

MAPLE В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ: МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ КРИВЫХ

А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева, Е. Д. Пономарева

Синельщиков Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (927) 282-62-11; e-mail: laex@bk.ru;

Пономарева Елена Владимировна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общинженерных дисциплин и наземного транспорта, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (927) 566-50-32; e-mail: acmрах@rambler.ru;

Пономарева Елена Дмитриевна, студент, Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 182-47-33; e-mail: elponedu@gmail.com

Рассматривается методика применения пакета Maple для моделирования механизмов воспроизведения кривых в инженерном образовании. В отличие от традиционных методов, не обладающих наглядностью, и САПР-систем, работающих как «черный ящик», предложенный подход основан на интеграции символьных вычислений и интерактивной визуализации. Научная новизна заключается в создании «прозрачной» дидактической среды, где студент может отследить прямую связь между параметрами математической модели и поведением механизма. На примерах рычажных и планетарных механизмов показано создание в Maple виртуальных моделей для анализа кинематики. Результаты подтверждают, что методология повышает наглядность обучения, углубляет концептуальное понимание механики и развивает навыки математического моделирования у будущих инженеров.

Ключевые слова: механизмы, воспроизведение кривых, теоретическая механика, компьютерное моделирование, Maple, инженерное образование, математическое моделирование, учебный процесс, интерактивное обучение, техническое образование.

MECHANISMS FOR CURVE REPRODUCTION: A REVIEW, CLASSIFICATION, AND DEVELOPMENT PROSPECTS

A. V. Sinelshchikov, Ye. V. Ponomareva, Ye. D. Ponomareva

Sinelshchikov Aleksey Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Information Technologies Department, Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (927) 282-62-11; e-mail: laex@bk.ru;

Ponomareva Yelena Vladimirovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the General Engineering Disciplines and Ground Transportation Department, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (927) 566-50-32; e-mail: acmpax@rambler.ru;

Ponomareva Yelena Dmitriyevna, student, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (917) 182-47-33; e-mail: elponedu@gmail.com

This paper examines a methodology for applying the Maple software package to model curve reproduction mechanisms in engineering education. In contrast to traditional methods, which lack visual clarity, and CAD systems that operate as 'black boxes,' the proposed approach is based on the integration of symbolic computation and interactive visualization. The scientific novelty lies in the creation of a 'transparent-box' didactic environment where students can trace the direct link between the parameters of a mathematical model and the mechanism's actual behavior. The creation of virtual models in Maple for kinematic analysis is demonstrated using examples of lever and planetary mechanisms. The results confirm that this methodology enhances visual learning, deepens the conceptual understanding of mechanics, and develops mathematical modeling skills in prospective engineers.

Keywords: mechanisms, curve reproduction, theoretical mechanics, computer simulation, Maple, engineering education, mathematical modeling, educational process, interactive learning, technical education.

Введение (Introduction)

В современном инженерном образовании подготовка высококвалифицированных специалистов, способных решать сложные технические задачи, является приоритетной целью. Одним из ключевых аспектов этой подготовки выступает глубокое понимание фундаментальных принципов механики, в частности, кинематики и динамики механизмов. Среди многообразия механиче-

ских систем механизмы для воспроизведения кривых (МВК) [1–4] занимают особое место, демонстрируя широкий спектр применения в различных отраслях промышленности, медицины, робототехники [5–7] и даже искусства. Воспроизведение кривых, как процесс формирования заданных траекторий движения, является основополагающим для многих технологических операций, начиная от контурной обработки материалов в машиностроении и заканчивая созданием сложных

движений в роботизированных системах и медицинских манипуляторах. Таким образом, изучение МВК представляет собой не только академический интерес, но и имеет существенное практическое значение для будущих инженеров.

Несмотря на их значимость, изучение МВК сопряжено с рядом методологических трудностей. *Актуальность* настоящего исследования обусловлена необходимостью преодоления существующего разрыва между абстрактным математическим аппаратом, описывающим движение механизмов, и его практическим приложением. Традиционные аналитические методы, основанные на ручных расчетах, не обладают достаточной наглядностью и не позволяют студентам в полной мере «почувствовать» динамику системы. С другой стороны, современные САПР-системы, автоматизируя расчеты, зачастую скрывают от пользователя основополагающие физико-математические принципы, превращая процесс моделирования в «черный ящик» и препятствуя формированию глубокого концептуального понимания. В этих условиях перспективным решением становится применение систем компьютерной математики, позволяющих объединить строгость аналитических выкладок с наглядностью интерактивной визуализации. Настоящая статья посвящена разработке и обоснованию именно такой методики на базе пакета Maple.

