

В.Є. Стаценко, к.т.н., доц.  
С.С. Чайковський, ст. викл.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ МЕХАНІЗМІВ І ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

В статті представлено огляд технічної інформації про так звані САЕ-системи для автоматизованого розрахунку та аналізу виробів машинобудівних галузей промисловості, який зроблено на основі публікацій періодики, а також матеріалів, зібраних на спеціалізованих виставках, конференціях та семінарах.

Впровадження персональних комп'ютерів у процес проектування машинобудівної продукції, як правило, починається із застосування програмних засобів для автоматизації випуску графічної документації. Програми для виконання креслень, які також звуться графічними редакторами, іноді включають в себе спеціалізовані розрахункові модулі, можливості котрих звичайно обмежуються визначенням набору параметрів, необхідних для формування робочого креслення деталі. Прикладом такого рішення може служити бібліотека Shaft Plus для проектування валів у креслярсько-конструкторському пакеті КОМПАС-ГРАФИК. Креслення утвореної деталі обертання (вала) складається зі ступенів, деякі з котрих можуть бути елементами механічних передач. Розрахункова програма GEARS, що викликається при цьому, дозволяє зробити розрахунок геометричних параметрів та перевірити міцність зубчастих (циліндричних і конічних), черв'ячних, ланцюгових і пасових передач. Необхідні розміри на основних проєкціях, додаткові види і перетини, оформлені відповідно до вимог стандартів таблиці параметрів передачі, вставляються в креслення автоматично (рис. 1).

