

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ МЕХАНИКИ

ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 7. Гомель, 2013

УДК 531.8

С. Ф. АНДРЕЕВ

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,
Беларусь*

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВМ В КУРСЕ ТММ

В статье описывается опыт автора по внедрению в учебный процесс численных расчетов с использованием компьютера при всестороннем анализе сложных рычажных механизмов. Изложен подход к решению на ЭВМ задачи оптимизации динамических параметров механизмов со степенью подвижности, равной единице.

Выбор технологий учебного процесса всегда занимал одно из ключевых мест в системе высшего образования. Активизация познавательной деятельности студентов в учебном процессе может быть достигнута с помощью сочетания современных технических средств и методики обучения. В течение последних лет произошло повсеместное внедрение в учебный процесс компьютерных технологий. Характерной особенностью расчетно-графических заданий, выполняемых студентами первого курса, является компьютерное оформление титульного листа, текста, формул и графики. Студенты к этому времени уже владеют навыками работы с элементами программного обеспечения. Однако решение технических задач с применением ЭВМ для большинства студентов даже второго и третьего курсов оказывается труднореализуемым, почти невыполнимым учебным заданием.

Дело в том, что при постановке задачи, реализуемой на ЭВМ, необходимо учитывать имеющееся у студентов знание предмета, алгоритмических языков и математического программного обеспечения. Для всеобщего привлечения студентов к использованию компьютерных технологий в решении практических задач требуется усиление межпредметных связей кафедр высшей математики и информатики с кафедрами, ставящими перед студентами прикладные задачи.

Теория механизмов и машин – одна из первых изучаемых будущим инженером дисциплин, в которой методы вычислительной математики находят применение при решении прикладных задач. Возможность использования ЭВМ в учебном процессе привела к коренным изменениям методов анализа механизмов. Появилась возможность усложнения расчетных схем, всестороннего анализа сложных рычажных механизмов, учета сил трения в кинематических парах, разработки компьютерных программ для структурного, кинематического и динамического анализа механизмов и их синтеза.

В настоящее время благодаря интенсивному развитию новых информационных технологий и их внедрению в учебный процесс появилось значительное число специализированных программ, предназначенных для решения различных задач проектирования механизмов. Большинство пользователей используют такие программы, совершенно не интересуясь их содержанием. Их применение для решения той или иной прикладной задачи ограничивает личный вклад студента в численную реализацию задачи только вводом исходных данных. Поэтому использование прикладного программного обеспечения скрывает сущность расчета от учащегося. В то же время почти всегда имеется необходимость детально изучить качественные стороны численных методов и выбрать наиболее подходящий для конкретной задачи.

Не владея приемами программирования, невозможно анализировать процесс построения математической модели. Такой подход неперспективен с точки зрения формирования навыков использования ЭВМ в научно-технических расчетах. Студенты многих технических специальностей не могут эффективно использовать современные компьютеры, не освоив элементы численных методов. Необходимо с целью повышения образовательного уровня приобщать студентов к самостоятельному формированию математической модели, поставленной перед ним прикладной задачи и составлению программы численного её решения. Использование методов численного программирования усиливает мотивацию обучения студентов предмету, прививает навыки моделирования.

На первом этапе освоения численных методов решения задач студенту, плохо владеющему основами программирования, можно рекомендовать воспользоваться готовой программой или встроенной функцией, запрограммировать на самом примитивном уровне простейшие аналитические формулы, и получить в итоге численные и графические результаты. Студенты легко осваивают программу самостоятельно или с помощью преподавателя. Даже при таком подходе к использованию ЭВМ, необходимо определить тип и особенности получаемой математической модели, указать методы решения уравнений.

С развитием вычислительной техники в решении задач кинематического анализа и синтеза механизмов, а также силового расчета традиционные графоаналитические методы стали все чаще заменяться аналитическими мето-

дами, которые легко реализовать на ЭВМ. Применение в обучении системы MathCAD, на наш взгляд, позволяет легко и наглядно программировать математические модели, оперируя математическими зависимостями и визуализируя движение элементов механизма.

В качестве примера использования в курсе ТММ простейших приемов программирования рассмотрим задачу оптимизации динамических параметров поршневого насоса (рисунок 1). Ставится задача: для установившегося движения механизма выполнить оптимизацию по коэффициенту неравномерности

$$\delta = (\omega_{OA}^{\max} - \omega_{OA}^{\min}) / (\omega_{OA}^{\max} + \omega_{OA}^{\min}),$$

где ω_{OA}^{\max} и ω_{OA}^{\min} – экстремальные значения функции $\omega_{OA}(\alpha)$ – угловой скорости кривошипа OA .