Цель исследования – разработка и апробация дидактической методологии, интегрирующей символьные вычисления, численный анализ и интерактивную визуализацию в единой среде Maple для углубленного изучения кинематики и динамики МВК. Предполагается, что такой подход будет способствовать формированию у студентов фундаментальных компетенций в области математического моделирования.

Научная новизна работы заключается в предложенном подходе, который обеспечивает синергию между формальным аналитическим выводом уравнений движения и их немедленной интерактивной визуализацией. В отличие от существующих решений данная методология создает «прозрачную» образовательную среду, в которой студент может не просто наблюдать конечный результат, но и в реальном времени отслеживать, как изменение каждого параметра математической модели влияет на поведение механизма, что позволяет перейти от заучивания формул к осмыслению физических законов.

В статье на примерах рычажных и планетарных механизмов продемонстрировано, как аналитическое задание траекторий базовых точек в параметрической форме и последующее символьное дифференцирование в Maple позволяют не только получать точные выражения для кинематических характеристик, но и создавать на их основе динамические виртуальные лаборатории для полноценных параметрических исследований. Представлены результаты

исследований, демонстрирующие возможности Maple для моделирования и анализа различных типов МВК, а также методические рекомендации по его использованию в учебном процессе, что позволит связать теоретические знания с практическими навыками, а также сформировать у студентов компетенции, необходимые для решения современных инженерных задач.

1. Методы (Methods)

1.1. Теоретические основы механизмов воспроизведения кривых

Механизмы воспроизведения кривых (МВК) представляют собой класс механических систем, предназначенных для преобразования одного вида движения в другое, при этом траектория движения определенной точки механизма описывает заданную кривую. Эти механизмы играют ключевую роль в различных инженерных приложениях, обеспечивая возможность создания сложных движений и форм, необходимых для выполнения разнообразных технологических операций. Понимание принципов работы МВК, их кинематических и динамических характеристик является фундаментальным для инженеров и конструкторов, занимающихся проектированием и анализом механических систем.

Для систематизации и анализа МВК целесообразно провести их классификацию по различным критериям, отражающим их конструктивные особенности, принципы действия и функциональные возможности. Одним из основных критериев классификации является тип механизма, который определяет способ преобразования движения и конструктивные элементы, используемые для его реализации. В соответствии с этим критерием МВК можно разделить на следующие основные группы: а) *механические*: преобразование движения осуществляется исключительно за счет механических элементов, таких как рычаги, кулачки, зубчатые колеса и их комбинаций; отличаются простотой конструкции, надежностью, относительно низкой стоимостью, но могут быть ограничены в точности и гибкости при воспроизведении сложных кривых; б) *электромеханические*: преобразование движения осуществляется с использованием электрических двигателей и приводов, которые могут быть интегрированы с механическими элементами для обеспечения более точного и гибкого управления движением; обладают более высокой точностью и скоростью воспроизведения кривых, но при этом имеют более сложную конструкцию и более высокую стоимость; в) *пневматические и гидравлические*: преобразование движения осуществляется за счет использования сжатого воздуха или жидкости под давлением; МВК этой группы способны обеспечивать высокую мощность и скорость, но при этом могут быть менее точными и сложными в управлении.

Другим важным критерием классификации является принцип действия, который определяет способ преобразования движения в механизме. В соответствии с этим критерием МВК можно разделить на следующие основные типы: а) *рычажные*, в которых преобразование движения осуществляется за счет системы рычагов, соединенных шарнирами; рычажные механизмы могут быть простыми или сложными в зависимости от количества рычагов и их расположения; они широко используются для воспроизведения различных типов кривых, включая окружности, эллипсы и сложные параметрические кривые; б) *кулачковые* - преобразование вращательного движения в поступательное или качательное осуществляется за счет использования кулачка, вращающегося вокруг оси; форма кулачка определяет закон движения толкателя, который может воспроизводить различные типы кривых; МВК данного типа отличаются простотой конструкции и высокой надежностью, но при этом могут быть ограничены в гибкости и точности; в) *зубчатые* - преобразование вращательного движения осуществляется за счет использования зубчатых колес, передающих вращение с одного вала на другой; зубчатые механизмы широко используются для передачи вращательного движения с изменением скорости и момента, а также для воспроизведения сложных траекторий движения; г) *сервоприводные* - управление движением осуществляется за счет использования сервоприводов, обеспечивающих точное позиционирование и управление скоростью; обладают высокой точностью и гибкостью, что позволяет воспроизводить сложные кривые с высокой точностью и скоростью; д) *комбинированные* - данный тип механизмов представляет собой комбинацию различных принципов действия, что позволяет достичь более высоких характеристик и расширить функциональные возможности.

