

**СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ И ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В
КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**к. ф.-м. н. **Бокун Г. С.**, к. ф.-м. н. **Гапанюк Д. В.***Белорусский государственный технологический университет, Минск*

Введение. Реализованный на кафедре подход по внедрению компьютерных технологий позволил эффективно решать задачи проектирования механизмов и машин. Ранее было показано, что для достижения целей проектирования, стоящих перед ТММ, целесообразно использовать пакет общего пользования, в частности Mathcad [1]. Это дает двойное преимущество как из-за естественного повышения самого уровня использования пакета и освоения общих методов механики, применяемых при создании новых конструкций машин и механизмов. Потому что, в этом случае, при применении пакетов общего пользования, студенты сами должны составлять и решать уравнения, описывающие движение механизмов и машин, а не пользоваться результатами компьютерного решения, получаемыми с помощью специализированных пакетов.

В данной работе излагаются результаты развития и совершенствования разработанных ранее подходов по применению компьютерных технологий в учебном процессе [2]. Цель выполненных разработок заключается в переходе от проектирования отдельных механизмов к проектированию механических агрегатов и механических систем. Для достижения поставленных задач понадобилось расширить и дополнить компьютерный практикум и соответствующие электронные пособия, создать, в том числе, новые дистанционные электронные работы.

Основная часть. Компьютерный практикум [3] предназначен для предоставления возможности всем студентам учебной группы осуществить проектирование рычажных механизмов на основе использования инновационных методов. Реализуется этот практикум в виде трех дополнительных занятий, проводимых под руководством преподавателя в дисплейных классах университета. Опыт реализации практикума показал, что разработанные ранее подходы по компьютерному построению механизмов не во всех случаях позволяют осуществить синтез всех положений механизма, соответствующих одному и тому же варианту его сборки. Возникающая трудность является специфической для данного пакета и возникает из-за того, что все программные записи здесь соответствуют стандартным записям в учебной литературе по математике и механике. Последнее обстоятельство и предопределило сделанный ранее выбор в пользу выбора пакета Mathcad.

Для преодоления возникающих трудностей электронное пособие по проектированию рычажных механизмов было дополнено специальным разделом, посвященным разрешению проблемы продолжения решения по параметру. В этом разделе показаны методы идентификации «срыва» решения системы уравнений при переходе от одного состояния к другому, и изложены подходы, позволяющие преодолеть возникающую трудность. Показано, что можно вернуться к исходному варианту сборки механизма, если перейти от исходного к новому базовому положению механизма, соответствующему положению, предшествующему моменту бифуркации. Помимо изложенного «ручного» управления вычислительным процессом, предложен и разработан вариант автоматического программного управления. Основан он на специфическом использовании оператора FRAME, позволяющего организовать вычисления в цикле, когда расчетные данные в конце цикла записываются в отдельный файл и считываются, как начальное приближение соответственно в начале цикла. В результате каждое новое решение системы уравнений, определяющей функции положения механизма, находится как уточнение результатов предыдущего решения. Это как раз и позволяет находить решения системы, соответствующее одной и той же ветви или сборке механизма. Опыт реализации компьютерного практикума показал, что после занятий, проведенных в дисплейном классе под руководством преподавателя все студенты группы в состоянии справиться самостоятельно с проектированием уже шестизвенных механизмов. Осуществлять такое проектирование оказалось удобным в тех же дисплейных классах, но уже в виде самостоятельной работы. Предоставляемая компьютерным практикумом возможность самостоятельного применения Mathcad в задачах механики была далее использована для переноса компьютерных подходов на проектирование зубчатых и кулачковых механизмов. Для этого было соответствующим образом переработано и усовершенствовано электронное пособие по проектированию этих механизмов. Предыдущая версия этого пособия [4] давала возможность «спроектировать» эти механизмы, вводя лишь исходные данные и наблюдая готовые результаты проектирования, полученные фактически без участия проектанта. Из-за этого в варианте [4] данное пособие использовалось как демон-

страционное. Для использования же этого пособия в качестве обучающей системы оно было существенно усовершенствовано и дополнено. А именно, применявшиеся ранее программы для проектирования планетарных зубчатых передач с их внутренней «защитой» логикой заменены на прямой расчет критериев качества механизмов в зависимости от принимаемых исходных данных. В результате вместо готового ответа, из множества представленных вариантов необходимо отобрать оптимальный, исходя из знания условий и характеристик выбора.

