

$J_{\Pi}$  – приведенный момент инерции.  $M_{\Pi}^D$ ,  $M_{\Pi}^C$  и  $J_{\Pi}$  находятся путем использования известных методов приведения сил и масс.

Для численного решения дифференциального уравнения движения и определения закона движения  $\omega_1(\varphi_1)$  дифференциальное уравнение представляется в виде

$$\frac{d\omega_1}{d\varphi_1} = \frac{M_{\Pi}^D + M_{\Pi}^C + M_{\Pi}^T - \frac{\omega_1^2}{2} \cdot \frac{dJ_{\Pi}}{d\varphi_1}}{J_{\Pi}\omega_1}.$$

На кафедре теории механизмов и машин БНТУ разработано соответствующее программное обеспечение, позволяющее выполнить силовой расчет и определить закон движения механизмов с учетом трения в кинематических парах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – 4-е изд. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Динамика машин и механизмов в установившемся режиме движения / П.П. Анципорович [и др.]. – Минск: БНТУ, 2008. – 42 с.
3. Механика машин / И.И. Вульфсон [и др.]; под ред. Г.А. Смирнова. – М.: Высш. шк., 1996. – 511 с.
4. Теория механизмов и механика машин / К.В. Фролов [и др.]; под ред. К.В. Фролова. – 5-е изд. – М.: Высшая школа, 2005. – 496 с.

УДК 621.01

*Анципорович П.П., Дворянчикова А.Б, Галаев К.О.*

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

В курсовом проекте по теории механизмов, машин и манипуляторов предусмотрено рассмотрение таких вопросов, как динамика машинного агрегата, динамический анализ основного исполнительного механизма машины, синтез кулачкового механизма. Они решаются в пояснительной записке и на трех листах чертежей формата А1. Ранее значительная часть работ выполнялась графическими методами /1, 3/. В настоящее время широкое применение получили аналитические методы проектирования и исследования /2, 5/, на основе которых разработаны алгоритмы расчетов и соответствующие им программные продукты. Используя их, можно решить достаточно сложные задачи современной механики и проанализировать результаты. Пользователь при этом зачастую не имеет достаточного представления о том, какие модели исследования положены в основу, каковы их достоинства и недостатки. Усовершенствовать или разрабатывать программное обеспечение можно только при совместной работе специалистов в областях информационных технологий, теории механизмов и машин, компьютерной механики. Приобретению студентами умений моделирования механизмов и машин, алгоритмизации динамических процессов, синтеза механизмов способствует процесс курсового проектирования по теории механизмов и машин. Блок-схема динамического исследования машинного агрегата (рис. 1) является достаточно сложной.



Рис. 1. Блок-схема динамического исследования машинного агрегата

Инновационность современной методики проектирования заключается в гармоничном сочетании графических и аналитических методов проектирования, позволяющем избежать роста трудозатрат студентов. Дело в том, что, считая аналитические методы в проектировании основными, их необходимо, в первую очередь, использовать для облегчения рутинных, повторяющихся процессов расчетов. Алгоритмы расчетов, разрабатываемые студентом, не должны быть сложными и громоздкими, чтобы студент при желании мог написать простейшие программы на любом известном ему алгоритмическом языке. Если же применяются готовые программы, то они должны иметь обучающую направленность, обеспечивающую вывод на экран графического материала (графиков, движущихся объектов), позволяющего студентам глубже усвоить используемые алгоритмы исследования. Графические методы решения целесообразно применять в двух случаях. Во-первых, если аналитическое решение какой-либо задачи в проекте достаточно сложное и не содержит повторяющихся расчетов. Во-вторых, графические методы используют в минимальном объеме для закрепления теоретических знаний и для сравнения аналитических и графических результатов.

