

Данный параметр вместе со скоростью относительного перемещения звеньев определяет скорость перемещения участка контактного взаимодействия по поверхностям 1 и 2. Она определяется дифференцированием выражения

$$V_{F21} = \frac{dh}{dt} = \frac{d\left(\frac{G_2 l_{s2}}{F_{21}}\right)}{dt}.$$

В реальных парах действуют не сосредоточенные силы, а соответствующие им распределенные нагрузки. Зона контактного взаимодействия соответствует размеру меньшего из звеньев пары. Поэтому скорость  $V_{F21}$  не оказывает существенного влияния на процесс изнашивания. Возможно, данный параметр оказывает влияние на динамику нагружения локальных участков звеньев поступательных пар с малой жесткостью или нерегулярным в осевом направлении профилем, однако этот вопрос требует дополнительного исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ. RU 2107902 C1 1998.03.27. Способ повышения долговечности деталей подвижных соединений механизмов машин. Филонов И.П., Черкас А.А. 1998.03.27. Бюл. № 9.
2. Повышение долговечности трущихся элементов вращательных кинематических пар механизмов машин на основе моделирования их износа / И.П. Филонов, П.П. Анципорович, В.К. Акулич., Т.И. Булгак // Современные методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб науч. тр. Вып. 2. / под общ. Ред. П.А. Витязя. В 7 томах. Т. 4.— Мн.: УП «Технопринт», 2004. — С. 127 – 132.
3. Теория механизмов и механика машин / Под ред. К.В.Фролова. — 3-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2001. — 496 с.
4. Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М. К вопросу об определении износа во вращательных кинематических парах рычажных механизмов // Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сборник научно-методических статей. Вып. 23. — Мн.: БНТУ, 2008 — С. 178 – 181.
5. Кравчук А.С., Чигарев А.В. Механика контактного взаимодействия тел с круглыми границами. — Мн.: Технопринт, 2000. — 196 с.
6. Определение максимальной удельной нагрузки в паре «опорная поверхность вала – втулка подшипника» / Н.В. Спиридонов, И.О. Соколов, В.В. Коробейников, Л.И. Пилецкая // Машиностроение. Респ. межведомств. сб науч. тр. Вып. 23. / под ред. Б.М. Хрусталева. — Мн.: БНТУ, 2007. — С. 243 – 247.
7. Проников А.С. Надежность машин. — М.: Машиностроение, 1978. — 592 с.
8. Сопротивление материалов. Под ред. Г.С. Писаренко. — Киев, 1979. — 693 с.
9. Моделирование износа элементов поступательных кинематических пар с учетом перекосов в направляющих / И.П. Филонов, П.П. Анципорович, В.К. Акулич., Т.И. Булгак // Современные методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб науч. тр. Вып. 2. / под общ. Ред. П.А. Витязя. В 7 томах. Т. 4.— Мн.: УП «Технопринт», 2004. — С. 133 – 136.

УДК 621.01

*Анципорович П.П., Авсиевич А.М., Кудин В.В.*

#### **АНАЛИЗ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН У СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ» И «АВТОСЕРВИС»**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Курс теории механизмов и машин (ТММ) является одним из основных в общепрофессиональной подготовке инженеров-механиков. Для большинства механических специ-

альностей БНТУ ТММ является первой общетехнической дисциплиной, появляющейся в учебных планах после изучения базовых инженерных наук: физики, теоретической механики, сопротивления материалов. Согласно определению «Теория механизмов и машин» – наука об общих методах проектирования и исследования машин и механизмов, ее изучение позволяет связать полученные фундаментальные знания с объективной практической подготовкой. Знания и умения, полученные при изучении дисциплины ТММ, необходимы при освоении последующих специальных дисциплин, связанных с проектированием и расчетом машин, механизмов, их деталей и узлов. В соответствии с типовой программой, в результате изучения дисциплины студент должен иметь навыки составления расчетных схем машин и механизмов для решения различных технических задач, владеть методиками выполнения кинематических и динамических расчетов, в том числе с применением ЭВМ, уметь применить их результаты для получения оптимальных характеристик механизмов и машин. Итогом изучения дисциплины ТММ является курсовое проектирование, в процессе которого полученные знания и навыки должны быть закреплены. При изучении курса в целом и выполнении курсового проекта в частности у студентов должно сформироваться понимание, что проводимые для машинного агрегата расчеты на уровне схемы в дальнейшем ложатся в основу прочностных расчетов элементов конструкций и разработки конструкторской документации при разработке новой или усовершенствовании существующей машины.