МВК можно также классифицировать по типу воспроизводимых кривых, который определяет геометрическую форму траектории движения точки механизма. В соответствии с этим критерием МВК можно разделить на следующие группы: а) механизмы для воспроизведения плоских кривых (примерами таких кривых являются окружности, эллипсы, спирали, циклоиды и другие); б) механизмы для воспроизведения пространственных кривых (примерами кривых, расположенных в трехмерном пространстве, являются спирали, винтовые линии); в) механизмы для воспроизведения параметрических кривых: данные механизмы предназначены для воспроизведения кривых, описываемых математическими уравнениями с параметрами; параметрические кривые позволяют задавать сложные формы и траектории движения, что делает их широко используемыми в различных инженерных приложениях.

Таким образом, изучение теоретических основ МВК требует понимания их классификации, принципов действия, кинематических и динамических характеристик, что является необходимым для инженеров и конструкторов, занимающихся проектированием и анализом механических систем, а также для студентов, изучающих теоретическую механику и смежные дисциплины.

1.2. Инструментарий моделирования в Maple

В качестве инструментария для реализации авторской методологии выбран программный пакет Maple, поскольку его архитектура уникальным образом объединяет три ключевых компонента. Во-первых, его *символьный процессор*, в отличие от чисто численных сред или САПР-систем, позволяет оперировать математическими выражениями в их аналитическом виде, что дает возможность задавать положение точек механизма параметрическими уравнениями и, применяя операторы символьного дифференцирования, получать точные аналитические выражения для векторов скорости и ускорения. Таким образом, студент анализирует не просто числовой результат, а сам закон изменения кинематических характеристик и его зависимость от конструктивных параметров.

Во-вторых, когда аналитическое решение невозможно, например, в сложных задачах динамики, в той же среде применяются встроены *численные методы*. Они позволяют моделировать поведение системы под действием сил, решать дифференциальные уравнения движения, исследовать переходные процессы и анализировать устойчивость.

Наконец, третьим ключевым компонентом является *интегрированная среда визуализации*, которая позволяет мгновенно отображать результаты как символьных, так и численных расчетов. Важно, что анимация движения в Maple является не заранее отрисованным видеороликом, а динамически генерируемым графиком, который в каждом кадре вычисляет положение элементов по ранее выведенным аналитическим формулам. Благодаря этому обеспечивается непосредственная визуализация абстрактных математических закономерностей в виде динамики механической системы, что способствует формированию у обучающегося устойчивой когнитивной связи между аналитическим описанием и его физической интерпретацией, составляя ключевой принцип предложенной методологии.

Применение такого инструментария трансформирует решение задачи в целостный исследовательский процесс. Он инициируется формализацией механизма через составление уравнений кинематических связей, после чего аппарат символьных вычислений Maple используется для аналитического расчета кинематических характеристик. Впоследствии этот аналитический аппарат становится основой для параметрического анализа и визуализации посредством создания интерактивной модели. Такая модель

позволяет в реальном времени изменять входные параметры и исследовать их влияние на траектории и базовые кинематические характеристики, что углубляет понимание поведения механизма. В совокупности эти возможности позволяют проводить исчерпывающий кинематический и динамический анализ механизмов воспроизведения кривых — от аналитического задания траекторий до построения графиков и создания интерактивных анимаций движения.

2. Результаты (Results)

2.1. Разработка моделей МВК в Maple

Были разработаны и реализованы в среде Maple модели нескольких типичных МВК: рычажный механизм (эллипсограф), планетарный механизм с внутренним зацеплением, планетарный механизм с внешним зацеплением и др. Для каждой модели были составлены программы в Maple (табл. 1–3), реализующие задание исходных параметров механизма, вывод аналитических выражений для кинематических характеристик [15], построение траекторий движения характерных точек, создание 2D анимаций движения механизмов с визуализацией векторов скоростей и ускорений. Для демонстрации возможностей Maple в моделировании и анализе МВК рассмотрим несколько конкретных примеров, охватывающих разные типы механизмов и демонстрирующих различные аспекты их анализа.