Так при динамическом синтезе и анализе машинного агрегата (рис. 2) в пояснительной записке производится геометрический синтез размеров механизма [4], вычисляются их чертежные размеры, начальная обобщенная координата кривошипа, соответствующая левому крайнему положению ползуна, после чего на листе 1 вычерчиваются планы положений механизма. Далее, используя полученную разметку хода ползуна, строится механическая характеристика технологического процесса, откуда получают значения сил полезного сопротивления. Графически строится также план аналогов скоростей (только для одного положения), затем для этого же положения аналитически выполняется контрольный расчет. Полное же исследование аналогов скоростей за цикл движения осуществляется на ЭВМ. Аналогично определяются и другие параметры. Полученные с помощью ЭВМ результаты исследований динамики машины за цикл движения изображаются в виде графиков на чертеже.

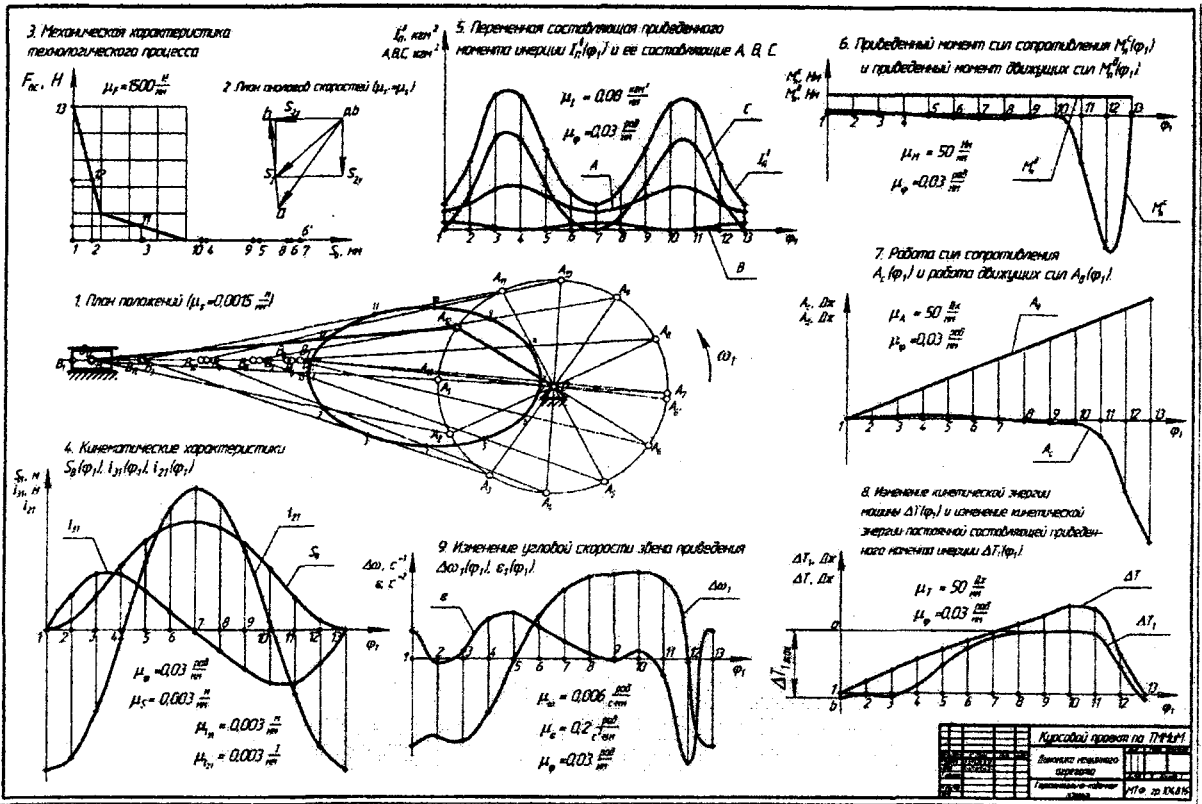


Рис. 2. Лист 1 «Динамика машинного агрегата»

