

УДК 378.02:372.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ КИНЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

О. А. Хохлова, Е. В. Пономарева, А. В. Хохлов

Астраханский инженерно-строительный институт

В статье рассмотрены вопросы использования в курсе теоретической механики для строительных вузов компьютерных программ, предназначенных для расчета основных кинематических параметров и визуализации движения различных объектов исследования – материальных точек, твердых тел и их систем. Приведены примеры таких программ, описаны особенности технологий их создания.

Ключевые слова: теоретическая механика, кинематика, движение, анимированная модель, визуализация движения, компьютерная программа.

The article discusses using computer programs in the course of theoretical mechanics for engineering universities, which are intended to calculate the basic kinematic parameters and visualize the movement of various objects of study - material points, solids and their systems. There are examples of such programs and the features of technology to create them are described.

Key words: theoretical mechanics, kinematics, motion, animated model, visualization of motion, a computer program.

Использование интерактивных средств обучения в области теоретической механики началось более 20-ти лет назад. Еще в 90-х гг. прошлого века предпринимались попытки создания мультимедийных систем, направленных на изучение технических наук, в частности теоретической механики (Ю. Ф. Голубев, В. Е. Павловский [17], А. В. Корецкий, Н. В. Осадченко [18] и др.). В дальнейшем развитие таких систем было связано с использованием интерактивных возможностей персональных компьютеров и сети Интернет (Г. И. Мельников, А. Г. Кривошеев [19], В. В. Глаголев, В. И. Латышев [20] и др.). Преимуществом такой формой представления материалов был гипертекст, www-технологии, сетевые электронные учебники (А. И. Кобрин, В. Г. Кузьменко; В. Е. Павловский, Т. О. Невенчанная, Е. В. Пономарева [1–3]). В последние годы все чаще стали появляться работы, основанные на совмещении традиционных подходов создания информационно-обучающих систем и возможностей специализированных математических пакетов – Maple и MathCAD (М. Н. Кирсанов [4–6], А. В. Матросов [7], Е. Г. Макаров [21], В. Д. Бертяев [22], В. П. Дьяконов [23]), что открыло новые пути для повышения интерактивности подобных систем.

В настоящее время на кафедре прикладной механики и графики Астраханского инженерно-строительного института продолжается эксперимент по разработке методики обучения дисциплине «Теоретическая механика» студентов строительных специальностей. Для этого разрабатывается комплекс электронных проблемно-ориентированных обучающих систем (ЭПОС), материалы которого представлены на сайте кафедры «Прикладной механики и графики» АИСИ. На данном сайте студенты очной и заочной форм обучения могут загрузить методические пособия по дисциплинам кафедры,

задать вопрос преподавателям по проблемным для них темам, поучаствовать в обсуждении различных вопросов.

В состав комплекса входят:

1) теоретические материалы, содержащие конспекты лекций по теоретической механике для студентов различных строительных специальностей, методические указания к выполнению расчетно-графических работ, варианты заданий и примеры их выполнения;

2) задания для усвоения базовых понятий в виде тестов, разработанных авторами статьи, которые помогут студентам лучше изучить теоретический материал и применить его на практике. В тестах содержатся практические задания на знание основных понятий, требующие решения конкретных задач и сравнения полученных результатов; теоретические задания, в которых предлагается привести формулировку определенных аксиом и теорем и их следствий, математически выразить ту или иную механическую характеристику и т. д.

Преподавателями кафедры ведется интенсивная работа по применению информационных и телекоммуникационных технологий в процессе обучения точным наукам. Результаты этой работы были опубликованы авторами статьи в материалах ежегодной Международной научно-практической конференции (МНПК), проводимой на базе АИСИ с 2007 г. [8–13]. Одним из значимых результатов, в частности, является разработка двух программных продуктов, правообладателем которых выступает строительный вуз [14, 15].

На предыдущих конференциях АИСИ [8–13] обсуждались вопросы разработки программных продуктов, предназначенных для изучения раздела «Статика» теоретической механики, в частности о программах для статического расчета одного твердого тела, а также плоской составной конструкции (система двух и более

тел) (пример интерфейса такой программы представлен на рис. 1). Разработаны алгоритмы расчета ферм, пространственных конструкций, определения положений центров тяжести.