Пример 1. Рычажный механизм – эллипсограф

Эллипсограф – это классический пример рычажного механизма, предназначенного для воспроизведения эллиптической траектории. Механизм эллипсографа состоит из кривошипа ОС,

двух ползунков А и В, перемещающихся по взаимно перпендикулярным направляющим, и шатуна АВ, соединяющего эти ползуны (рис. 1). Каждая точка, расположенная на шатуне АВ, описывает эллипс при движении механизма.

В Maple модель эллипсографа создана с использованием параметрических уравнений, описывающих движение ползунков и шатуна:

$$\begin{aligned} x_A &= r \cos(\omega t), & y_A &= 0, & x_B &= 0, \\ y_B &= r \sin(\omega t), & x_C &= \frac{x_A}{2}, & y_C &= \frac{y_A}{2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ωt – угол поворота кривошипа ОС; ω – угловая скорость вращения; r – длина кривошипа ОС.

Для этого были заданы длины звеньев механизма и угол поворота кривошипа ОС, а затем с помощью Maple получены аналитические выражения для координат, скорости и ускорения любой точки на шатуне [15]. Уравнения (1) служат основой для построения 2D-анимированной модели движения механизма эллипсографа, так как звенья механизма отображаются как простейшие двумерные примитивы, задаваемые координатами концов отрезков (линейные звенья), центров масс (круговые звенья и прямоугольники). Несколько кадров анимации показаны на рисунке 1.

Путем задания начальных параметров программы получены анимированные модели механизма, иллюстрирующие не только изменение положения звеньев, но и построение векторов скоростей (рис. 2) и ускорений точек А, В и С (рис. 3) с отображением их числовых значений.

В таблице 1 приведен фрагмент кода программы создания 2D-анимированной модели эллипсографа.

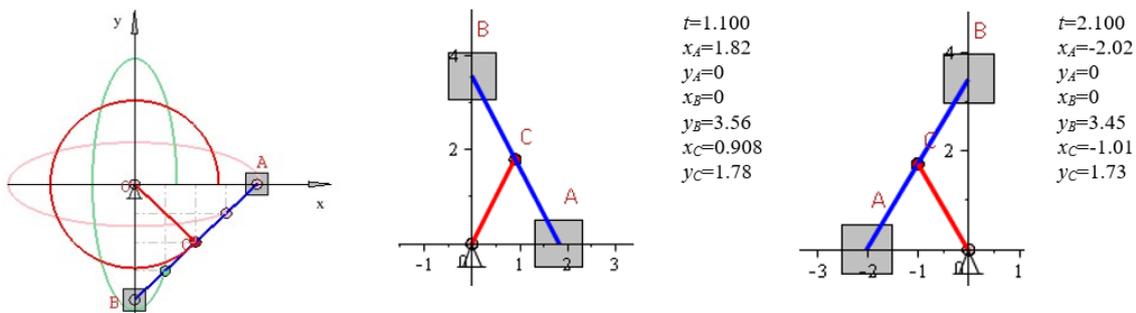


Рис. 1. Кадры анимации механизма эллипсографа (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Frames of the ellipsegraph mechanism animation (illustration by the authors)

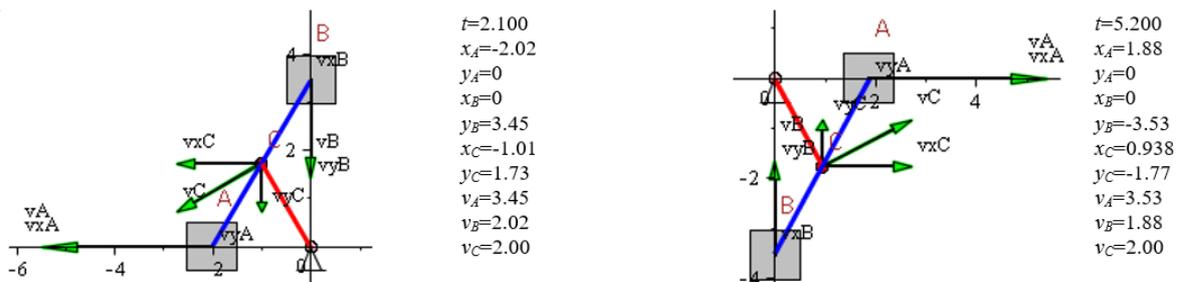


Рис. 2. Кадры анимации (скорости точек) (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Animation frames (point velocities) (illustration by the authors)

