

Г. С. Бокун, доцент; В. С. Вихренко, профессор;  
Д. В. Гапанюк, ассистент

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО КУРСУ «ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН»

The experience of the Department of Theoretical Mechanics in implementation of computational methods during training of students in the field of mechanisms design in the course of the Theory of Machines and Mechanisms is represented. The usefulness of the packages of general usage like Mathcad and Maple due to their simplicity is highlighted.

**Введение.** В связи с тем, что компьютерные технологии все в большей мере используются при проектировании и конструировании и позволяют существенно сократить экспериментальные исследования, их внедрение в учебный процесс становится все актуальнее. С другой стороны, задача общинженерной дисциплины ТММ состоит в освоении общих методов механики, применяемых при создании новых механизмов и машин [1].

Как показали различные попытки [2–4], для наиболее успешного решения обеих задач в их взаимосвязи наиболее целесообразно опираться на использование вычислительных пакетов общего назначения, таких как Mathad, Maple или Mathematica, хотя для реального проектирования созданы и используются специализированные программные продукты, которые «сами» составляют и решают уравнения механики, описывающие движение робототехнических систем под действием приложенных сил. Это, в первую очередь, программные комплексы Nastran, Adms, Ansys, а также более специализированные пакеты.

Преимущества применения пакетов общего пользования при изучении курса ТММ обусловлены тем, что с их помощью можно обеспечить усвоение методов механики, т. е. самому студенту составлять и решать уравнения, описывающие движение механизмов и машин, а не только наблюдать результаты уже готовых решений, выдаваемых специализированными пакетами. В соответствии со сказанным нами разработаны подходы, где пакеты общего пользования используются на протяжении всего периода изучения курса ТММ. А специализированные пакеты применяются для ознакомления с современными программными средствами, применяемыми в проектных организациях и промышленности для проектирования механизмов и машин, анализа характера их работы, исследования их свойств и поведения в различных условиях. Как показал опыт сравнительного использования этих пакетов студентами, наиболее простым и удобным для предварительного знакомства здесь оказалось применение пакета Nastran [5], который мы и используем в качестве демонстрационного пакета в настоящее время.

**Организация курсового проектирования с использованием компьютерных технологий.** Из пакетов общего пользования приоритетным оказалось использование Mathcad [6]. Этот пакет имеет наиболее удобный интерфейс, схожий с большинством программ, работающих под Windows, наиболее наглядное и удобное представление графиков и изображений, включая возможность сохранения анимации движения механизмов в видеофайлах. По сравнению с Mathematica и Maple это наиболее простой пакет, где упрощения компенсированы возможностью записывать программу в таком виде, как записываются формулы на бумаге, т. е. с использованием общепринятых обозначений. Такая особенность Mathad, заключающаяся в возможности программирования без «программирования», позволяет без больших трудностей использовать этот пакет в механике параллельно с его изучением по дисциплинам информационных технологий. Для достижения сказанного нами используется схема многоуровневого применения Mathcad при выполнении студентами расчетно-графических работ (РГР), с последующим самостоятельным применением этого и других пакетов в курсовом проектировании.

Задания на РГР составлены так, что в каждой из двух РГР содержится задача, для решения которой следует применить Mathad. Для выполнения этих задач студенты используют электронное пособие по проектированию четырехзвенных рычажных механизмов.

Первая задача заключается в построении четырехшарнирного механизма, определении его первых и вторых передаточных функций. Основное внимание здесь уделяется усвоению соответствующих методов механики, а что касается использования компьютера, то оно сводится к редактированию уже имеющейся программы, реализующей метод замкнутых контуров. Для того, чтобы студенты могли видеть результаты, которые они должны получить, они используют дополнительную программу, где применяются матричные методы механики, не изучаемые в курсе, как «черный ящик», порождающий все необходимые графики и зависимости.

При определении передаточных функций предполагается и графоаналитическое решение,

и сравнение результатов, полученных различными методами. В нашем случае компьютерное решение – это независимый метод решения, а не компьютерная реализация графоаналитических процедур (хотя, безусловно, при необходимости возможна и такая реализация).