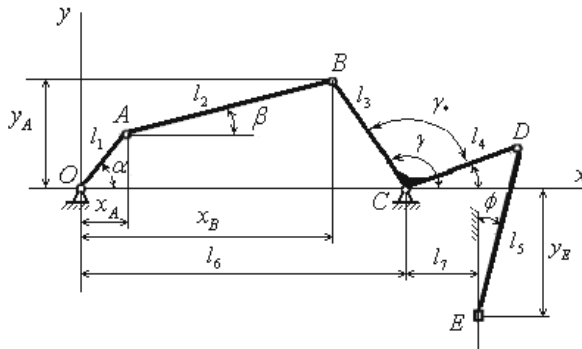


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма поршневого насоса

Варьируемыми параметрами критерия оптимизации являются безразмерные (нормированные) массы и моменты инерции звеньев насоса:

$$J_{1,O}, m_2, J_{2,C_2}, J_{3,C_3}, m_4, J_{4,C_4}, m_5.$$

Таким образом, задача поиска оптимальных параметров в режиме установившегося движения сводится к реализации на ЭВМ целевой функции

$$\delta(J_{1,O}, m_2, J_{2,C_2}, J_{3,C_3}, m_4, J_{3,C_4}, m_5) \rightarrow \min.$$

При оптимизации для каждого варьируемого параметра устанавливается диапазон его изменения. Границы этих диапазонов определяются исходя из условий проектирования (рекомендуемых размеров и общего веса механизма).

Целевая функция является центральным элементом при решении задачи способом оптимизации. В данном случае она является неявной, и её пара-

метры вычисляются путём последовательного выполнения действий по сформированному алгоритму.

Положение механизма определяются угловой $\alpha_0 \leq \alpha \leq (\alpha_0 + 2\pi)$ координатой, характеризующей поворот кривошипа OA от начального угла α_0 , который соответствует остановке кулисы CB .

Для исследования движения механизма с одной степенью подвижности используется динамическая модель в виде вращающегося материального тела, имеющего переменный приведенный момент инерции $J_{пр}(\alpha)$.

В качестве математической модели принимается дифференциальное уравнение, решение которого, в силу его нелинейности, возможно лишь численными методами:

$$\frac{d\omega_{OA}(\alpha)}{d\alpha} = \frac{(M_{дв}(\alpha) - M_{пр}(\alpha))}{J_{пр}(\alpha)\omega_{OA}(\alpha)} - \frac{\omega_{OA}(\alpha)}{2J_{пр}(\alpha)} \frac{dJ_{пр}(\alpha)}{d\alpha}. \quad (1)$$

Здесь $M_{пр}(\alpha)$ и $M_{дв}(\alpha)$ – приведенный и движущий моменты сил. При установившемся движении $M_{дв}(\alpha) = \text{const}$.

Для решения уравнения (1), то есть для построения графика функции $\omega_{OA}(\alpha)$ при варьируемых параметрах оптимизации, необходимо определить переменные коэффициенты, выполнив предварительно кинематический анализ механизма.

Задачей кинематического анализа рычажных механизмов с одной степенью подвижности является изучение функций положения механизма, которые могут быть представлены в форме

$$g_k = g_k(\alpha, l_1, l_2, \dots, l_m), \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

Здесь: α – угол поворота кривошипа, принимаемый за обобщенную координату; g_k – безразмерные линейные или угловые координаты; N – число функций положения; l_1, l_2, \dots, l_m – безразмерные параметры, характеризующие размеры звеньев механизма.

Различные методы аналитического определения функций положений рычажных механизмов приводятся в учебной литературе. Среди них – метод преобразования координат и замкнутых векторных контуров для плоских механизмов [1–3] (вопросы применения ЭВМ для таких задач рассматривались в работах [4–6]).

В нашем примере решаем задачу кинематического анализа при заданных размерах звеньев, то есть определяем функции положения $g_k(\alpha)$, которые для нашего механизма принимают вид: $\beta(\alpha), \gamma(\alpha), \phi(\alpha), x_{C_2}(\alpha), y_{C_2}(\alpha), x_{C_4}(\alpha), y_{C_4}(\alpha), y_E(\alpha)$.