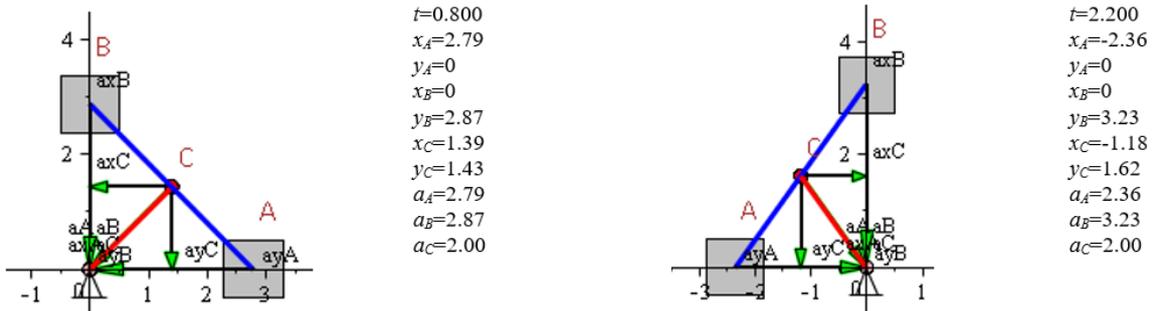


Рис. 3. Кадры анимации (ускорения точек) (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Animation frames (point accelerations) (illustration by the authors)

Таблица 1

Фрагмент листинга программы [16] – исследование планетарного механизма

```
# Параметры механизма
# a - длина отрезка от ползуна до точки на шатуне
# b - длина отрезка от другого ползуна до точки на шатуне
theta := t; # Угол поворота ползуна (параметр времени)
# Координаты точки на шатуне
x := a*cos(theta); y := b*sin(theta);
# Скорости точки на шатуне
vx := diff(x, t); vy := diff(y, t);
# Ускорения точки на шатуне
ax := diff(vx, t); ay := diff(vy, t);
# Построение траектории
plot([x, y, t = 0..2*Pi], title = "Траектория точки эллипсографа");
# Анимация движения
animate(plot, [[x, y], t = 0..T], T = 0..2*Pi, frames = 100);
```

Фрагмент кода демонстрирует, как Maple позволяет задать параметры механизма, получить аналитические выражения для координат, скоростей и ускорений, построить траекторию движения и создать анимацию.

Пример 2. Планетарный механизм с внутренним зацеплением

Планетарный механизм – это механизм, в котором одно или несколько зубчатых колес (сателлитов) вращаются вокруг центрального колеса (солнечного колеса). Планетарные механизмы широко

используются в различных областях техники, включая автомобилестроение и робототехнику.

В Maple модель планетарного механизма создана с использованием параметрических уравнений, описывающих движение сателлитов [17]. Для этого необходимо задать радиусы колес и угловые скорости вращения, а затем с помощью Maple рассчитать основные кинематические характеристики движения точки М сателлита и построить графические зависимости этих характеристик от времени (рис. 4, 5). Фрагмент кода программы приведен в таблице 2.

Таблица 2

Фрагмент листинга программы [17] – исследование планетарного механизма

```
restart;
readlib(isolate): with(plots):
with(plottools):
#Задаем уравнения движения точки на сателлите
x:=(R-r)*sin(omega*t)-r*sin((R-r)*omega*t/r);
y:=(R-r)*cos(omega*t)+r*cos((R-r)*omega*t/r);
#Исходные данные
r:=30: R:=75: omega:=1:
#Построение траектории
plot([x,y,t=-10..10],color=black,thickness=2,
labels=[X,Y]);
# Анимация движения
animate(plot, [[x, y], t = 0..T], T = 0..2*Pi, frames = 100);
```

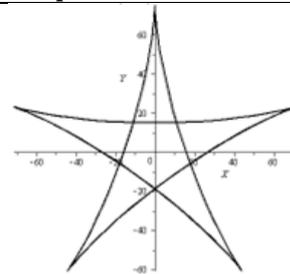


Рис. 4. Траектория точки М (иллюстрация авторов)
Fig. 4. Trajectory of point M (illustration by the authors)

Код демонстрирует возможности Maple для задания основных кинематических параметров

планетарного механизма, необходимых для построения траектории движения и создания анимации (рис. 5).

