

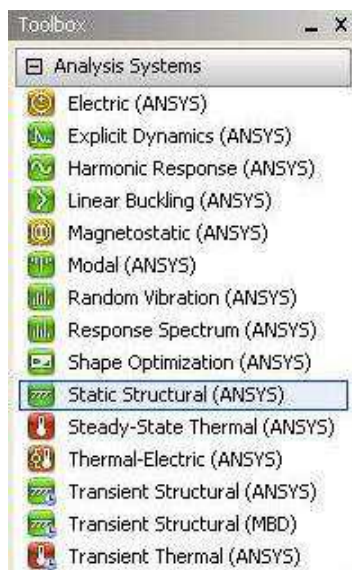
## **ВИКОРИСТАННЯ SolidWorks ДЛІА НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

Абсолютна більшість конструктивних елементів, вузлів і конструкцій, виготовлених з найрізноманітніших матеріалів, що мають різну природу, можуть бути розраховані за допомогою чисельних методів, зокрема - методу скінченних елементів (МСЕ), який є стандартом при розв'язку задач механіки твердого тіла чисельними методами. Він зайняв лідируюче положення завдяки можливості моделювати широке коло об'єктів і явищ і враховувати складні граничні умови, структурну неоднорідність, реальний розподіл напружень і деформацій у матеріалі. Застосування МСЕ дозволяє одержати уточнену картину напружено-деформованого стану, так як відповідність між розрахунковою моделлю й реальністю є однією з головних проблем при застосуванні програм аналізу з використанням чисельних методів, враховуючи неминучість похибок та умовностей.

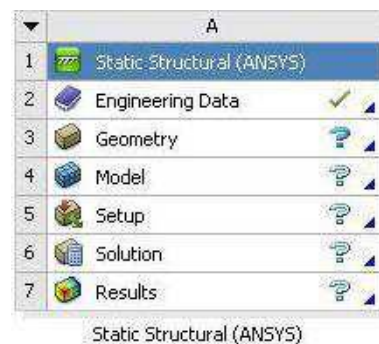
Наявність сучасних комп'ютерних засобів моделювання та аналізу, зокрема CAD/CAE пакетів для 3D моделювання інженерних задач, сприяє спрощенню наукових розрахунків. Наприклад, за допомогою системи КОМПАС можна створити тривимірні моделі як простих елементів деталей машин, так і складних механізмів. А за сприяння потужної системи скінченно-елементного моделювання ANSYS, в можливості якої входить одночасний аналіз різних фізичних процесів, що відбуваються у деталі, конструкції чи механізмі, можна провести аналіз напружено-деформованого стану цих деталей чи механізмів.

Методика дослідження наступна:

- за допомогою вбудованих інструментів КОМПАС створюються деталі та модель механізму;
- модель переноситься у пакет ANSYS;
- у середовищі ANSYS Workbench створюється новий проект, на інструментальній панелі вибирається тип аналізу (рис. 1, а) і за допомогою дерева побудови модель імпортується (розділ "Geometry" - рис. 1, б);



а – вікно діалогу



б - дерево побудови моделі

**Рис. 1. Створення проекту в середовищі ANSYS Workbench**

- модель розбивається на скінченні елементи (розділ "Model") та наскладуються граничні умови (встановлюються закріплення, прикладаються навантаження - розділ "Setup");

- встановлюються необхідні результати розрахунку, наприклад розподіл деформацій та еквівалентних напружень (розділ "Solution" дерева моделі), та проводиться безпосередній розрахунок моделі (функція "Solve");

- переглядаються результати розрахунку (розділ "Results" дерева побудови моделі).

Але недоліком сумісного застосування даних пакетів CAD/CAE моделювання є перенесення моделей у пакет ANSYS – із усіх можливих форматів збереження 3D моделей, які є доступними для експорту в системі КОМПАС, оптимальним варіантом є формат Parasolid компанії SIEMENS

розширення «.x\_t». При використанні цього формату всі елементи моделі передаються точно і без викривлення форм. При спробі імпорту в ANSYS моделей з інших форматів виникали проблеми у конструктивних елементах – зникали отвори, скруглення, відбувалися деформації деталей [1].

Аналогічна проблема виникає при застосуванні пакета тривимірного моделювання AutoCAD та системи APM WinMachine - сумісним форматом для експорту та імпорту тривимірних моделей є формат «.sat». Він точно передає всі елементи форми моделей. Передачу, створення та обробку скінченно-елементної моделі у пакеті APM WinMachine виконує модуль Studio 3d [2].