Проецируя контуры $OABC$ и CDE на оси Ox и Oy , получаем уравнения, связывающие угловые координаты α , β и γ :

$$\begin{aligned}x_A(\alpha) &= l_1 \cos(\alpha), \quad y_A(\alpha) = l_1 \sin(\alpha). \\x_A(\alpha) + l_2 \cos(\beta(\alpha)) &= l_6 + l_3 \cos(\gamma(\alpha)), \\y_A(\alpha) + l_2 \sin(\beta(\alpha)) &= l_3 \sin(\gamma(\alpha)).\end{aligned}$$

Выполнив преобразования, получаем нелинейное уравнение для нахождения угловой координаты $\beta(\alpha)$ звена AB :

$$f_y(\alpha) \sin(\beta(\alpha)) + f_x(\alpha) \cos(\beta(\alpha)) = \frac{l_3^2 - l_2^2 - (f_x^2(\alpha) + f_y^2(\alpha))}{2l_2}, \quad (3)$$

где $f_x(\alpha) = x_A(\alpha) - l_6$, $f_y(\alpha) = y_A(\alpha)$.

Исследуемый механизм является многозвенной системой, в котором фиксированному положению ведущего звена при определенных условиях может соответствовать два или несколько положений других звеньев. Эта особенность называется ветвлением функции положения. При решении уравнения (3) необходимо учесть возможное ветвление, которое обусловлено многозначностью тригонометрических функций.

Для нахождения однозначного решения обозначим $Z(\alpha) = \cos(\beta(\alpha))$.

В нашем примере функция $\sin(\beta(\alpha)) = \pm \sqrt{1 - Z^2(\alpha)}$ является двузначной. Учитывая пределы изменения угла $\beta(\alpha)$, принимаем в нашем примере $\sqrt{1 - Z^2(\alpha)} \geq 0$.

Однозначную функцию $Z(\alpha)$ находим из уравнения

$$f_x(\alpha)Z(\alpha) + f_y(\alpha)\sqrt{1 - Z^2(\alpha)} = \frac{(l_3^2 - l_2^2 - (f_x^2(\alpha) + f_y^2(\alpha)))}{2l_2},$$

для решения которого в системе MathCAD применяем оператор **Given**. Затем вычисляем функции положения:

$$\begin{aligned}\beta(\alpha) &= \arccos(Z(\alpha)); \\ \gamma(\alpha) &= \arccos\left(\frac{f_x(\alpha) + l_2 \cos(\beta(\alpha))}{l_3}\right); \\ \phi(\alpha) &= \arcsin\left(\frac{l_4 \cos(\gamma(\alpha) - \gamma^*) - l_6}{l_5}\right).\end{aligned}$$

Зная функции углов, находим функции положения центров масс звеньев:

$$x_{C_2}(\alpha) = x_A(\alpha) + \frac{l_2}{2} \cos(\beta(\alpha)); \quad y_{C_2}(\alpha) = y_A(\alpha) + \frac{l_2}{2} \sin(\beta(\alpha));$$

$$x_D(\alpha) = l_6 + l_4 \cos(\gamma(\alpha) - \gamma_*); \quad y_D(\alpha) = l_4 \sin(\gamma(\alpha) - \gamma_*);$$

$$x_{C_4}(\alpha) = x_D(\alpha) + \frac{l_5}{2} \cos(\phi(\alpha)); \quad y_{C_4}(\alpha) = y_D(\alpha) - \frac{l_5}{2} \sin(\phi(\alpha));$$

$$y_E(\alpha) = y_D(\alpha) - l_5 \sin(\phi(\alpha)).$$

На рисунке 2 приведены результаты расчетов.

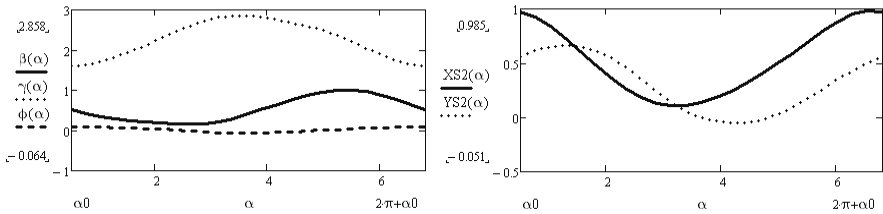


Рисунок 2 – Графики линейных и угловых функций положения звеньев

Теперь определяем приведенный момент инерции

$$J_{пр}(\alpha) = 0,5 \left\{ J_{1,0} + J_{2,C_2} \left(\frac{\partial \beta}{\partial \alpha} \right)^2 + m_2 \left[\left(\frac{\partial x_{C_2}}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial y_{C_2}}{\partial \alpha} \right)^2 \right] + J_{3,C_3} \left(\frac{\partial \gamma}{\partial \alpha} \right)^2 + \right. \\ \left. + J_{4,C_4} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \alpha} \right)^2 + m_4 \left[\left(\frac{\partial x_{C_4}}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial y_{C_4}}{\partial \alpha} \right)^2 \right] + m_5 \left(\frac{\partial y_E}{\partial \alpha} \right)^2 \right\}. \quad (4)$$