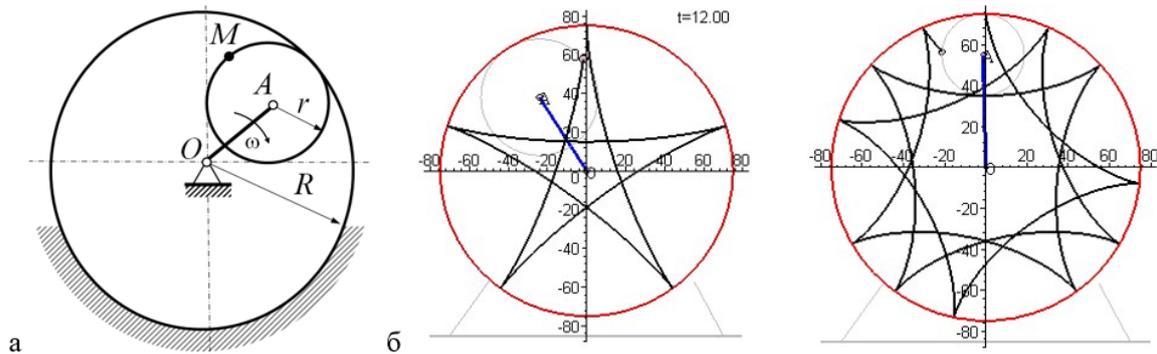


Рис. 5. Схема механизма (а) и кадры анимации (б) (иллюстрация авторов)
 Fig. 5. Mechanism diagram (a) and animation frames (b) (illustration by the authors)

На рисунке 5 показаны гипоциклоиды – траектории точки М – при различном соотношении радиусов r и R подвижной и неподвижной шестерен. Программа, приведенная в таблице 2, адаптирована для исследования кинематических параметров движения точки М, принадлежащей подвижной шестерне планетарного механизма с внешним зацеплением [18].

Пример 3. Планетарный механизм с внешним зацеплением

В таблице 3 приведена Maple-программа для расчета кинематических характеристик движения точки М и построения графических зависимостей этих характеристик от времени (рис. 6, 7).

Таблица 3

Фрагмент листинга программы [18] – исследование планетарного механизма

```
restart;
readlib(isolate): with(plots): with(plottools):
#Задаем уравнения движения точки
x:=(R+r)*sin(omega*t)-r*sin((R+r)*omega*t/r);
y:=(R+r)*cos(omega*t)-r*cos((R+r)*omega*t/r);
#Исходные данные
r:=30: R:=75: omega:=1:
#Построение графиков
plot([x,y,t=-10..10],color=black,thickness=2,
labels=[X,Y]);
# Анимация движения
animate(plot, [[x, y], t = 0..T], T = 0.2*Pi, frames = 100);
```

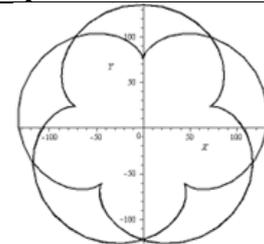


Рис. 6. Траектория точки М (иллюстрация авторов)
 Fig. 6. Trajectory of point M (illustration by the authors)

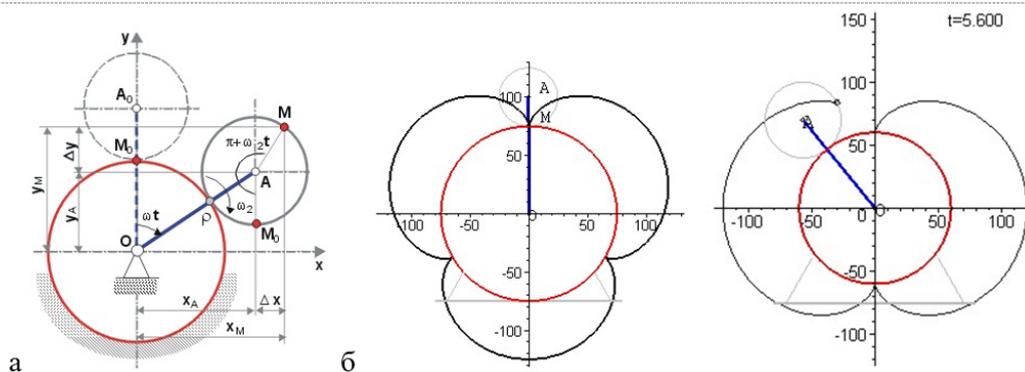


Рис. 7. Расчетная схема механизма (а) и кадры анимации (б) (иллюстрация авторов)
 Fig. 7. Calculated mechanism scheme (a) and animation frames (b) (illustration by the authors)

На рисунке 7 по уравнениям траектории точки М, записанным в параметрическом виде, построена эпициклоида – траектория движения точки М.

Приведенные выше примеры демонстрируют, как Maple может быть использован для моделирования и анализа различных типов МВК. Maple позволяет задавать параметры механизмов, получать аналитические выражения для их

характеристик, строить графики и анимации, что делает процесс обучения более наглядным и интерактивным.