В настоящее время авторы статьи продолжают заниматься разработками программных продуктов, предназначенных для решения задач раздела «Кинематика» курса теоретической механики. В данном разделе изучается геометрия движения объектов (материальных точек, твердых тел и их систем) без учета действующих на них нагрузок.

В [16] описана разработанная методология проведения в системе Maple кинематических расчетов простейшего объекта исследования – материальной точки, даны краткие сведения о сформированном комплексе mws-программ, написанных на математически ориентированном языке программирования Maple и предназначенных для компьютерного моделирования и автоматизации расчета кинематических

параметров движения точки с визуализацией результатов в виде двух- и трехмерных анимированных моделей. Например, разработанные программы создают двумерную или трехмерную анимированную модель движения точки по траектории с построением соответствующих векторов (по заданным уравнениям движения производится построение траектории точки, в каждый момент времени отображаются векторы скорости и ускорения, выводятся числовые значения времени, модулей скорости и ускорения точки, значений проекций скорости и ускорения на координатные оси x и y). Разработанные программы не только позволяют решать поставленные задачи, но и используются как генераторы заданий заданной сложности с автоматической проверкой получаемых результатов, таким образом формируя банк уникальных многовариантных расчетных заданий, ранжируемых по степени сложности.

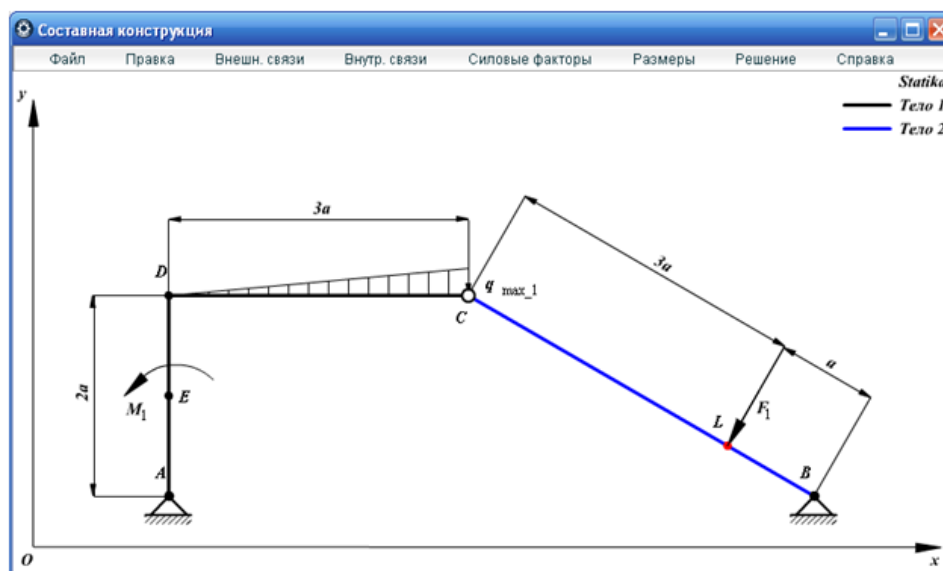


Рис. 1. Программа для статического расчета плоских систем сил

Дальнейшее развитие работа получила в разработке компьютерных программ, предназначенных для визуализации движения отдельных твердых тел и их систем (плоских механизмов), а также для расчета основных кинематических параметров движения твердых тел (при поступательном, вращательном и плоскопараллельном движениях). При этом для создания программной анимации исследуемых механизмов использованы две различные технологии: 1) создание mws-программ в системе Maple; 2) технология Flash.

Главное отличие программной анимации от обычной заключается в том, что все кадры обычной анимации определены ее создателем, в то время как программная анимация развива-

ется в соответствии с заложенными в нее программистом алгоритмами. Создание подобных анимаций оказалось возможным благодаря встроенным в программы Maple и Flash объектно ориентированным языкам программирования, позволяющим осуществлять относительно несложные расчеты, манипулировать графическими объектами на экране, загружать данные из внешних источников и т. д.

В качестве примера приведем фрагменты листингов (табл. 1, 2) и результаты выполнения программ, демонстрирующих движение механизма эллипсографа (с использованием технологий Maple и Flash).

Программа «Механизм эллипсографа» (Maple) исследует механизм, состоящий из следу-

ющих подвижных звеньев: кривошипа OC , шатуна AB , ползунов A и B . Точки, принадлежащие шатуна AB , при движении механизма описывают эллипсы с центром в точке O и полуосями, длины которых равны соответственно расстояниям выбранной точки от точек A и B . Точка C , лежащая на середине шатуна AB , описывает окружность радиуса OC (рис. 2).