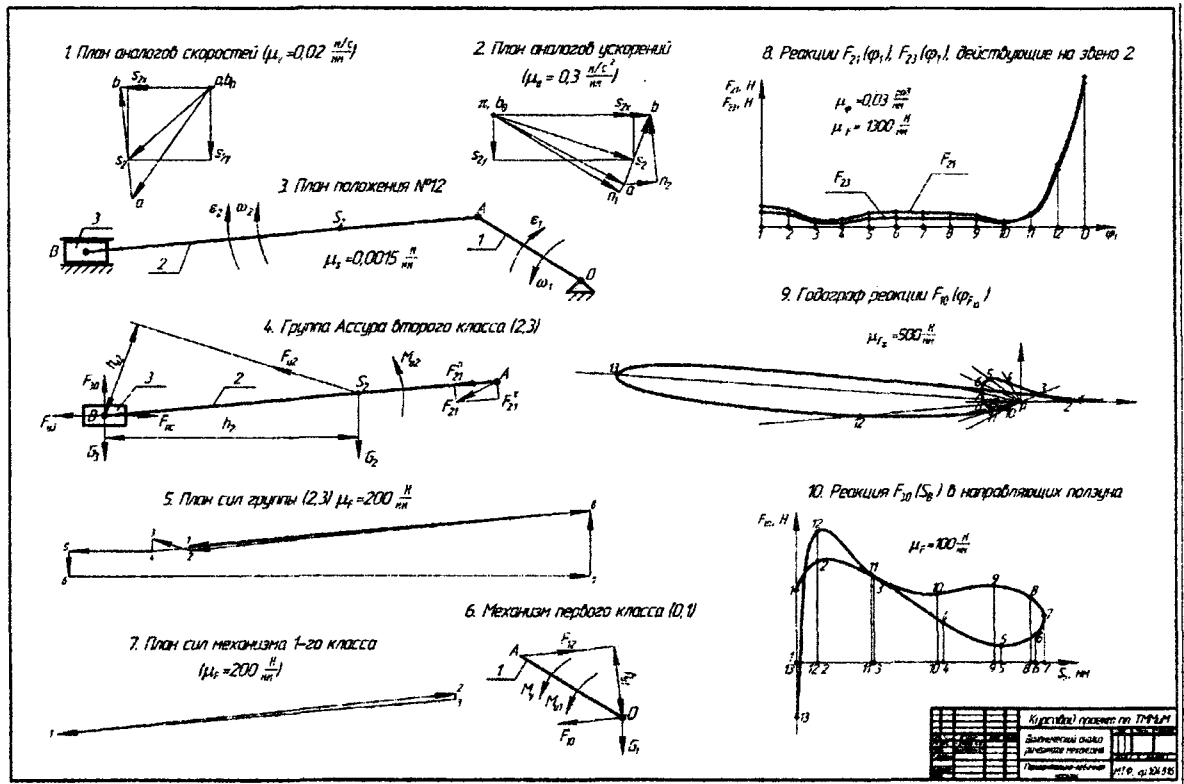


Рис. 3 «Динамический анализ рычажного механизма»