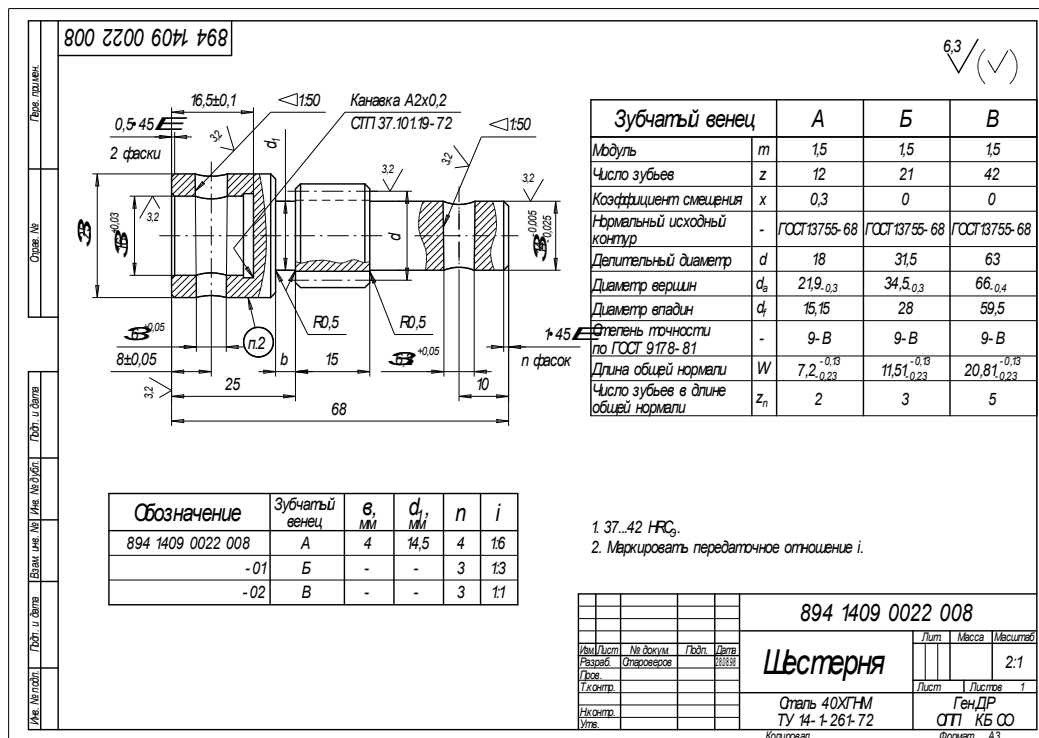


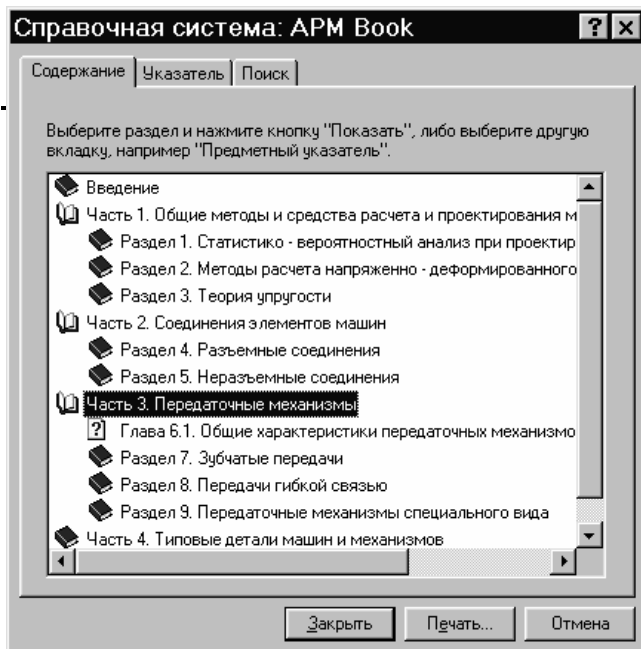
Рис. 1. Приклад вал-шестерні, спроектованої на АвтоВАЗ в КОМПАС-бібліотеці Shaft-Plus

Істотно підвищуючи продуктивність створення робочої конструкторської документації, подібні рішення все ж не дозволяють провести достатньо повний проектний аналіз різноманітних параметрів усього вузла. Такий підхід до автоматизації проектування, що, на жаль, є традиційним для машинобудування, неминуче призводить до прийняття недостатньо розрахунково-обґрунтованих рішень. Випуск високоякісної і при цьому дешевої продукції можливий тільки при використанні сучасних комп'ютерних систем розрахунку й аналізу. Продукти такого призначення прийнято називати САЕ-системами. У світовій практиці комп'ютеризації машинобудівного виробництва вони міцно зайняли своє місце в тріаді

CAD/CAE/CAM-продуктів (Computer Aided Design/Computer Aided Engineering/Computer Aided Manufacturing), що власне й охоплює галузь застосування САПР (Систем Автоматизованого Проектування).

