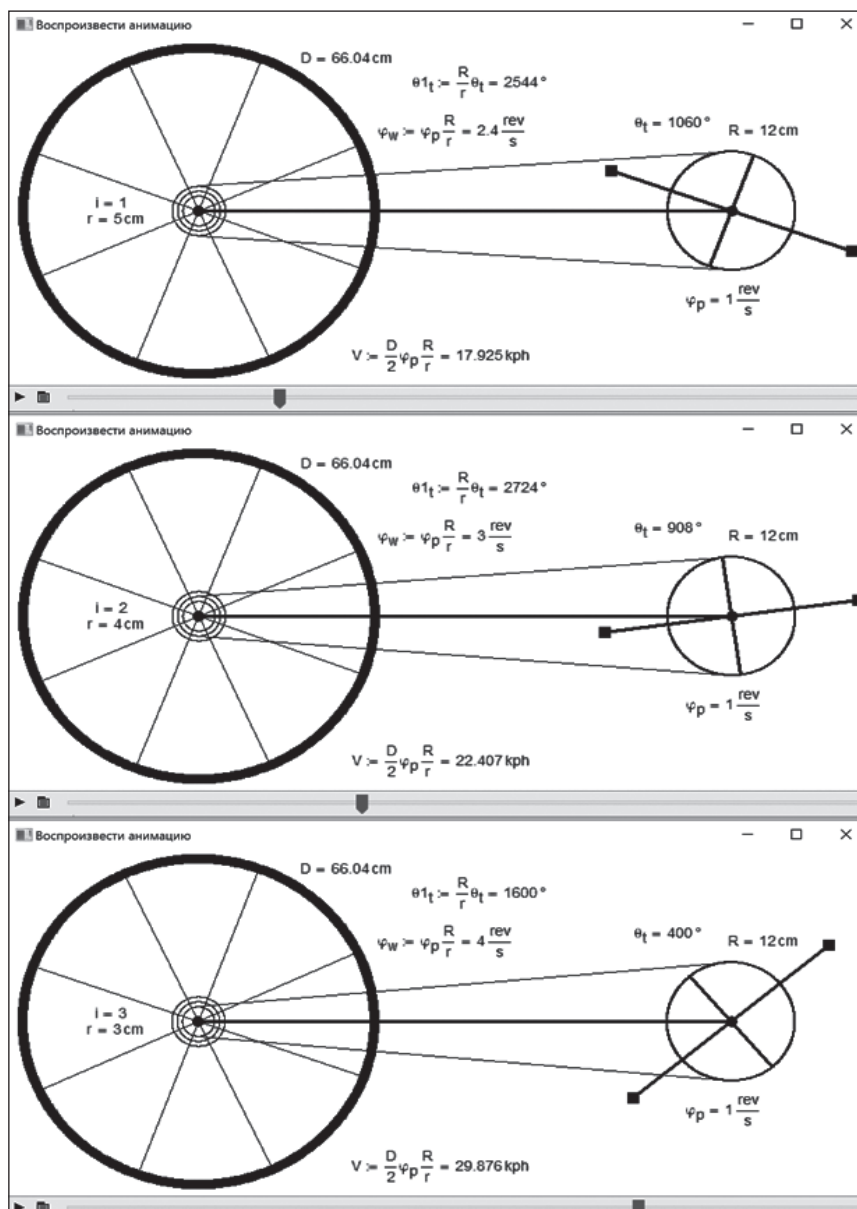


Рис. 5. Три кадра анимации вращения педалей и заднего колеса трехскоростного велосипеда

Но главное упрощение в анимации, кадры которой показаны на рисунке 5, в том, что не показаны две дополнительные звездочки, выполняющие две функции. Во-первых, они натягивают цепь и, во-вторых, перекидывают цепь со звездочки на звездочку при переключении передач (рис. 6).