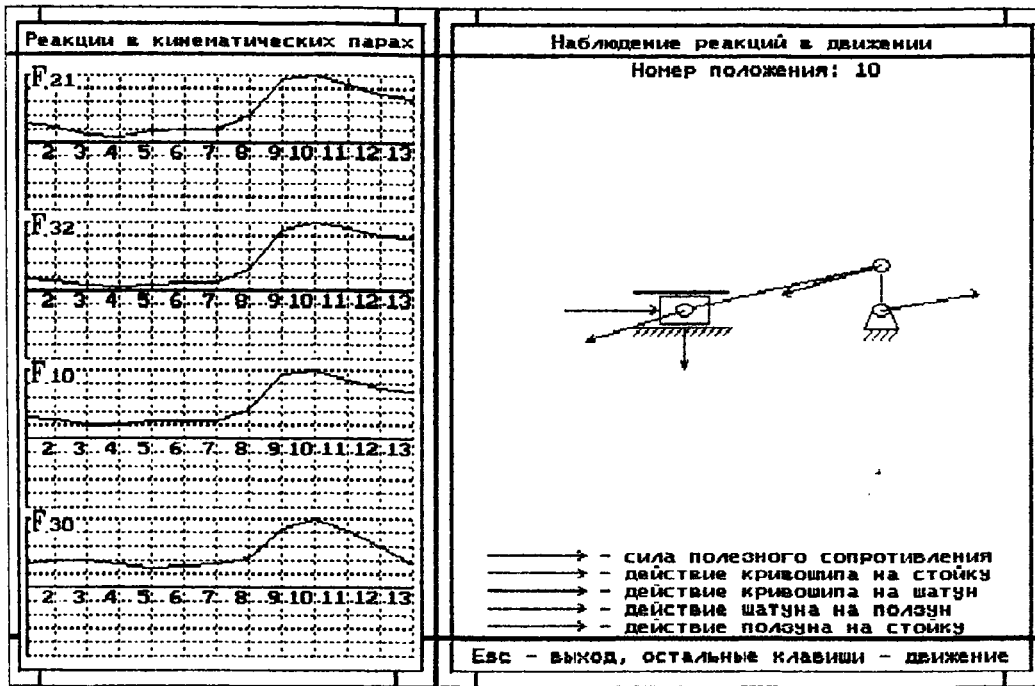


Рис. 4 Реакции в кинематических парах механизма

Динамический анализ основного исполнительного механизма выполняется графически

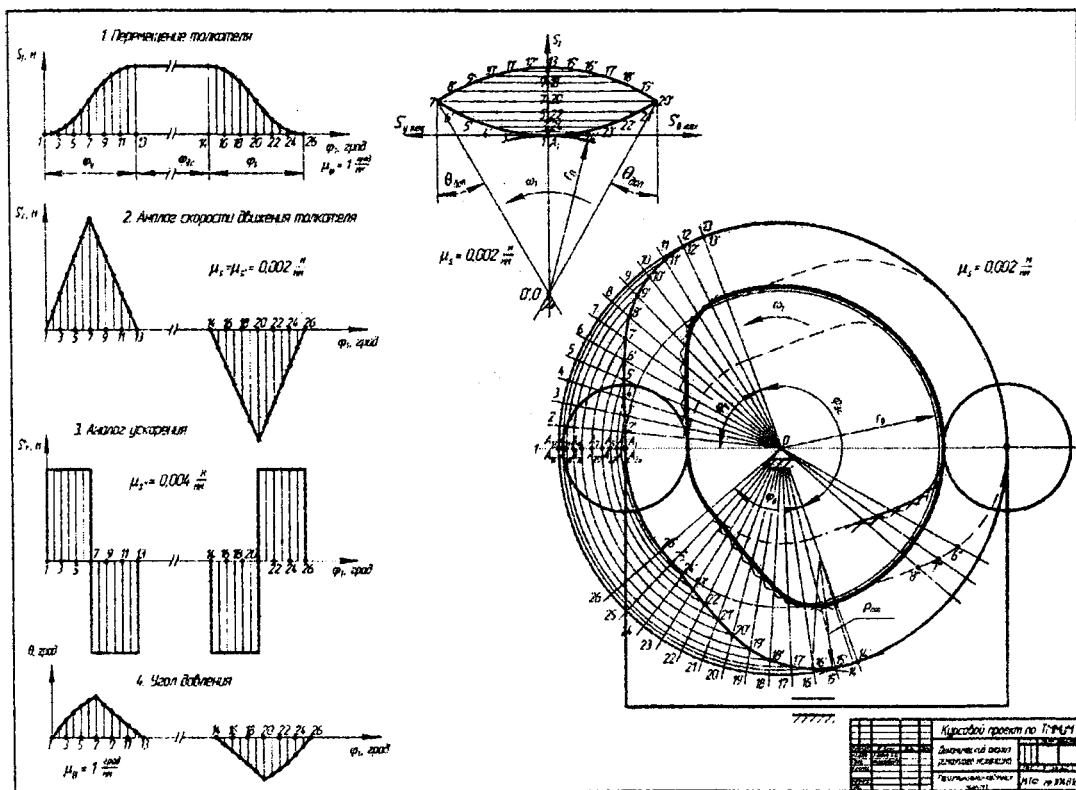


Рис. 5. Лист 3 «Динамический синтез кулачкового механизма»

только для одного (контрольного) положения. Так как в силовом расчете учитываются инерционные нагрузки, предварительно строятся планы скоростей и ускорений. Для этого же положения по разработанному студентом алгоритму вручную выполняется аналитический контроль

ный расчет. На листе 2 (рис. 3), используя результаты расчетов на ЭВМ, графически строятся годографы реакций в кинематических парах, график реакции в направляющих ползуна. Разработанные на кафедре программы позволяют анимировать изображение механизма с показом в масштабе реакций в кинематических парах (рис. 4). Анализ характера изменения реакций за цикл движения имеет наибольшую ценность для конструктора, поскольку позволяет определить предполагаемый износ в подвижных соединениях.

Динамический синтез кулачкового механизма для определения основных размеров механизма требует вычисления функций положения толкателя, аналогов скорости и ускорения. В данном случае, как и при выполнении других листов, вручную данные параметры рассчитываются только для одного положения на фазах удаления и возвращения. Несмотря на то, что в результатах работы программы имеются координаты центрального и действительного профилей кулачка, для лучшего понимания работы механизма построение профилей производится графическим методом обращенного движения.

Для облегчения проектирования разработаны методические пособия /4/, /5/ и компьютерные программы по всем разделам курсового проекта. Интерактивный характер работы программ позволяет обучаемым в процессе проектирования изменять любые входные параметры и исследовать их влияние на результаты проектирования.