За своїм призначенням CAE-системи дуже різноманітні. Проте серед них можна виділити групу продуктів, що користуються найбільшим попитом і широко поданих на світовому ринку програмного забезпечення. Насамперед, це інструменти скінчено-елементного аналізу (FEM-пакети, від скорочення Finite Elements Method.). Подібні програмні засоби дозволяють вирішувати проблеми розрахунків на довговічність і жорсткість, задачі теплового аналізу, а також задачі плинності та розрахунку електромагнітних полів. Хоча перераховані задачі фізично різноманітні, усі їх можна описати математично подібними системами рівнянь. Така структурна подоба дозволить вирішувати їх йодними методами. Задача скінчено-елементного аналізу може бути подана як набір із чотирьох незалежних складових. По-перше, це – геометричне уявлення тривимірного об'єкта. По-друге, – розбивка отриманого об'єкта на скінчені елементи. Тільки після цього об'єкт, змодельований у вигляді сукупності скінчених елементів, можна розрахувати, звичайно, за допомогою відповідного засобу – так званого вирішувача – це по-третє. І, нарешті, по-четверте, отримані в результаті рішення значення необхідно ще переглянути і роздрукувати. Для цих цілей звичайно використовується постпроцесор-візуалізатор, який також можна уявити у вигляді окремого продукту. Таким чином, виявляється, що для повноцінного скінчено-елементного пакета одного вирішувача недостатньо, необхідні ще і тривимірна графіка, і всі інші вищевказані компоненти. Отже, проведення інженерних розрахунків – це комплексна задача, яка потребує наявності множини сучасних програмних інструментів. Назвемо ряд систем скінчено-елементного аналізу західного виробництва, достатньо широко поданих на ринку країн СНД. Це NASTRAN, COSMOS, ANSYS. Крім того, розрахункові модулі, у тому числі і для скінчено-елементного аналізу, як правило, присутні й в інтегрованих системах (CAD/CAE/CAM). Найбільш потужні з них це – CATIA, I- DEAS, Pro/Engineer, Unigraphics, Euclid [1]. За допомогою сучасних CAE-систем можна вирішити широке коло задач визначення параметрів, аналізу й оптимізації конструкції проектованого обладнання. Метод скінчених елементів може бути притаманним і великому числу технологічних задач. Це задача нелінійного пластичного деформування при штампуванні і куванні, задача теплопередачі при охолодженні ливарних форм, задача пластичного деформування при опрацюванні металів різанням і т. д. Окремо зупинимося на задачах кінематичного та динамічного аналізу машин і конструкцій. За експертними оцінками більше половини світового ринку тут обслуговує система ADAMS. Власні коливання систем і розрахунки динаміки в умовах змушеного навантаження можна виконати з використанням пакетів скінчено-елементного аналізу. Більшість із них дозволяють вирішувати також і задачі динамічного аналізу. Відразу необхідно відзначити, що всі перераховані західні програмні продукти досить дорогі, вартість навіть університетських ліцензій на них обчислюється тисячами доларів. Тому для наших підприємств і навчальних закладів становлять інтерес більш доступні за цінами розробки компаній країн СНД. На жаль, припадає констатувати, що на ринку програм СНД не має повноцінних аналогів відомих західних скінчено-елементних систем. На території країн СНД виробники почали займатися цими проблемами багато пізніше й у цілком інших фінансових умовах. У той же час розробка таких програмних продуктів потребує найвищої кваліфікації і тому обходиться досить дорого. Але хоча виробників CAE-систем у СНД не так багато і зроблено ними менше, створені програмні засоби можна успішно використовувати для розрахунку й аналізу. Наприклад, гарний вирішувач скінчено-елементних задач зроблено у системі ИСПА (ВТУЗ при ЗІЛі). Є також одиничні установки пакетів «Зенит», «Диана», «Полина», «Риман», 3 продуктів динамічного аналізу можна також відзначити російську розробку, відому за назвою «Euler» (НТП Автомеханіка). Звичайно, є й інші продукти CAE-аналізу, але в них дуже вузька спеціалізація.

Найбільш поширеним, особливо в сфері освіти, продуктом цього класу є система «Автоматизованого проектування машин», розроблена в НТЦ АПМ (м. Корольов), що розповсюджується під загальною торговою маркою APM WinMachine. Ця система являє собою сукупність загальноінженерних інструментів проектування. Слід зазначити, що при розробці методичної бази системи APM WinMachine був використаний унікальний досвід конструювання машин, накопичений у колишньому СРСР, що був доповнений власними оригінальними розробками авторів і реалізований у вигляді комплексу комп'ютерних програм. Система APM WinMachine містить у собі інструменти і програми для автоматизованого розрахунку і проектування деталей машин, механізмів, елементів конструкцій та вузлів. Крім того, вона має сучасні графічні засоби, умонтовані бази даних, необхідну інформаційну базу, розгалужену систему підказувань і фундаментального електронного підручника з основ проектування машин (рис. 2). Методи, що здебільшого застосовувалися при розробці окремих модулів системи APM WinMachine, тепер доступні у вигляді виданої у 2000 році книги директора НТЦ АПМ, професора МГТУ ім. Н.Е. Баумана В.В. Шелофаста [2]. Зміст книги більшою або меншою мірою відповідає програмам таких навчальних курсів, як технічна механіка, опір матеріалів, будівельна механіка, деталі машин, теорія механізмів і машин, САПР і т. п.