Что касается проектирования прямозубой эвольвентной передачи, то здесь сохранен расчет параметров зубьев и характеристик картины эвольвентного зацепления в среде Mathcad. Но наряду с использованием видеofilма, демонстрирующего особенности эвольвентного зацепления в Mathcad, предлагается осуществить вычерчивание картины зацепления в системе КОМПАС. Это дает возможность ознакомиться в каждом конкретном случае не только с линией зацепления, как в случае упомянутой анимации, но и с другими характеристиками, такими как угловые и линейные шаги, делительная, начальная, основная окружности, углами перекрытия и зацепления и т. п. Аналогичный комбинированный подход использован при совершенствовании компьютерного проектирования кулачковых механизмов. Mathcad удобно использовать для определения функции положения исполнительного звена механизма, построения графика центрального профиля кулачка, как функции, заданной в полярной системе отсчета. Что же касается процедуры определения радиуса начальной шайбы кулачка и его рабочего профиля, то разработанные ранее аналитические подходы для этого, оказались достаточно сложными для усвоения и замены на построение соответствующих диаграмм и графическое решение.

Для распространения изложенных выше подходов по синтезу отдельных механизмов на проектирование машинных агрегатов и механических систем были разработаны и внедрены в учебный процесс две дополнительные виртуальные лабораторные работы, изучаемые студентами самостоятельно. Первая лабораторная работа посвящается изложению компьютерных процедур, позволяющих учесть реальный характер сил производственных сопротивлений, а вторая предназначена для учета реальной характеристики двигателя. Для самостоятельного выполнения первой работы подготовлено соответствующее электронное пособие, где изложены на конкретных примерах использования программы GraphDigit процедуры оцифровки данных, представленными файлами в различных форматах. Изложены способы работы с программой при различных режимах оцифровки. После оцифровки диаграмм сил производственных сопротивлений их необходимо представить соответствующими зависимостями, для этого в Mathcad имеется несколько встроенных функций, позволяющие «соединить» точки выборки кривой разной степени гладкости. В пособии на примерах различных диаграмм обсуждаются предпочтительные варианты использования кусочно-линейной, линейной, кубической сплайн интерполяции в зависимости от вида индикаторной диаграммы.

Кроме того, в пособии показывается как программным путем устанавливается соответствие между значениями функции положения исполнительного звена в 360 положениях механизма и значением координаты, задающей положение точек на индикаторной диаграмме. Изложенные в пособии подходы по обработке 10 вариантов индикаторных диаграмм, заимствованных из [5] представляют достаточно полную информацию, дающую возможность студенту самостоятельно решить задачу об учете реальных сил производственных сопротивлений в приведенный момент механизма.

Реальную механическую характеристику двигателя учитываем, привлекая электронное пособие, описанное в работе [6], предназначенное для выполнения второй виртуальной лабораторной работы. Здесь показано как, опираясь на характеристики отдельных механизмов получить характеристики агрегата, входящие в дифференциальное уравнение движения машины, как подобрать мощность двигателя, определить параметры его механической характеристики. Найденные в итоге зависимости вносятся в подготовленное в записях Mathcad дифференциальное уравнение движения машины и рассматриваются его решение при различных условиях. Что позволяет, в конечном итоге, исследовать различные режимы движения машинного агрегата под действием приложенных сил.