При выборе тем и содержания курсового проектирования для каждой специальности на кафедре «Теория механизмов и машин» БНТУ традиционно отдается предпочтение рассмотрению таких машин и механизмов, с которыми будущий специалист будет преимущественно сталкиваться в своей профессиональной деятельности. Специфика специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис», которую необходимо учесть при организации обучения ТММ, заключается в освоении студентами принципов функционирования, рациональной эксплуатации и ремонта автомобиля – сложного машинного агрегата с широким диапазоном режимов работы, включающего в себя согласованно работающие отдельные механизмы различной структуры. Это предполагает необходимость освоения синтеза и анализа различных механизмов, осознание взаимосвязи производимых расчетов с последующими этапами проектирования.

Разрабатывая задания на курсовой проект или работу, следует стремиться к сохранению комплексного подхода к проектированию и исследованию машинного агрегата как системы механизмов. Соблюдение данного требования затрудняется в условиях сокращения объемов курсового проектирования, происходящего в процессе оптимизации учебной нагрузки. Ранее студенты всех механических специальностей выполняли курсовой проект, состоящий из четырех разделов: динамики машинного агрегата, динамического анализа рычажного механизма, синтеза кулачкового механизма и синтеза системы управления. С переходом на рассматриваемых специальностях от проекта к курсовой работе встала задача сохранения комплексного подхода к проектированию при снижении объема работы.

Важную роль в приводах автомобильной техники играют рычажный кривошипно-ползунный механизм и кулачковый механизм газораспределения, передаточные зубчатые механизмы. Вопросам динамики машинного агрегата в целом уделяется первостепенное значение на лекционных и практических занятиях в первом семестре изучения теории механизмов и машин. Изучение данного раздела формирует у студентов понимание принципов передачи энергии в машинном агрегате между входным и выходным звеньями. Синтезу зубчатых зацеплений и кинематике зубчатых механизмов помимо значительного объема лекционных и практических занятий, посвящены лабораторные работы, выполняемые на макетах и установках, достаточно полно имитирующих реальные процессы. Это способствует качественному усвоению изучаемого материала. Учитывая все вышесказанное, в тематике курсового проектирования специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис» в условиях сокращения учебной нагрузки были сохранены вопросы кинематического и силового анализа рычажных механизмов, а также синтеза кулачковых механизмов.

Для исследования в курсовом проектировании подобраны различные по компоновке схемы механизмов, используемые в автомобильной технике – от малолитражных до большегрузных машин. Это кривошипно-ползунные механизмы, соответствующие функционирующим

в двигателях внутреннего сгорания с двумя шатунно-поршневыми группами, а также кулачковые механизмы.

Курсовая работа состоит из разделов: «Динамический анализ рычажного механизма ДВС» и «Синтез кулачкового механизма газораспределения», каждому из которых соответствует графическая часть формата А1. Пояснительная записка оформляется согласно стандарту на листах формата А4 в объеме 20 – 25 страниц. При рассмотрении рычажного механизма последовательно производятся структурный и кинематический анализ, силовой расчет. Расчеты производятся для одного положения механизма, определяемого заданным значением обобщенной координаты. Однако при постановке задачи преподавателем делается акцент на том, что применяемая методика является универсальной и для реальных циклически работающих механизмов необходимо определять аналогичные параметры для нескольких положений с заданным шагом по обобщенной координате. В процессе расчетов студент уясняет взаимосвязь разделов курса теории механизмов и машин, приобретает навыки решения комплексной инженерной задачи, которая по своему содержанию соответствует разработке технического задания на проектирование в условиях подготовки производства реальных машин. Обращается внимание на то, что результаты силового расчета используются для прочностного расчета коренных и шатунных шеек коленчатого вала, шатунов, поршневых пальцев, гильзы цилиндров, поршня и поршневых колец, являются основой для разработки сборочного чертежа изделия и рабочих чертежей основных деталей.

Синтез кулачкового механизма включает в себя определение кинематических характеристик движения выходного звена, расчет основных размеров и построения профиля кулачка для механизма с поступательно движущимся роликовым или плоским толкателем.

Рекомендуется применять графические методы расчетов, отличающиеся наглядностью и позволяющие студентам глубже усвоить теоретические основы проектирования. Лист, посвященный анализу рычажного механизма, содержит план скоростей, ускорений и планы сил групп Ассура и начального звена механизма. Второй лист включает построение графиков кинематических характеристик толкателя, совмещенную диаграмму перемещения и аналога скорости для графического определения основных размеров и построение центрового и действительного профилей кулачка методом обращенного движения. Для механизмов с роликовым толкателем выполняется анализ изменения угла давления за цикл работы.