Типовая задача заключается в определении по заданным кинематическим уравнениям движения точек (с использованием координатного способа задания движения) их линейных

скоростей и ускорений. Эти же уравнения являются основой для построения двумерной анимированной модели движения механизма эллипсографа. Несколько кадров анимации показаны на рисунке 3.

Возможности программы позволяют получить анимированную модель механизма, с помощью которой можно иллюстрировать не только изменение положения звеньев, но и построение векторов скоростей (рис. 4) и ускорений точек A , B и C (рис. 5) с отображением их числовых значений.

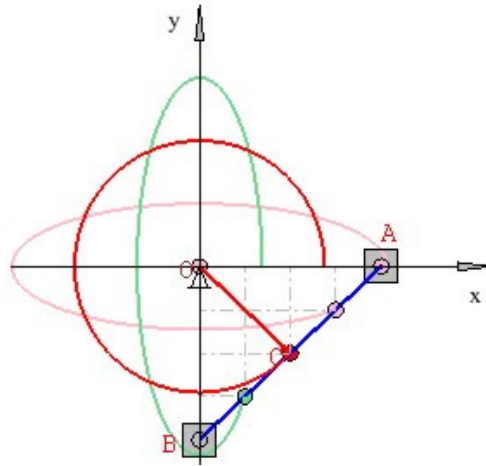


Рис. 2. Схема механизма эллипсографа, построение траекторий точек

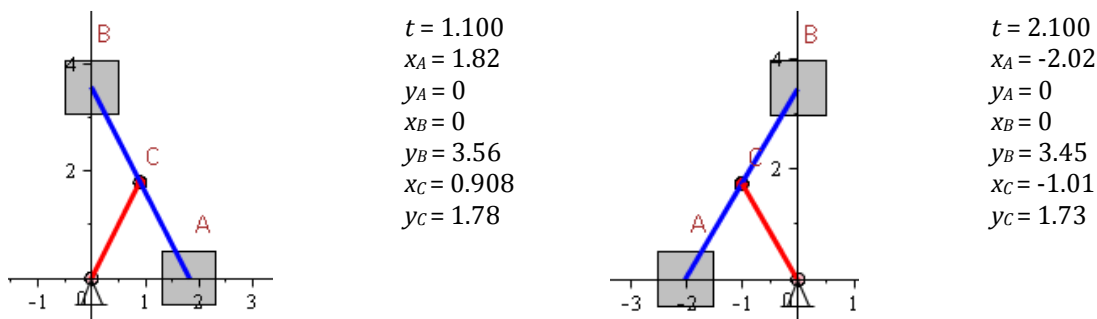


Рис. 3. Кадры анимации с отображением времени и координат точек

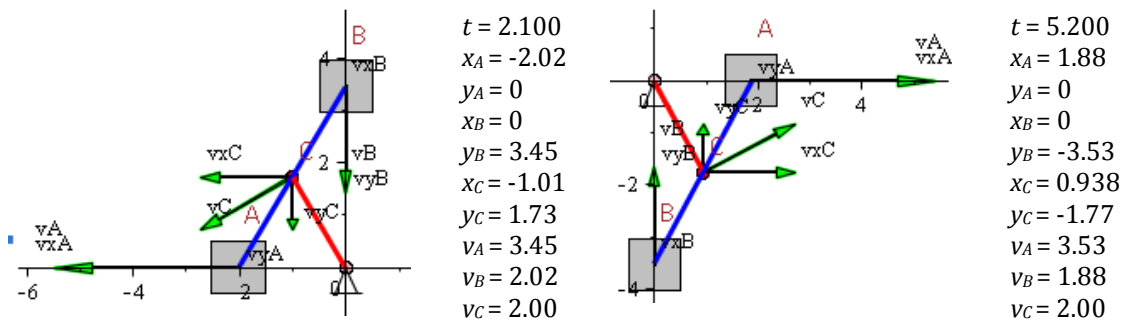


Рис. 4. Кадры анимации с отображением скоростей точек

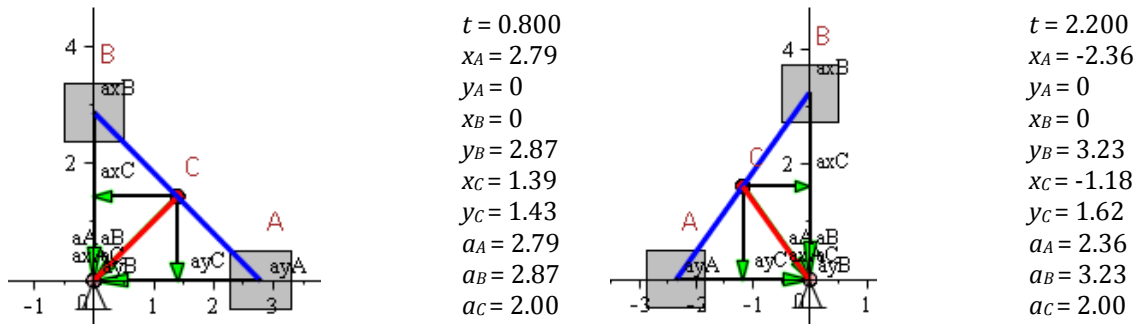


Рис. 5. Кадры анимации с отображением ускорений точек

Таблица 1

Листинг программы

```

> restart;
> # Процедура создания анимации механизма эллипсографа
Ellips:=proc(r,T)

# ОБЪЯВЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ
local cadr,dt,i,TT,Ax,Ay,Bx,By,sh, kr, pz1,pz2,l1,l2;

# количество кадров анимации
cadr:=T*10;

with(plottools): with(plots):

# Предварительные геометрические построения

# интервал между кадрами
dt:=T/cadr;

# создание кадров анимации
for i from 0 to cadr do

# отображение момента времени, которому соответствует кадр
TT:=plots[textplot]([5,5, cat("t=",convert(evalf(dt*i,4),string))]): TT;