Заключение. Описанные методические разработки были использованы для выполнения курсового проекта по ТММ в форме индивидуальной самостоятельной работы в дисплейных классах университета. Как показал опыт для придания уверенности студентам в возможности работы на предлагаемом уровне и приобретения навыков в использовании Mathcad и соответствующего начального импульса первые три занятия проводились для группы в целом под руководством преподавателя. Далее студенты делились на подгруппы по числу компьютеров в дисплейном классе и

выполняли проектирование сначала рычажных, затем зубчатых и кулачковых механизмов. Кроме указанных самостоятельных занятий на компьютере, перед каждым из них проводилось дополнительное консультационное занятие в аудитории общего пользования, в часы, выделяемые учебным отделом для групповых консультаций по проекту. На этих занятиях обсуждались компьютерные подходы и программы, с помощью которых будет осуществляться соответствующий этап проектирования. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что читаемый в настоящее время лекционный курс посвящен изложению и постановке общих вопросов и методов, в том числе и традиционных, и, из-за недостатка времени, не позволяет сосредоточить подавляющее внимание на компьютерных подходах на уровне их конкретного применения да еще и для конкретного вычислительного пакета.

В результате соответствующего конкретного опыта определилась тематика и цели названных занятий. На первом занятии рассматривается построение и последующее решение системы уравнений, определяющих функции положения механизма и ориентацию его звеньев в зависимости от положения приводного звена. Второе занятие посвящается компьютерному построению механизма и созданию анимации, отражающей работу механизма (сначала рассматриваются простейшие четырехзвенные механизмы). На последующем занятии излагаются подходы по осуществлению компьютерного синтеза шестизвенного механизма в соответствии с индивидуальной структурной схемой. Четвертое занятие посвящается изложению подходов к выполнению кинематического анализа и вычислению первых и вторых передаточных функций. Здесь же обсуждается как результаты, полученные на компьютере, сравнить с полученными ранее путем построения планов скоростей и ускорений для одного положения механизма.

Соответственно, пятая и шестая консультации выделяются для обсуждения вопросов динамического синтеза и анализа и их программной реализации. Последние седьмое и восьмое занятия предназначены для конструирования зубчатых и кулачковых механизмов в соответствии с методикой изложенной выше в соответствующих электронных пособиях.

Студенты, успешно освоившие все этапы компьютерного проектирования самостоятельно обобщают работу в виде проектирования машинных агрегатов с учетом особенностей индикаторных диаграмм для сил технологических сопротивлений и механической характеристики двигателя. Таким образом, можно с уверенностью отметить, что разработанный и реализованный в качестве эксперимента подход по внедрению компьютерных технологий, может быть использован для соответствующего расширения и модернизации курса ТММ или создания нового курса по основам компьютерного моделирования и проектирования в механике.

РЕЗЮМЕ

Представлен опыт кафедры теоретической механики по внедрению компьютерных методов при проектировании механизмов во время обучения студентов по курсу теории машин и механизмов. Выполненные работы позволяют подняться на более высокий уровень проектирования и расширить его горизонты.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Бокун, Г. С. Опыт внедрения компьютерных технологий в проектирование по курсу теории механизмов и машин / Г. С. Бокун, В. С. Вихренко, Д. В. Гапанюк // Труды БГТУ – Минск: БГТУ, 2009. – Серия 8. – Вып. 10. – С. 45–47.
3. Бокун, Г. С. Компьютерный практикум по проектированию рычажных механизмов / Г. С. Бокун, В. С. Вихренко, Д. В. Гапанюк // Теоретическая и прикладная механика: межведомственный сборник научно-методических статей. – Минск: БНТУ, 2011. – Вып. 26. – С. 248–252.
4. Компьютерная механика. Динамический и кинематический анализ: курс лекций / С. А. Гляков [и др.]: под ред. М. А. Журавкова. – Минск: БГУ, 2006. – 375 с.
5. Теория механизмов и машин: Метод. указания и контр. задания для студентов-заочников инженерно-технических специальностей вузов / Н. И. Левитский [и др.] – М.: Высш. шк., 1989. – 127 с.
6. Бокун, Г. С. Использование функциональных представлений MATHCAD в задачах динамики по курсу ТММ / Г. С. Бокун, В. С. Вихренко, Д. В. Гапанюк // Теоретическая и прикладная механика: межведомственный сборник научно-методических статей. – Минск: БНТУ, 2010. – Вып. 25. – С. 312–316.

SUMMARY

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 work performed gives possibility to significantly improve the level of teaching design and enlarge its horizons.

Поступила в редакцию 03.11.2013