Ці недоліки відсутні при застосуванні 3D системи гібридного автоматизованого проектування (твердотільного й поверхневого), інженерного аналізу й підготовки виробництва виробів будь-якої складності й призначення SolidWorks [3]. Універсальна система параметризації в САПР сімейства Solidworks дозволяє становити гнучкі параметричні моделі виробів будь-якої складності та одержати уточнену картину напружено-деформованого стану моделі. Її засоби надають проектувальникові широкі можливості по самостійному визначенню параметричного базису виробу й складанню структури зв'язків між параметрами.

Система володіє двома рівнями функціональних залежностей: перший забезпечує зв'язок між параметрами моделі при перерахунку їх значень, другий - зв'язок із САПР при відновленні виробу відповідно до отриманих значень параметрів. Комбінація цих двох видів залежностей дозволяє добиватися надзвичайних результатів, фактично не обмежуючи гнучкість одержуваної моделі.

Для зручності навігації по моделі й задання зв'язків між параметрами надані інструменти допоміжної візуалізації засобами САПР. Система параметризації має достатній набір інструментів для складання як завгодно складної параметричної моделі й одержання на її основі виробу з необхідними значеннями розмірів, конструктивних, фізичних та інших параметрів.

SolidWorks – це [4]: проектування деталей та складань будь-якого ступеня складності та призначення, виробів з листового металу, зварних конструкцій, оснастки (прес-форми, штампи, електроди); промисловий дизайн; складні поверхні; перевірка працездатності розроблених конструкцій; випуск креслень відповідно до вимог ЄСКД; робота з великими складаннями; пряме редагування геометрії; проектування на основі баз знань; експертні системи проекту; аналіз технологічності виробів (механообробка, лиття); створення анімацій на основі 3D-моделей; бібліотеки стандартних виробів SolidWorks Toolbox, у т.ч. за вітчизняними стандартами; інтерактивна документація (створення фотореалістичних зображень, WEB сторінок та анімацій на основі 3D моделей; проектування трубопроводів; аналіз розмірних ланцюгів в 3D-моделі складання; обмін даними з радіотехнічними САПР.

Додатками цієї програми є SolidWorks Simulation, SolidWorks Motion, SolidWorks Flow Simulation, SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module, SolidWorks Flow Simulation HVAC Module, SolidWorks Plastics, eDrawings, SolidWorks Sustainability. В усі вищенаведені додатки створені у SolidWorks моделі експортуються без будь-яких обмежень. Розглянемо додатки SolidWorks детальніше [4]:

- SolidWorks Simulation [5] - розрахунки на міцність конструкцій у пружній зоні; постановка та розв'язок контактних задач; розрахунки складань; визначення власних форм і частот коливань; розрахунки конструкцій на стійкість; розрахунки на втому; імітація падіння; теплові розрахунки; нелінійні розрахунки (врахування нелінійних властивостей матеріалу, нелінійного навантаження, розрахунки нелінійних контактних задач); аналіз втомних напружень та визначення ресурсу роботи конструкцій; лінійна та нелінійна динаміка деформованих систем;

- SolidWorks Motion - комплексний кінематичний та динамічний аналіз механізмів; врахування тертя; безумовний та умовний контакти компонентів; демпфери; пружини; гравітація;

- SolidWorks Flow Simulation - моделювання потоку рідин і газів; різні фізичні моделі рідин і газів; комплексні теплові розрахунки; гідро/газодинамічні та теплові моделі технічних пристроїв; стаціонарний та нестаціонарний аналізи;

- SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module - тепловий розрахунок електронних пристроїв;

- SolidWorks Flow Simulation HVAC Module - розрахунки систем вентиляції, опалення та кондиціонування;

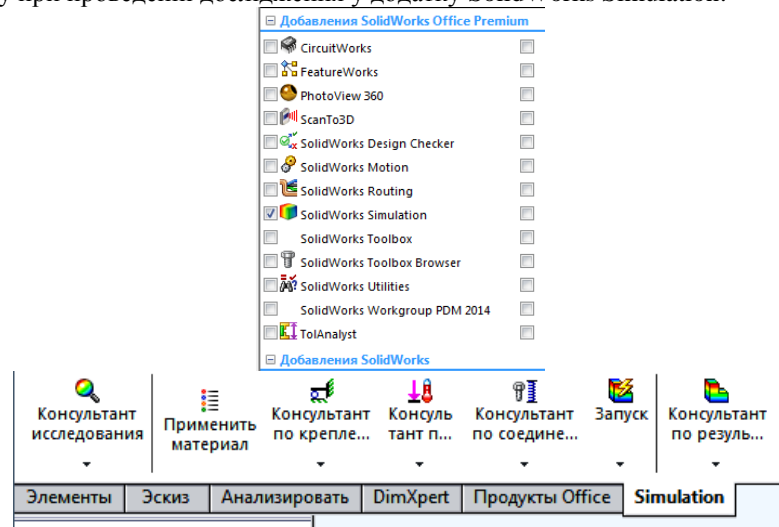
- SolidWorks Plastics - аналіз пролиття прес-форм з врахуванням фізичних властивостей полімерів;