# вычисление координат узловых точек механизма
Ax:=evalf(eval(r*cos(t),t=dt*i)):
Ay:=0:
By:=evalf(eval(r*sin(t),t=dt*i)):
Bx:=0:

#отображение кривошипа
kr:=line([0,0], [Ax/2,By/2], color=red, linestyle=1,thickness=3),
disk([Ax/2,By/2],[0.03*r],color=pink):
kr;

# отображение шатуна
sh:=line([Ax,Ay], [Bx,By], color=blue, linestyle=1,thickness=3):
sh;

# отображение первого ползуна
pz1:=plottools[rectangle]([Ax-0.5,Ay-0.5],[Ax+0.5,Ay+0.5],color=gray),
disk([Ax,Ay],[0.03*r],color=pink):
pz1;

# отображение второго ползуна
pz2:=plottools[rectangle]([Bx-0.5,By-0.5],[Bx+0.5,By+0.5],color=gray),
disk([Bx,By],[0.03*r],color=pink):
pz2;

# отображение опор и текстовых обозначений
l1:=(
line([0,0], [0,3], color=grey, linestyle=4),
line([0,0], [3,0], color=grey, linestyle=4),
line([0,0], [0.2,-0.5], color=black, linestyle=1),
line([0,0], [-0.2,-0.5], color=black, linestyle=1),
line([-0.3,-0.5], [0.3,-0.5], color=black, linestyle=1),
disk([0,0],[0.03*r],color=pink),
textplot([[Ax,Ay+1,"A"],color=brown,align=RIGHT,font=[COURIER,12]],
textplot([[Bx,By+1,"B"],color=brown,align=RIGHT,font=[COURIER,12]],

```

```

textplot([[0.5*Ax,0.5*By+0.5,"C"]],color=brown,align=RIGHT,font=[COURIER,12]):l1;

# непосредственно формирование кадра
q|i:=plots[display]({sh,pz1,kr,pz2,TT,l1 }, scaling=constrained): q|i;

od;

# отображение полученной анимации
plots[display]([seq(q|i,i=0..cadr)], insequence=true,scaling=constrained,axes=NORMAL,title="Движение
эллипсографа");

end:
> Ellips(4,evalf(Pi*2));
    
```