Студенты допускаются к работе на ЭВМ только в случае своевременного и качественного выполнения контрольных расчетов.

Практика применения изложенных технологий показала улучшение знаний студентов и ритмичности выполнения проекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – 4-е изд. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Филонов И.П., Анципорович П.П., Акулич В.К. Теория механизмов, машин и манипуляторов. – Мн.: Дизайн Про, 1998. – 655 с.
3. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Под общ. ред. Г.Н. Девойно. – Мн.: Высш. шк., 1986. – 285 с.
4. Анципорович, П.П. Синтез кривошипно-ползунных механизмов: Учебно-метод. пособие к курсовому проектированию для студ. механических спец. / П.П. Анципорович, В.К. Акулич, Е.М. Дубовская – Мн.: БНТУ, 2005. – 22 с.
5. Анципорович П.П. Динамика машин и механизмов в установившемся режиме движения: Учебно-метод. пособие по курсовому проектированию по дисц. «Теория механизмов, машин и манипуляторов»/ П.П. Анципорович, В.К. Акулич, А.Б. Дворянчикова, Е.М. Дубовская. – Мн.: БНТУ, 2007. – 40 с.

УДК 621.01.752

*Анципорович П.П., Кудин В.В.*

## УРАВНОВЕШИВАНИЕ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЗВЕНЬЕВ В ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

При движении механической системы под действием внешних сил в ней могут возникать механические колебания и вибрации, причинами которых являются как периодические изменения сил в машинах, так и кинематические возмущения либо инерционные характеристики звеньев. Одна из основных причин виброактивности механической системы является собственная неуравновешенность как звеньев, так и механизма в целом.

В курсе «Теория механизмов и машин» уделено значительное внимание вопросам выявления неуравновешенности ротора, как тела, которое при вращении удерживается своими несущими поверхностями в опорах. В зависимости от числа опор рассматриваются как двух-,