В основу выполнения курсовой работы положено учебно-методическое пособие, включающее в себя задания на курсовую работу и методические указания по ее выполнению. Отдельные главы пособия построены в виде примера выполнения разделов работы. Они начинаются с постановки задачи, описания последовательности и методик проектирования, что позволяет четко определить место всех расчетов в общей схеме исследования.

Для успевающих студентов предусмотрено по их желанию выполнение расчетов аналитическими методами. При этом проводится сопоставление результатов расчетов графическим и аналитическим методом. Для проектирования кулачкового механизма студенты могут использовать разработанный на кафедре программно-методический комплекс "Синтез кулачковых механизмов", включающий в себя компьютерную программу и методические указания по курсовому проектированию.

Таким образом, объем курсовой работы по сравнению с выполнявшимся ранее курсовым проектом по теории механизмов и машин уменьшен примерно наполовину, исключен большой объем вычислительных расчетов, в результате чего значительно сокращены временные затраты студента на ее выполнение. Все это позволяет обратить большее внимание на качество выполнения и анализ результатов расчетов. По ходу выполнения работы студент сталкивается с вопросами и закрепляет материал из смежных разделов курса, не входящих непосредственно в тему курсовой работы. В этом случае студенту предлагается написание реферата, где он более глубоко анализирует некоторые из вопросов параллельных разделов курса теории механизмов и машин. При этом поощряется самостоятельное составление алгоритмов и разработка соответствующих программных продуктов для расчета тех или иных кинематических и динамических характеристик механизмов. Программы могут реализовываться как с использованием таблиц Excel, так и различных языков программирования

Дополнительные виды работ в рамках курсовой работы по ТММ развивают стремление студента к комплексному исследованию технического объекта в рамках учебного процесса, стимулируют повышение качества и уровня работы путем введения в чисто учебное задание элементов исследовательского проекта. В конце семестра каждый студент имеет возможность на итоговом занятии сделать доклад в студенческой группе по результатам дополнительных исследований. Прослушав доклады друг друга, студенты обогащаются большим объемом информации по разным аспектам проектирования в курсе теории механизмов и машин. Лучшие работы рекомендуются на студенческую конференцию вуза.

К защите курсовой работы студенты готовят доклад, по качеству которого можно оценить глубину понимания выполненной работы, в частности места и роли проведенных расчетов решении реальных производственных задач.

Трехлетний опыт организация курсового проектирования для специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис» показывает, что описанные принципы выполнения курсовой работы обеспечили успешное освоение методик расчетов при значительном сокращении учебной нагрузки. Сохраняется глубокое понимание студентами основных положений раздела «Динамический анализ» курса теории механизмов и машин и принципов синтеза механизмов.

УДК 620.1

*Якубовский А. Ч., Якубовский Ч.А.*

## **ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЗАДАЧ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ КОМПАС–3D**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Решение практических задач многих общетехнических дисциплин, в том числе курса «Сопrotивление материалов», обязательно сопровождается графическими построениями. В частности, при исследовании нагруженных элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость одним из важнейших этапов, непосредственно влияющих на правильность и точность расчетов, является составление расчетной схемы элемента конструкции и построение эпюр внутренних силовых факторов. Для этих целей при оформлении наглядного материала в учебном процессе целесообразно использовать компьютерные графические программы, например: КОМПАС-3D, AutoCAD, Corel Draw, графический редактор MS Word «Рисование» и пр.

Эффективной является программа КОМПАС-3D — система трехмерного твердотельного моделирования [1, 2]. Это мощная, постоянно совершенствующаяся, максимально адаптированная к действующим в настоящее время российским и белорусским стандартам система автоматизированного проектирования, в которой заложены основные принципы создания трехмерных моделей и чертежей с удобными для пользования и доступными для понимания приемами работы. Она включает справочники и библиотеки деталей и стандартных изделий, а также обладает мощным функционалом для работы над машиностроительными и строительными проектами, что позволяет реализовать классический процесс трехмерного параметрического проектирования — от идеи к ассоциативной объемной модели, от модели к конструкторской документации.

Основной задачей, решаемой системой, является существенное сокращение периода проектирования изделий и скорейший запуск их в производство. Это достигается благодаря тому, что КОМПАС-3D обладает большими возможностями трехмерного твердотельного моделирования, а именно:

- ассоциативное задание параметров формообразующих элементов и булевы операции над типовыми элементами — построение основных и вспомогательных прямых, плоскостей, пространственных кривых, создание поверхностей;
- моделирование деталей различной сложности, в том числе, из листового материала