APM WinMachine містить сучасні ефективні та надійні алгоритми і програми для розрахунку:

- енергетичних і кінематичних параметрів;
- довговічності й жорсткості;
- витривалості при змінних режимах навантаження;
- ймовірності, надійності і зносостійкості;
- динамічних характеристик.

Крім цього, APM WinMachine має набір інструментальних засобів розрахунку й аналізу. Ці засоби в залежності від призначення розподілені на підсистеми (модулі), що можуть функціонувати як у складі системи, так і самостійно. Все це утворює єдиний комплекс APM WinMachine, у який входять такі підсистеми:

теми:

- **WinJoint** – підсистема розрахунку і проектування з'єднань деталей машин і елементів конструкцій, що дозволяє виконати комплексний розрахунок усіх типів різьбових, зварних, заклепочних з'єднань і з'єднань деталей обертання;

Рис. 2. Вікно довідкової системи WinBook

також черв'ячних, пасових і ланцюгових передач та виконання креслень елементів цих передач в автоматичному режимі;

- **WinScrew** – підсистема для розрахунку неідеальних передач поступального прямування, що дозволяє розрахувати гвинтові передачі ковзання, кулькові гвинтові і планетарні гвинтові передачі;
- **WinBear** – підсистема розрахунку неідеальних підшипників кочення для проведення комплексного аналізу опор кочення усіх відомих типів;
- **WinPlain** – підсистема розрахунку й аналізу радіальних і підпірних підшипників ковзання, що працюють в умовах рідинного і напіврідинного тертя;
- **WinShaft** – підсистема розрахунку, аналізу і проектування валів і осей;
- **WinDrive** – підсистема розрахунку і проектування привода довільної структури і планетарних передач;
- **WinSpring** – підсистема розрахунку і проектування пружин та інших пружних елементів машин, що дозволяє розрахувати і накреслити пружини стиску, розтягу і крутіння, плоскі пружини, а також тарілчасті пружини і торсионі;
- **WinCam** – підсистема розрахунку і проектування кулачкових і мальтійських механізмів з автоматичним генератором креслень;
- **WinSlider** – підсистема розрахунку і проектування площинних підйомних механізмів довільної структури;
- **WinBeam** – підсистема розрахунку і проектування балкових елементів конструкцій;
- **WinTruss** – підсистема розрахунку і проектування площинних фірмових конструкцій;
- **WinFEM2D** – підсистема розрахунку напружено-деформованого стану площинних деталей методом скінчених елементів;
- **WinFrame3D** – підсистема розрахунку напружено-деформованого стану тривимірних рамних конструкцій;
- **WinStructure3D** – підсистема розрахунку і проектування пластинчастих, оболонкових і стрижневих конструкцій та їхніх довільних комбінацій;
- **WinGraph** – підсистема оформлення графічної документації, що включає в себе інструменти для параметризації і набір бібліотек стандартних деталей та інструменти для обміну графічною інформацією;
- **WinData** – підсистема збереження і редагування стандартних та інформаційних даних, необхідних для функціонування кожної із перерахованих вище підсистем;
- **WinBook** – електронний підручник «Основи проектування машин», у якому викладені основні методи розрахунку, використані при розробці системи.

Кожна підсистема надає користувачу інтегроване середовище, яке у загальному випадку містить у собі:

- спеціалізований графічний редактор;
- повний цикл обчислень;
- різноманітні засоби подання результатів розрахунку;

- умонтовані бази даних.

У 2000 р. ЖІТІ також набув пакет APM WinMachine для використання в навчальних цілях. Мережевий електронний ключ дозволяє запускати до 10-ти робочих сеансів програм системи одночасно на будь-якому ПК у навчальних класах інституту. Наприклад, програми розрахунку валів, передач, підшипників кочення і ковзання рекомендується використовувати при курсовому проектуванні з курсу «Деталі машин» [3].