Для определения функции $M_{пр}(\alpha)$, необходимо задать функцию силы полезного сопротивления $F_{ПС}(\alpha)$, действующую на рабочее звено E . Учитывая силы тяжести звеньев, получаем

$$M_{пр}(\alpha) = m_2 g \left(\frac{\partial y_{C_2}}{\partial \alpha} \right) + m_4 g \left(\frac{\partial y_{C_4}}{\partial \alpha} \right) + m_5 g \left(\frac{\partial y_E}{\partial \alpha} \right) + (F_{ПС}(\alpha) + m_5 g) \left(\frac{\partial y_E}{\partial \alpha} \right). \quad (5)$$

Функции частных производных в (4) и (5) получены непосредственным дифференцированием функций положения. На рисунке 3 представлены графические результаты дифференцирования.

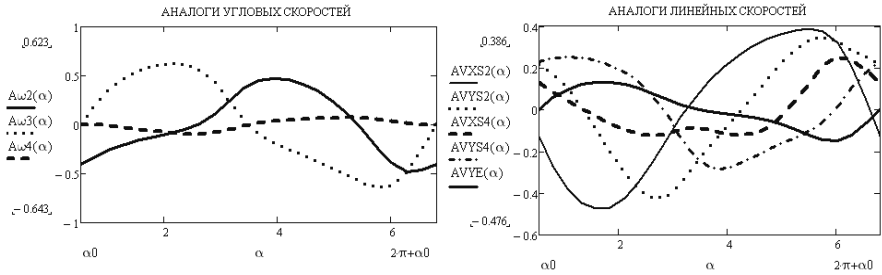


Рисунок 3 – Графики аналогов линейных и угловых скоростей

Вид функции $F_{ПС}(\alpha)$ определяем по индикаторной диаграмме насоса: на холостом ходу – давление всасывания, на рабочем ходу – нагнетающее давление [7].

Фрагмент программы для расчета функции $F_{ПС}(\alpha)$ показан на рисунке 4.

$$F_{ПС}(\alpha) := \begin{cases} FVS \\ FD \text{ if } (\alpha KX) \leq \alpha \leq (2 \cdot \pi + \alpha 0 - \Delta \alpha) \end{cases}$$

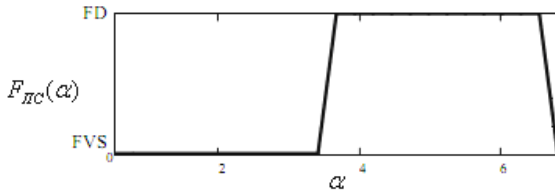


Рисунок 4 – Фрагмент подпрограммы – расчет функции $F_{ПС}(\alpha)$

Численное интегрирование уравнения (1) осуществляем с помощью оператора **Rkadapt**, который реализует метод Рунге-Кутты второго порядка с автоматическим выбором шага. Варьируя значения параметров целевой функции, получаем различные зависимости экстремальных угловых скоростей от коэффициента неравномерности хода механизма. На рисунке 5 приведены графики функции $\omega_{OA}(\alpha)$ для различных вариантов безразмерных динамических параметров насоса, которые демонстрируют процесс оптимального уравнивания механизма.

Разработанный алгоритм позволяет облегчить восприятие теоретического материала студентами и вводить в процесс обучения элементы научно-исследовательской работы. Освоение студентами методики самостоятельных компьютерных расчетов, понимание, от чего зависит изменение каждого параметра, положительно сказывается на повышении квалификации будущего инженера.