- eDrawings (узгодження документів SolidWorks, робота з DWG/DXF - вимірювання, динамічний перегляд, авторознесення складань);

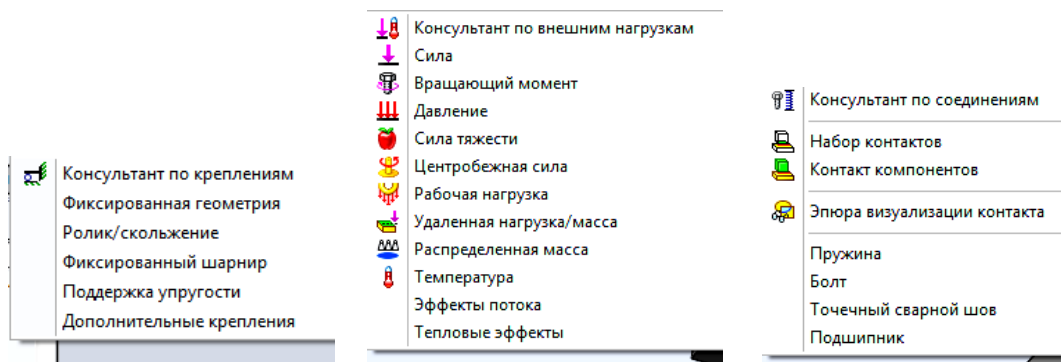
- SolidWorks Sustainability (екологічна експертиза проекту).

Важливий елемент в комплекті SolidWorks - програма DWGeditor. За функціональністю вона є повним аналогом AutoCAD і володіє можливістю працювати з форматом DWG. Це значно полегшує перехід від двовимірного креслення до тривимірного моделювання.

Змінюючи при чисельному моделюванні деякі вхідні параметри, можна прослідити за змінами, які відбуваються з моделлю. Основна перевага методу полягає у тому, що він дозволяє не тільки постстерігати, але і передбачити результат експерименту за якихось особливих умов. На рис. 2 і 3 наведені вікна діалогу при проведенні дослідження у додатку SolidWorks Simulation.



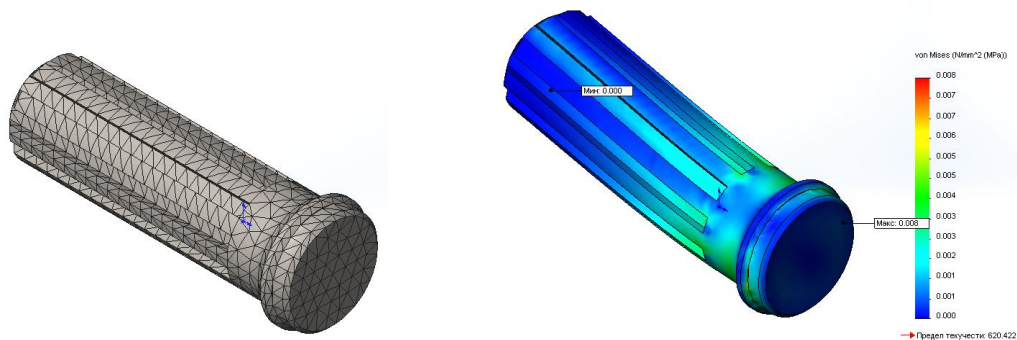
**Рис. 2. Створення проекту в середовищі SolidWorks**  
(вікна діалогу вибору додатку та кроків роботи у SolidWorks Simulation)