Рис. 6. Фото механизма переключения скоростей современного велосипеда

Предлагаем читателям дополнить анимацию, показанную на рисунке 5, в следующих направлениях:

- 1) Дорисовать две звездочки механизма натяжения цепи и переключения скоростей (рис. 6).
- 2) Нарисовать цепь так, чтобы был виден ее прогиб сверху и снизу и были правильно зафиксированы точки касания цепью всех звездочек.
- 3) На втулке заднего колеса прикрепить не три, а семь звездочек, а у педалей — три. Создать анимацию переключения скоростей такого велосипеда с ограничениями, отмеченными выше.
- 4) Решить не только задачу кинематики, но и задачу статики: задать силы, с какими велосипедист жмет на педали, и рассчитать силы, какие действуют на цепь и на дорогу при сцеплении ее с дорогой.
- 5) Решить не только задачу кинематики и статики, но и задачу динамики: определить, как будет меняться скорость велосипеда, если его толкать с силой, определенной в п. 4.

Цепь, вернее, цепная линия может быть связана с велосипедом самым неожиданным образом. На рисунке 7 показан трехколесный велосипед с... квадратными колесами. Условием того, что такой велосипед будет



Рис. 7. Велосипед с квадратными колесами

перемещаться без вертикальных толчков, является то, что велодорожка выполнена в виде стиральной доски, у которой «волны» описаны... цепной функцией [3, 5, 6]. Предлагаем читателям анимировать движение такого велосипеда. А заодно доказать с помощью символической математики пакета Mathcad, что под велосипедом с квадратными колесами должны быть отрезки перевернутой цепи. Открытый вопрос: как будет изменяться во времени скорость велосипеда, катящегося по волнообразной, точнее, цепнообразной (если так можно выразиться) дорожке при постоянной скорости вращения педалей? А если колеса велосипеда сделать не квадратными, а прямоугольными, треугольными или даже «двуугольными», сделанными в виде штока с осью посередине? Какой профиль должен быть у велодорожки, чтобы по ней можно было ехать без вертикальных толчков? Наше круглое колесо — это по своей сути правильный выпуклый многоугольник с бесконечным числом углов!

Ответы на эти вопросы были получены так. Вопросы были вывешены на сайте: <https://community.ptc.com/t5/PTC-Mathcad/Bike-and-Catenary/td-p/614226>, а посетителей сайта подзадорили словами «Слабо решить!» Посетитель сайта Вернер Эксингер (Werner Exinger) из Австрии не только ответил на эти вопросы, но и сделал анимацию и построил графики изменения скорости такого экстравагантного велосипеда.

Это сравнительно новый способ решения задачи на компьютере: задача помещается на специализированном форуме с просьбой ко всем решить ее. Так даже можно решать и учебные задачи [7]. Главное тут не обманывать форумчан, а честно сказать, что вот-де задали мне в школе или университете задачку, а я никак не могу ее решить. Тут хорошим решением может быть простое указание на сайты интернета с подсказками.

А теперь немного истории.

Программу Mathcad создал в 1985 году выпускник Массачусетского технологического института, физик-ядерщик Аллен Раздоу (Allen Razdow). Это был довольно успешный стартап, который в 2006 году за большие деньги приобрела корпорация PTC (www.ptc.com). Зачем она это сделала? Основным программным продуктом корпорации PTC была и остается система Creo, которая до ребрендинга называлась Pro/Engineer. Эта программа, наряду с программами AutoCAD и SolidWorks*, является основным инструментом для автоматизированного проектирования (САПР, CAD — Computer Aided Design). Программе Creo (Pro/Engineer) очень не хватало инструмента для инженерных расчетов проектируемых изделий. На фирме не стали «изобретать велосипед» — создавать свою собственную программу для расчетов, а приобрели довольно успешную к тому времени программу Mathcad. В настоящее время программы Mathcad и Creo работают в связке: в среде Mathcad ведутся довольно сложные расчеты, результаты которых передаются в среду Creo, где определяются параметры будущего изделия.