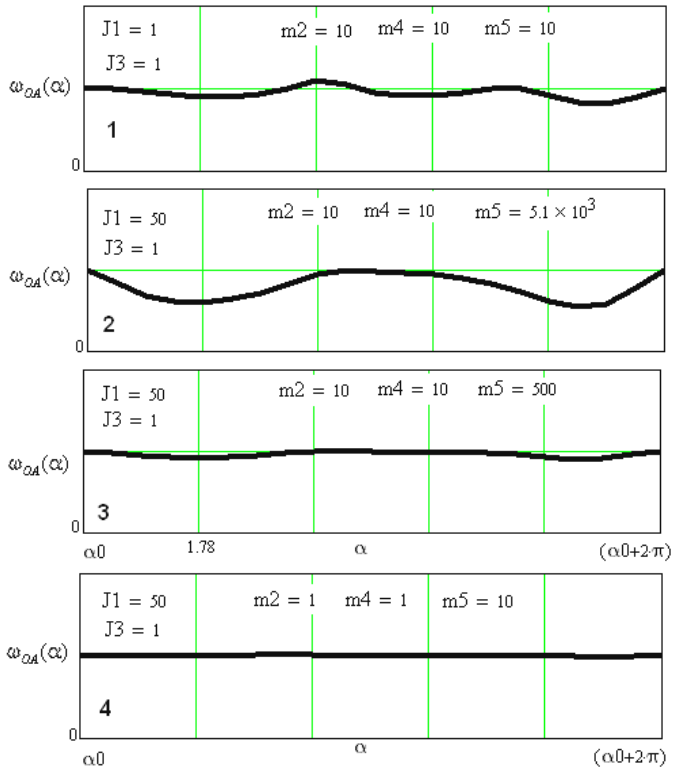


Рисунок 5 – Зависимость функции $\omega_{0A}(\alpha)$ от изменения динамических параметров

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Левитская, О. Н.** Курс теории механизмов и машин / О. Н. Левитская, Н. И. Левитский. – М.: Высш. шк., 1978. – 269 с.
- 2 **Зиновьев, В. А.** Курс теории механизмов и машин / В. А. Зиновьев. – М.: Наука, 1975. – 384 с.
- 3 **Артоболевский, И. И.** Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М.: Наука, 1975. – 640 с.
- 4 **Попов, С. А.** Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин: учеб. пособие для втузов / С. А. Попов, Г. А. Тимофеев. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1999. – 351 с.
- 5 **Попов, С. А.** Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / С. А. Попов, Г. А. Тимофеев. – М.: Высш. шк., 2002. – 411 с.
- 6 **Амосов, А. А.** Вычислительные методы для инженеров: учеб. / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова. – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.
- 7 **Насосы:** справочное пособие / К. Бадеке [и др.]; под ред. В. Плётнера; пер. с нем. В. В. Малюшенко, М. К. Бобок. – М.: Машиностроение, 1979. – 502 с.

EXPERIENCE OF COMPUTER USAGE IN TMM COURSE

The authors' experience of numerical calculations with computer use for the all-round analysis of difficult lever mechanisms in educational process is described in the article. The approach to solving the problem of dynamic parameters optimization for single-degree-of-freedom mechanisms is shown.

Получено 26.04.2012

ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 7. Гомель, 2013

УДК 378.1

Е. В. ДАНИЛОВА, А. Н. МЕЛКОНЯН, Н. П. ЧУРЛЯЕВА

*Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. акад. М. Ф. Решетнева, г. Красноярск*

ИЗМЕНЕНИЕ РОЛИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА В НОВЫХ УСЛОВИЯХ

На основе анализа изменения системы инженерной подготовки в вузах России за последние 25 лет рассматриваются аспекты, связанные с увеличением числа часов, отводимых на самостоятельную работу студентов.

Введение. В настоящее время в технических вузах имеют место попытки «внедрения» Болонских предписаний, направленных на создание европейского пространства с совместимыми дипломами. В их числе двухуровневая система высшего образования, кредитно-модульная система и компетентностные образовательные стандарты. Однако попытки реформаторов от образования изменить архетипические основы образования в стране с очень высоким уровнем коррупции, в условиях сырьевой ориентированности экономики, имеют мало шансов на успех.

Эти попытки не учитывают ни особенностей сложившейся в советское время и фактически существующей до сих пор системы *массовой* инженерной подготовки, ни сегодняшнего плачевного состояния этой системы. На практике они приведут лишь к окончательному разрушению старой системы, созданной в рамках плановой экономики и несовместимой ни с подлинной рыночной экономикой, ни с тем, что понимается под словом рынок в России [1].

В любом случае, при работе в новых условиях в ходе учебного процесса в вузе возникает много новых проблем. В частности, в новых образовательных стандартах самостоятельной работе студентов (СРС) отведено значительно больше места, чем прежде. В связи с этим возникает вопрос об изменении традиционной роли преподавателя в учебном процессе. В данной статье рассматривается, к чему это изменение может сводиться в современных условиях.