При решении соответствующей задачи из второй РГР преследуется цель более результативного и глубокого использования компьютерных технологий и самостоятельного закрепления соответствующих методов механики. Для этого шарнирный четырехзвенник, для которого имеется компьютерная программа, заменяется кривошипно-ползунным либо кривошипно-кулисным механизмом, для исследования работы которых надо самостоятельно подготовить соответствующие программные продукты. При этом исключительно важной становится реализация анимации работы механизма, которая легко осуществима в Mathcad и служит решающей проверкой усвоения студентами методов структурного и кинематического анализа и синтеза механизмов. Дело в том, что движение каждой точки механизма описывается «своими» уравнениями, и согласованное реальное движение всего механизма передается только тогда, когда правильно составлены системы соответствующих уравнений.

После компьютерного построения заданного механизма и его анимации рассматриваются процедуры вычисления приведенного момента инерции и приведенного момента сил производственных сопротивлений, что необходимо для выполнения динамического анализа и синтеза механизмов.

Таким образом, на стадии выполнения РГР студенты приобретают знания, необходимые для самостоятельного применения компьютера при выполнении курсового проекта. Студенты в состоянии использовать знания, полученные при изучении курсов по информатике, и в том или ином виде применить Mathcad для решения вопросов проектирования хотя бы простейшего механизма. Они приобретают существенные практические навыки по использованию компьютерных технологий в механике. Можно отметить, что в «компьютерофилии», свойственной современной молодежи, удастся таким образом упаковать методы механики, и наиболее заинтересованные студенты справляются с предложенными заданиями в полном объеме. Тогда с ними ведется дополнительная работа в избранном направлении в рамках студенческого кружка «Компьютерные технологии механики». Здесь, изучая дополнительную литературу и соответствующие программные пакеты, удастся показать, каким образом можно эффективно преодолевать проблемные вопросы механики, порождающиеся тем, что нелинейные уравнения, отражающие движения механизмов, имеют

кратные решения, тогда как заданному механизму отвечает единственное решение. По линии студенческого кружка ведется дополнительное изучение пакетов Maple, Mathematica, Nastran, Matlab и других с целью более глубокого изучения компьютерных подходов, применяемых для моделирования работы машинных агрегатов и механизмов, а также осуществляется проектирование в рамках Mathcad шестизвенных механизмов. Эти рычажные механизмы, как составные части, входят в машинные агрегаты, рассматриваемые в курсовом проекте по ТММ.

Таким образом, к началу второго семестра изучения курса примерно третья часть от общего числа студентов успешно осваивает компьютерные подходы. Это позволяет решить следующие задачи проектирования: осуществить компьютерный синтез кинематической схемы механизма; создать видеофайл, демонстрирующий работу механизма; найти характеристики движения исполнительного и промежуточных звеньев; осуществить обработку индикаторных диаграмм; построить диаграммы приведенного момента инерции механизма, приведенных моментов сил, работ и другие энергетические диаграммы. В итоге осуществляется динамический синтез при требуемом значении коэффициента неравномерности движения механизма.

Аналогичные задачи решаются и при графоаналитическом методе проектирования.

При этом оба подхода «пересекаются» только по конечным результатам каждой задачи. Это дает возможность использования бригадного метода проектирования с организацией соответствующего взаимного самоконтроля и обучения. Как правило, в бригаду входят три студента. Один из них осуществляет компьютерное проектирование, двое других применяют в основном линейку и карандаш для построения необходимых диаграмм.

Этот подход дает возможность студентам воочию убедиться, сколь значительны преимущества использования компьютерных технологий при серьезном и обстоятельном подходе к их освоению совместно с овладением соответствующими разделами механики. Сказанное особенно ярко проявляется при выполнении второго листа проекта, посвященного динамическому анализу механизма. При графоаналитическом подходе для этого требуется построить множество различных планов и диаграмм для групп Ассур, в то время как при компьютерном подходе можно получить «все и сразу», записав уравнения кинестатики для каждого отдельного звена механизма.