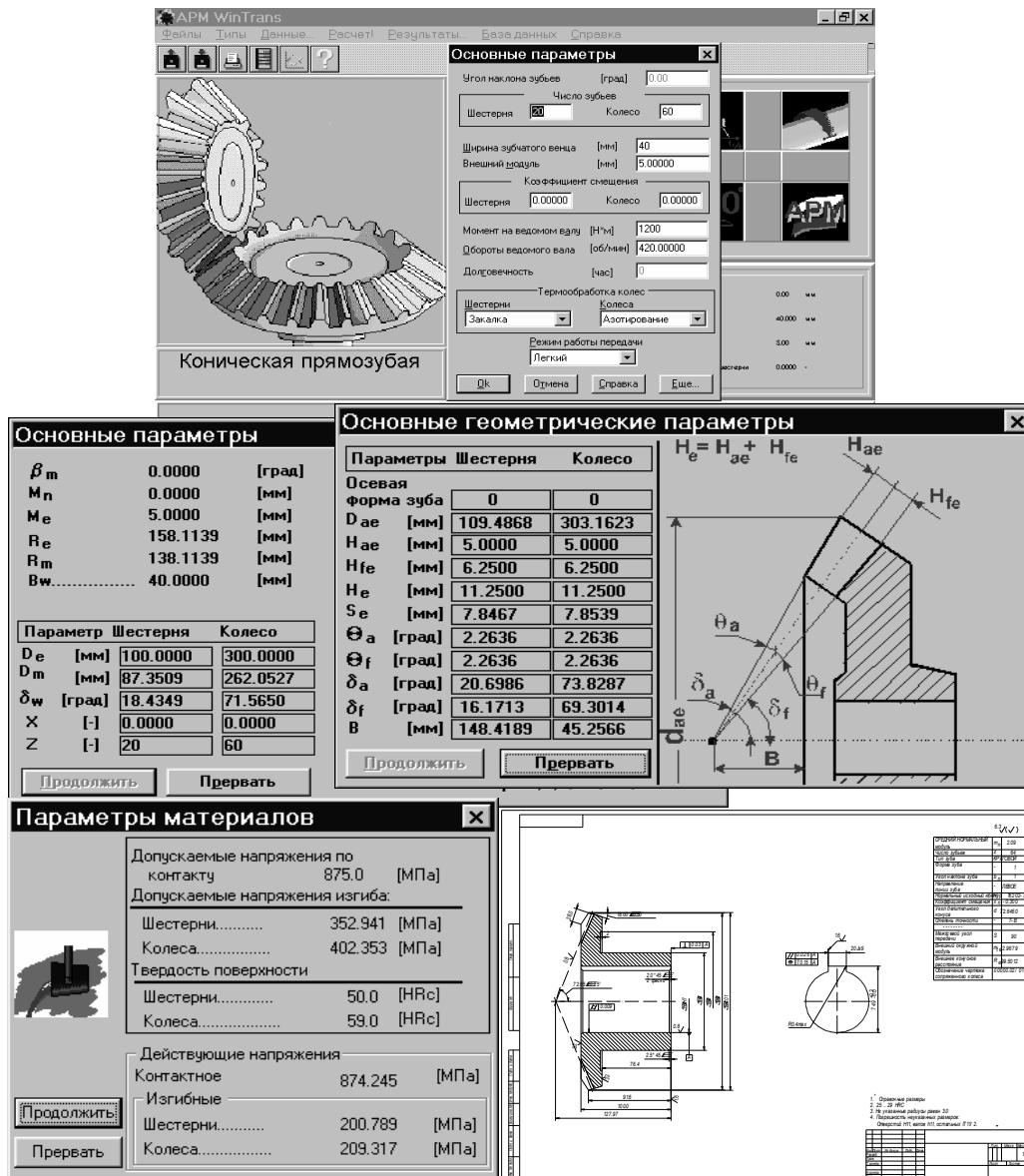


Рис. 3. Приклади використання WinTrans до курсового проектування з курсу «Деталі машин»

В міру розвитку системи майже усі її модулі піддаються доробці. Найбільшу доробку проводили останнім часом у модулі розрахунку і проектування просторових рамних, пластинчастих і оболонкових конструкцій APM WinStructure 3D. НТЦ АПМ зробив ще один крок на шляху створення повноцінного продукту скінчено-елементного аналізу. Тепер у ньому не дістає тільки розрахунків солід-моделей. У цьому напрямку інтенсивно ведуться роботи, які плануються завершити в 2001 році.