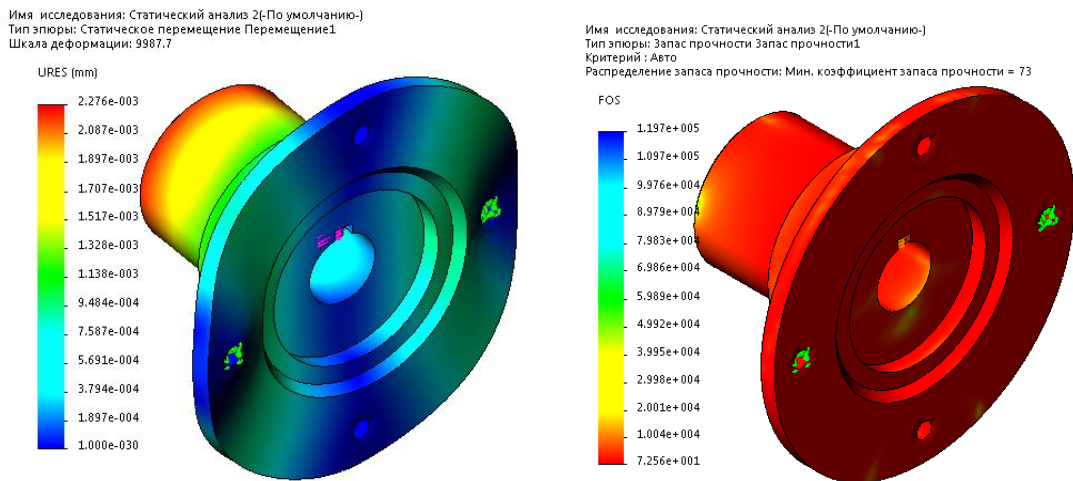
**Рис. 3. Вікна діалогу SolidWorks Simulation**

Метод чисельного моделювання деталей автомобілів (за допомогою SolidWorks Simulation досліджувались шліцьовий вал карданної передачі автомобіля МАЗ-5336 – рис. 4 і фланець роздавальної коробки автомобіля Іж-2126 – рис. 5) має наступні переваги перед іншими традиційними методами:

- дає можливість змоделювати ефекти, вивчення яких в реальних умовах неможливе або дуже важке з технологічних причин;
- дозволяє моделювати і вивчати явища, які передбачаються будь-якими теоріями;
- є екологічно чистим і не представляє небезпеки для природи і людини;
- забезпечує наочність і доступний у використанні.



**Рис. 4. Шліцьовий вал карданної передачі автомобіля МАЗ-5336**



**Рис. 5. Перемещения та розподіл запасу міцності фланця URES роздавальної коробки автомобіля Іж-2126**

Доведено, що впровадження SolidWorks у навчальний процес сприяє як розвитку творчої спрямованості наукової діяльності, так і повнішому та якіснішому оволодінню студентами системою знань і вмінь, допомагає формуванню відповідних професійних і особистісних якостей.

#### Список використаних джерел:

1. Аладько О.І. Моделирование та аналіз напруженого стану деталей машин за допомогою пакетів КОМПАС-3D та ANSYS / О.І. Аладько // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів, 19-20 квітня 2012 р.): тези доповідей. – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2012. Т. 1. Технічні та економічні науки. – С. 11-13.
2. Папка М.В. Возможности сумісного використання CAD\CAE пакетів AutoCAD і WinMachine для розрахунку деталей машин / М.В. Папка // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів, 19-20 квітня 2012 р.): тези доповідей. – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2012. Т. 1. Технічні та економічні науки. – С. 27-28.
3. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное проектирование в инженерной практике / А.А. Алямовский. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
4. Режим доступу: <http://solidworks.com.ua/ru/lic/solidworks/2014-500-misc.html>
5. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А.А. Алямовский. – БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.

**Анотація. Мавлютов В. Використання SolidWorks для наукової діяльності.** Проведене порівняння моделювання та аналізу напруженого стану деталей машин за допомогою CAD\CAE пакетів КОМПАС-3D та ANSYS, AutoCAD і WinMachine. Визначені недоліки сумісного застосування даних пакетів. Охарактеризована 3D система гібридного автоматизованого проектування SolidWorks та описані її додатки. Наведені приклади застосування SolidWorks Simulation.

**Ключові слова:** метод скінчених елементів, статичний аналіз, сітка, вузлові напруження, переміщення.

**Аннотация. Мавлютов В. Использование SolidWorks для научной деятельности.** Проведено сравнение моделирования и анализа напряженного состояния деталей машин с помощью CAD\CAE пакетов КОМПАС-3D и ANSYS, AutoCAD и WinMachine. Определены недостатки совместного применения данных пакетов. Охарактеризована 3D система гибридного автоматизированного проектирования SolidWorks и описаны ее приложения. Приведены примеры применения SolidWorks Simulation.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, статический анализ, сетка, узловые напряжения, перемещения.

**Abstract. Mavlyutov V. The use SolidWorks for scientific activities.** Comparison of simulation and analysis of the stress state of machine parts using CAD\CAE packages KOMPAS-3D and ANSYS, AutoCAD and WinMachine. Identified deficiencies combined use of data packets. 3D hybrid system characterized aided design SolidWorks and described its application. Examples of use SolidWorks Simulation.

**Keywords:** finite element method, static analysis, mesh, nodal stress, displacement.