Таблица 2

Листинг программы

```

// Положение неподвижной точки кривошипа механизма
private var oporaX:Number = 120;
private var oporaY:Number = 120;

// Длина кривошипа механизма
private var len1:Number = 50;
// Длина шатуна механизма
private var len2:Number = 2 * len1;

// Расстояние от точки "пера" эллипсографа до первого ползуна
private var len3:Number = 0.75;

// Угол поворота кривошипа
private var phi:Number = 0;
// Угловая скорость кривошипа
private var omega:Number = 0.08;

// Символы для отображения характерных точек механизма
private var opora:Sprite;
private var sharnir1:Sprite;
private var sharnir2:Sprite;
private var sharnir3:Sprite;
private var pero:Sprite;

public function Main():void {
    // Автоматическое обновление положения механизма
    addEventListener(Event.ENTER_FRAME, updatePosition);
}

// Обновление положения механизма
private function updatePosition(e:Event):void {
    // Обновление значения угла поворота кривошипа
    phi += omega;

    graphics.clear();
    // Расчет положения свободного конца кривошипа
    sharnir1.x = oporaX + len1 * Math.cos(phi);
    sharnir1.y = oporaY + len1 * Math.sin(phi);
    // отрисовка кривошипа
    drawStergen(opora, sharnir1);
    // Расчет положений ползунов эллипсографа
    sharnir2.x = sharnir1.x + len1 * Math.cos(phi);
    sharnir2.y = oporaY;
    sharnir3.x = oporaX;
    sharnir3.y = sharnir1.y + len1 * Math.sin(phi);

    drawStergen(sharnir2, sharnir3);

    // Расчет положения пера эллипсографа
    var dx:Number = sharnir3.x - sharnir2.x;
    var dy:Number = sharnir3.y - sharnir2.y;
    var angle:Number = Math.atan2(dy,dx);
    pero.x = sharnir2.x + len2 * len3 * Math.cos(angle);
    pero.y = sharnir2.y + len2 * len3 * Math.sin(angle);
}
    
```

С использованием возможностей системы Maple разработаны и применяются двухмерные анимированные модели кривошипно-ползунного и синусного механизмов, планетарных механизмов с внешним и внутренним зацеплением и ряда других. Ведется работа над расширением количества моделей, планируется реализовать расчеты

не только кинематических, но и динамических характеристик механических систем.

Программа «Механизм эллипсографа» (Flash) – альтернативный вариант.

Результат выполнения программы – анимированная двухмерная модель механизма эллипсографа (рис. 6).

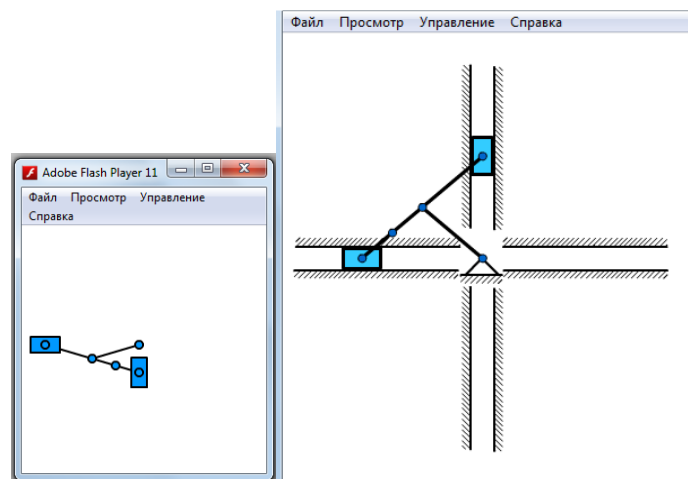


Рис. 6. Демонстрация работы эллипсографа

В заключение следует отметить, что в научную деятельность по разработке новых программных продуктов были вовлечены и студенты АИСИ, участие которых было отмечено дипломами: в 2010 г. студент группы ПГС-21-8 А.И. Игошин был награжден дипломом третьей степени за работу «Применение Flash-технологий при решении задач плоской статики (равновесие составной конструкции)», в 2011 г. студенты группы ПЗ-21-9 В. А. Горбушина и Е. О. Максимова были награждены ди-

пломом за работу «Применение Flash-технологий при решении задач пространственной статики».

Использование новых информационных технологий в учебном процессе при изучении теоретической механики имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными формами обучения. Помимо приобретения навыков самостоятельной работы с программами, студенты получают более наглядное представление о процессах, рассматриваемых в механике.