2.2. Разработка методических рекомендаций

Для эффективного использования Maple в учебном процессе разработаны методические материалы [14], которые включают в себя описание основ-

ных возможностей программы и инструментов, необходимых для моделирования и анализа МВК; подробные примеры моделирования различных типов МВК с пошаговым описанием процесса создания модели, проведения анализа и визуализации результатов; задания для самостоятельной работы; рекомендации по эффективному использованию Maple для решения задач, связанных с моделированием и анализом МВК. На основе опыта моделирования и анализа МВК в Maple, а также с учетом существующих методических материалов [14], были сформулированы рекомендации по интеграции Maple в учебный процесс при изучении МВК.

Основными рекомендациями по интеграции Maple в учебный курс являются: а) постепенное введение (начинать изучение Maple следует с простых примеров, постепенно переходя к более сложным задачам, что позволит студентам освоить основные принципы работы с программой и развить необходимые навыки); б) акцент на понимание (важно подчеркивать, что Maple является инструментом, а не заменой понимания фундаментальных принципов механики; студенты должны понимать, какие уравнения и законы лежат в основе моделирования, и уметь интерпретировать полученные результаты); в) практико-ориентированный подход: задания для студентов должны быть ориентированы на решение практических задач, связанных с анализом и проектированием МВК, что позволит увидеть практическое применение полученных знаний и развить навыки инженерного мышления; г) интерактивное обучение: использование Maple позволяет создавать интерактивные модели, которые студенты могут самостоятельно исследовать, изменяя параметры механизмов и наблюдая за их влиянием на характеристики движения; д) визуализация: использование графиков и анимаций, созданных в Maple, позволяет сделать процесс обучения более наглядным, помогает студентам лучше понимать поведение механизмов и анализировать результаты моделирования.

Вместе с тем необходимо отметить некоторые сложности и ограничения, возникающие при использовании Maple. Освоение интерфейса и синтаксиса программы требует определенного времени и усилий, что может представлять трудности для некоторых студентов. Кроме того, существует риск чрезмерного увлечения моделированием в ущерб пониманию фундаментальных принципов механики, что требует от преподавателей особого внимания к формированию у студентов целостного представления о работе МВК.

В целом результаты исследования подтверждают, что Maple является эффективным инструментом для изучения МВК, позволяющим повысить наглядность обучения, развить навыки математического моделирования и подготовить

студентов к решению современных инженерных задач. Однако для достижения максимальной эффективности необходимо тщательно планировать учебный процесс и разрабатывать методические материалы, учитывающие особенности использования Maple в контексте инженерного образования.

Заключение (Conclusions)

Проведенное исследование подтверждает достаточно высокую дидактическую и научную эффективность предложенной методологии компьютерного моделирования механизмов воспроизведения кривых в среде Maple. Установлено, что ключевым фактором этой эффективности является не просто применение программного пакета, а создаваемая им синергия символьного, численного и визуального моделирования в рамках единой платформы. Такой подход формирует интегрированную дидактическую среду, которая обеспечивает «бесшовный» переход от фундаментальной теории к виртуальному эксперименту, создает когнитивный мост между абстрактно-математическим мышлением (уравнения, законы) и наглядно-образным (поведение механизма), что является необходимым условием для формирования глубокого концептуального понимания в инженерных науках.

В отличие от традиционных методов, разделяющих аналитику и графику, и в отличие от САПР-систем, скрывающих математическую модель по принципу «черного ящика», предложенный подход делает эту модель «прозрачной» и интерактивной. В результате студент учится не заучивать готовые формулы, а самостоятельно выводить и интерпретировать их, наблюдая прямое влияние каждого параметра на кинематические и динамические характеристики, что способствует переходу от репродуктивной модели обучения, основанной на решении типовых задач, к активной исследовательской и проектной деятельности, развивая у будущих инженеров навыки математического моделирования, анализа и критической интерпретации результатов.

Практическая значимость работы заключается в возможности прямой имплементации разработанных моделей и методических рекомендаций в учебные курсы по теоретической механике, теории машин и механизмов и робототехнике. Использование предложенной методологии позволяет не только повысить наглядность и интерактивность обучения, но и обеспечить подготовку инженеров нового поколения, способных осознанно применять современные вычислительные средства для проектирования и анализа сложных механических систем.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением данной методологии на более сложные объекты [19 – 20], включая пространственные механизмы, системы с упругими

звеньями, а также на задачи динамического анализа и оптимизационного синтеза. Кроме того, перспективным направлением является интеграция моделей Maple с другими инженерными пакетами для создания комплексных междисциплинарных образовательных модулей [21].