Имеющегося ресурса учебного времени, как правило, не достаточно, чтобы в массовом порядке применить компьютерные методы для проектирования зубчатых и кулачковых меха-

низмов, как это имеет место в случае рычажных механизмов. Поэтому имеющееся на кафедре программное обеспечение для проектирования этих механизмов студенты используют для оценки правильности выполняемых графоаналитических построений и расчетов, используя в названных программах свои конкретные исходные данные на проектирование. Вместе с тем, студенты, сумевшие успешно применить компьютерные методы для проектирования рычажных механизмов, в своем большинстве остаются приверженцами компьютерных технологий и используют их для выполнения научно-исследовательского раздела проекта, заключающегося в решении различных дополнительных задач проектирования, решение которых с применением графоаналитических подходов чрезвычайно затруднено, а зачастую и невозможно. Это, в первую очередь, связано с решением задач об исследовании работы машинного агрегата в различных режимах, анализ переходных процессов с учетом реальных механических характеристик двигателей и рабочих машин, учете сил сопротивления и т. д.

В последних усовершенствованных версиях Mathcad такая возможность осуществима путем применения многоуровневых функциональных подстановок в пакетах Maple и Mathematica с использованием операторных скобок, обеспечивающих программирование вложенных циклов. В научную часть проекта включаются вопросы сравнительного анализа применения различных пакетов для решения задач проектирования. Предлагается выполнение компьютерных разработок для решения отдельных задач проектирования других видов механизмов, анализ варьирования механизмов, входящих в состав машинных агрегатов. Для решения этих задач студенты уже используют специализированные пакеты.

В ходе выполнения научной части проекта студенты наглядно убеждаются в преимуществах компьютерных методов, заключающихся не только в том, что они позволяют эффективно обойти графоаналитические подходы, но и существенно расширить и углубить горизонты проектирования.

Студенты, успешно реализовавшие научную часть курсового проекта во втором семестре изучения курса ТММ, продолжают свою работу после завершения курса при кафедре по линии научного студенческого общества.

Индивидуализация обучения осуществляется путем закрепления студентов за отдельными преподавателями кафедры в течение следующего семестра. На базе этой индивидуальной работы выполняются исследования, представ-

ляемые на научные конференции и смотры, подготавливаются научные публикации. Безусловно, темы выполняемых научных разработок по линии научного студенческого общества перекликаются с работами, выполненными ранее, что дает возможность получения значимых результатов, отличающихся соответствующей глубиной и обоснованностью. Тематику разработок студентов можно условно разделить на вопросы, посвященные проблеме продолжения решения по параметру, использованию пакетов специального назначения, рассмотрению проблемных задач проектирования. А в последнее время удалось разрешить также и проблемную задачу программирования в Mathcad об организации вложенного цикла любой сложности с использованием переменной FRAME.

**Заключение.** Опыт, накопленный кафедрой, показывает, что внедрение компьютерных методов во все виды учебной работы со студентами позволяет достичь существенных результатов в повышении качества образования. Для достижения цели общей инженерной дисциплины ТММ наиболее целесообразно использование пакета Mathcad. Разработанные подходы эффективно раскрывают возможности самого пакета, одновременно способствуя глубокому усвоению дисциплины.

#### Литература

1. Попов, С. А. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин / С. А. Попов, Г. А. Тимофеев; ред. К. В. Фролов. – М.: Высш. шк., 2002. – 410 с.
2. Бокун, Г. С. Применение информационных технологий для учебного проектирования механизмов / Г. С. Бокун, В. С. Вихренко, С. А. Гляков // Теоретическая и прикладная механика: межведомственный сборник научно-методических статей. – Минск: БНТУ, 2005. – Вып. 18. – С. 215–220.
3. Особенности сближения учебного и реального проектирования механизмов на основе использования современных программных средств / Г. С. Бокун [и др.] // Труды БГТУ. Сер. VIII, Учеб.-метод. работа. – 2005. – Вып. VIII. – С. 63–65.
4. Компьютерная механика. Динамический и кинематический анализ механических систем: курс лекций / С. А. Гляков [и др.]; под ред. М. А. Журавкова. – Минск: БГУ, 2006. – 375 с.
5. Шимкович, Д. Г. Расчет конструкций в MSC/Nastran for Windows / Д. Г. Шимкович. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с.
6. Кирьянов, Д. А. Самоучитель Mathcad 2001 / Д. А. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 544 с.