Список литературы

1. Электронный интернет-учебник по теоретической механике / Т. О. Невенчанная, В. Е. Павловский, Е. В. Пономарева. Свид. о рег. № 2004612620; заяв. 2004612080; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 3.12.2004.
2. Ponomaryova E. V., Nevenchannaya T. O., Pavlovsky V. E. The Concept of the Internet Textbook on Theoretical Mechanics // Innovations in E-learning, Instruction Technology, Assessment and Engineering Education. Springer Netherlands, 2007. S. 373–377.
3. Ponomareva E. V., Nevenchannaya T. O., Pavlovsky V. E. Concept, structure and program realization of the Internet textbook on classical mechanics // IFTOMM-2007 : Proceedings of twelfth world congress in mechanism and machine science (June 17–21). Besancon, 2007. Vol. 2. P. 38–43.
4. Кирсанов М. Н. Решебник. Теоретическая механика / под ред. А. И. Кириллова. М. : Физматлит, 2008. 384 с.
5. Кирсанов М. Н. Задачи по теоретической механике с решениями в Maple 11. М. : Физматлит, 2010. 264 с.
6. Кирсанов М. Н. Практика программирования в системе Maple. М. : Издательский дом МЭИ, 2011. 208 с.
7. Матросов А. В. Maple 6. Решение задач высшей математики и механики. СПб. : БХВ-Петербург, 2001. 528 с.
8. Пономарева Е. В., Хохлова О. А. Применение информационных технологий в строительных вузах (на примере расчета плоской фермы для специальности ПГС) // Образование, наука и практика в строительстве и архитектуре : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2007. С. 387–392.
9. Пономарева Е. В., Хохлова О. А. Применение flash-технологии при решении задач статики // Астрахань – Дом будущего : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2008. – С. 63–64.
10. Пономарева Е. В., Хохлова О. А., Хохлов А. В. Концепция компьютерной обучающей системы по теоретической механике для студентов строительных специальностей вузов // Инновационные технологии в науке и образовании – ресурс развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства : мат-лы III Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2009. С. 48–53.
11. Пономарева Е. В., Хохлова О. А., Хохлов А. В. Применение новых информационных технологий при решении задач статики в курсе теоретической механики // Инновационные технологии в науке и образовании – ресурс развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства : мат-лы III Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2009. С. 53–57.
12. Пономарева Е. В., Хохлова О. А., Хохлов А. В. Применение flash-технологии при решении задач пространственной статики // Энергосберегающие технологии: Наука. Образование. Бизнес. Производство : сб. мат-лов V Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2011. С. 45–48.

13. Пономарева Е. В., Хохлова О. А., Хохлов А. В. Реализация процесса обучения теоретической механике с использованием информационных технологий // Перспективы развития строительного комплекса : мат-лы VI Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2012. Т. 1. С. 22–25.
14. Программа для статического расчета плоской составной конструкции (система двух и более тел) / Е. В. Пономарева, О. А. Хохлова, А. В. Хохлов. Свид. о рег. № 2010614881; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 27.07.2010.
15. Программа для расчета основных кинематических параметров движения материальной точки / Е. В. Пономарева, О. А. Хохлова, А. В. Хохлов. Свид. о рег. № 2010614882; заяв. 2010613382; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 27.07.2010.
16. Синельщиков А. В., Пономарева Е. В. Разработка комплекса универсальных mws-программ (Maple) для компьютерного моделирования и автоматизации расчетов в области механики // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2014. № 1. С. 69–80.
17. Электронный мультимедиа курс по теоретической механике / Ю. Ф. Голубев, В. Е. Павловский, В. А. Свешникова, Н. Ю. Зенкова, Ю. Н. Ионова. М. : Изд-во Московского ун-та, 1994. [Вып.] 1. 369 с.
18. Корецкий А., Кузнецов А., Осадченко Н. Решение задач динамики на персональном компьютере (Методическое пособие). М. : Изд-во МЭИ, 2005. 64 с.
19. Мельников Г. И., Кривошеев А. Г. Электронный учебник по дисциплине: «Теоретическая механика». URL: http://de.ifmo.ru/bk_netra/start.php?bn=29.
20. Глаголев В. В., Латышев В. И. Электронный задачник по теоретической механике в интернет. URL: <http://www.techno.edu.ru:80/db/msg/12562>
21. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс. СПб. : Питер, 2005. 448 с.
22. Бертяев В. Д. Теоретическая механика на базе Mathcad. Практикум. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. 752 с.
23. Дьяконов В. П. Энциклопедия Mathcad 2001i и Mathcad 11. М. : СОЛОН-Пресс, 2004. 832 с.

© О. А. Хохлова, Е. В. Пономарева, А. В. Хохлов