Список литературы

1. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике : в 2 т. / И. И. Артоболевский. – Москва, 1979. – Т. 2. – 424 с.
2. Артоболевский И. И. Теория механизмов для воспроизведения плоских кривых : уч. пос. / И. И. Артоболевский. – Москва : АН СССР, 1959. – 256 с.
3. Шигли Дж. Э. Теория машин и механизмов / Дж. Э. Шигли, Дж. Дж. Уайкер. – Oxford University Press, 2017. – 848 с.
4. Эрдман А. Г. Проектирование механизмов: анализ и синтез / А. Г. Эрдман, Г. Н. Сандор. – Prentice Hall, 2007. – 768 с.
5. Крейг Дж. Дж. Введение в робототехнику: механика и управление / Дж. Дж. Крейг. – Pearson, 2017. – 592 с.
6. Нику С. Б. Введение в робототехнику: анализ, управление, приложения / С. Б. Нику. – John Wiley & Sons, 2015. – 640 с.
7. Анхелес Х. Основы механических систем роботов: теория, методы и алгоритмы / Х. Анхелес. – Springer, 2007. – 448 с.
8. Кирсанов М. Н. Maple и MapleT. Решения задач механики : уч. пос. / М. Н. Кирсанов. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 512 с.
9. Кирсанов М. Н. Задачи по теоретической механике с решениями в Maple 11 : уч. пос. / М. Н. Кирсанов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 265 с.
10. Матросов А. В. Maple 6. Решение задач высшей математики и механики. – Санкт-Петербург : BHV – Санкт-Петербург, 2001. – 526 с.
11. Пономарева Е. В. Программа для расчета основных кинематических параметров движения материальной точки / Е. В. Пономарева, О. А. Хохлова, А. В. Хохлов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010614882. – Заявка № 2010613382 ; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 27.07.2010. – Москва : Роспатент, 2010.
12. Синельщиков А. В. Решение задачи Галилея с учетом сил сопротивления в среде Maple / А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева, Е. Д. Пономарева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3 (49). – С. 92–112.
13. Синельщиков А. В. Программа для расчета динамических параметров в задаче Галилея / А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева, Е. Д. Пономарева // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023689208. – Заявка № 2023687050 ; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 26.12.2023. – Москва : Роспатент, 2023.
14. Синельщиков А. В. Теоретическая механика в среде Maple. Статика / А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 488 с.
15. Синельщиков А. В. Разработка комплекса универсальных tws-программ (Maple) для компьютерного моделирования и автоматизации расчетов в области механики / А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2014. – № 1. – С. 69–80.
16. Синельщиков А. В. Программа для расчета кинематических параметров механизмов, предназначенных для воспроизведения кривых / А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева, Б. М. Славин и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660182. – Заявка № 2023618725 ; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 18.05.2023. – Москва : Роспатент, 2023.
17. Синельщиков А. В. Программа для расчета кинематических параметров планетарных механизмов с внутренним зацеплением / А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева, Б. М. Славин и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668190. – Заявка № 2023667077 ; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 24.08.2023. – Москва : Роспатент, 2023.
18. Синельщиков, А. В. Программа для расчета кинематических параметров планетарных механизмов с внешним зацеплением / А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева, Б. М. Славин и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668236. – Заявка № 2023667083 ; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 24.08.2023. – Москва : Роспатент, 2023.
19. Синельщиков А. В. Программа для моделирования механической системы с эллиптической траекторией базовых точек / Е. В. Пономарева, А. В. Синельщиков, Е. Д. Пономарева и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025617051. – Заявка № 2025615019 ; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 21.03.2025. – Москва : Роспатент, 2025.
20. Голоскоков Д. П. Практический курс математической физики в системе Maple / Д. П. Голоскоков. – Санкт-Петербург : ООО «ПаркКом», 2010. – 637 с.
21. Эдвардс Ч. Г. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB / Ч. Г. Эдвардс, Д. Э. Пенни. – 3-е изд. – Москва : Вильямс, 2007. – 1104 с.

© А. В. Синельщиков, Е. В. Пономарева, Е. Д. Пономарева

Ссылка для цитирования:

Синельщиков А. В., Пономарева Е. В., Пономарева Е. Д. Maple в инженерном образовании: моделирование и анализ механизмов воспроизведения кривых // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 2 (52). С. 73–80.