* Следует подчеркнуть, что все эти три кита САПР (Creo, AutoCAD и SolidWorks) были созданы выходцами из Советского Союза, который долго был лидером в этой области ИТ. Но потом наступил застой, и эти люди по разным причинам не смогли реализовать себя на родине, уехали за океан и там воплотили свои идеи. Увы, типичная печальная история. А может, наоборот, — история со счастливым концом.

Мы, например, в случае с велосипедом можем в среде Mathcad задать желаемую скорость велосипеда и другие его потребительские качества, рассчитать все параметры велосипеда и передать эти данные в среду Creo, где проектирование велосипеда будет завершено: будет создана его трехмерная модель с детализацией и с технической документацией на изготовление и сервисное обслуживание.

Так что наш небольшой расчетный велосипедный этюд — это миниатюрная копия большого проекта. В [7] можно почитать, как с помощью Mathcad проектировались и анимировались дверь автобуса и самокат с самозакрывающимися колесами.

И последнее.

Данная статья — это по своей сути некий готовый сценарий проведения занятия по технологии STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematic), на котором охватываются разные учебные дисциплины: математика, физика, теоретическая механика, сопротивление материалов, основы конструирования машин, история техники и даже... политология — см. последнюю сноску. Ну и, конечно, информатика [2].

Список использованных источников

1. *Очков В. Ф.* Живые кинематические схемы в Mathcad // Открытое образование. 2013. № 3. С. 27–33. <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/Mathcad-15/kinematic.html>
2. *Очков В. Ф., Богомолова Е. П., Иванов Д. А.* Физико-математические этюды с Mathcad и Интернет. М.: Лань, 2016. 388 с.
3. *Очков В. Ф., Горбунова Е., Камалов М., Каршина Е., Попова К., Рыбникова В., Сокунов Д.* Цепная линия = физика + математика + информатика // Информатика в школе. 2018. № 3. С. 56–63. <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/catenary.pdf>
4. *Очков В. Ф., Кольхепи Ф.* Физика и информатика: центр тяжести черного ящика // Информатика в школе. 2017. № 7. С. 65–70. <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/Center-Gravity.pdf>
5. *Очков В. Ф., Нори М., Очкова Н. А.* Физико-математическая информатика с цепочкой // Cloud of Science. 2019. Т. 6. № 1. С. 5–47. https://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_21_005.pdf
6. *Очков В. Ф., Цуриков Г. Н., Чудова Ю. В.* Осторожно: цепная функция // Информатика в школе. 2017. № 4. С. 58–62. <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/Chain.pdf>
7. *Очков В. Ф., Чудов В. Л., Соколов А. В.* Использование форума РТС Community/Mathcad на школьных занятиях по информатике // Информатика в школе. 2015. № 10. С. 46–51. <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/RTC-Community-Lyc.pdf>

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Уважаемые коллеги!

Статьи для публикации в журналах «Информатика и образование» и «Информатика в школе» должны отправляться в редакцию **только через электронную форму на сайте ИНФО (раздел «Авторам → Отправка статьи»):**

<http://infojournal.ru/authors/send-article/>

Обращаем ваше внимание, что для отправки статьи необходимо предварительно зарегистрироваться на сайте ИНФО (или авторизоваться — для зарегистрированных пользователей).

С требованиями к оформлению представляемых для публикации материалов можно ознакомиться на сайте ИНФО в разделе **«Авторам»:**

<http://infojournal.ru/authors/>

Дополнительную информацию можно получить в разделе **«Авторам → Часто задаваемые вопросы»:**

<http://infojournal.ru/authors/faq/>

а также в редакции ИНФО:

e-mail: readinfo@infojournal.ru

телефон: (495) 140-19-86

Уважаемые авторы и читатели!

Издательство «Образование и Информатика» объявляет о проведении конкурса цифровых изображений и фотографий, которые будут размещены на обложке журнала «Информатика в школе» в первом полугодии 2020 года.

Подробности — на сайте издательства «Образование и Информатика»: <http://www.infojournal.ru/>