У 2000 році була продовжена робота зі створення інструментів просторового кінематичного і динамічного аналізу механізмів, що виявилася значно більш важкою, ніж це передбачалося на початковій стадії. Проте і тут були досягнуті деякі результати. У перспективі мова йде про створення системи кінематичного аналізу, подібно тій, що продається під маркою ADAMS. Створений новий модуль, що одержав назву APM WinDrive, – це комплексна програма розрахунку і проектування приводів обертового прямування довільної структури. В основі модуля лежить редактор елементів кінематичної схеми, до складу якої можуть входити передачі, вали і підшипники. Передачу можна вибрати з такої бібліотеки елементів:

- циліндричні усіх відомих типів евольвентного профілю;

- конічні з прямим і круговим зубами;
- черв'ячні;
- пасові;
- ланцюгові.

Крім передач у вихідних даних необхідно задати підшипники кочення, що вибираються з бібліотеки примітивів:

- кулькові радіальні;
- кулькові дворядні сферичні;
- кулькові радіально-підпірні і підпірно-радіальні;
- кулькові підпірні;
- роликові радіальні і голчасті;
- роликові дворядні сферичні;
- роликові радіально-підпірні і підпірно-радіальні;
- роликові підпірні.

З множини типів передач, валів і підшипників можна зібрати привод для передачі обертання від двигуна до виконавчого механізму довільної структури. При цьому модуль АРМ WinDrive дозволить визначити геометричні розміри передач і валів, а також підібрати розміри підшипників кочення. У першу версію АРМ Drive крім цього ввійшли розрахунки планетарних передач найбільш поширених типів. У системі з'явилося власне графічне середовище – наприкінці 2000 року НТЦ АПМ завершив розробку креслярсько-графічного редактора АРМ Graph, що дозволяє виконати весь комплекс креслярських робіт, необхідних при підготованні конструкторської документації в машинобудуванні, будівництві й інших областях. Розвиток графічного редактора буде проводитися в напрямку параметризації об'єктів і можливостей створення об'ємних (3D) моделей. Велика робота була виконана для створення єдиного середовища, куди ввійшли графічний модуль і база даних. Як СУБД був використаний стандартний продукт Microsoft Access з пакета MS Office Prof. Хоча в дійсній версії системи ще залишаються 16-розрядні модулі, зроблені під старі версії Windows, у 2001 році будуть завершені роботи зі створення 32-розрядної версії системи АРМ WinMachine. Тоді, мабуть, виникне питання про відновлення чинної в ЖІТІ версії системи її поширення, сфери її використання в навчальному процесі інституту. Висловлюємо вдячність усім фірмам, в першу чергу НТЦ АПМ, за надані матеріали для підготовки даного огляду. Гадаємо, що зроблений аналіз інформації буде корисним для спеціалістів-механіків.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Колодницький М.М., Чайковський С.С. Огляд інтегрованих систем автоматизованого проектування для машинобудування // Вісник ЖІТІ. – 1998. – №№ 7–8.
2. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. – М.: Изд-во АПМ, 2000. – 472 с.
3. Стаценко В.Є., Чайковський С.С. Курсове проектування механізмів і деталей автомобіля. – Житомир: ЖІТІ, 2001 (в друці).

СТАЦЕНКО Віктор Євгенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри АТС Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- проектування технічних систем;
- розрахунки деталей машин.

ЧАЙКОВСЬКИЙ Сергій Семенович – старший викладач кафедри ПЗОТ Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- моделювання технічних систем;
- САПР у машинобудуванні.

Подано 14.08.2001