

## ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

*В роботі проаналізовано сучасний стан технологій комп'ютерного проектування та актуальні тенденції щодо моделювання напружено-деформованого стану. Наведені можливі напрямки адаптації універсальних систем комп'ютерного проектування щодо вирішення спеціалізованих задач.*

*Ключові слова: технології комп'ютерного проектування, комп'ютерне моделювання, моделювання напружено-деформованого стану.*

О.А. PASICHNYK

Khmelnytsky National University

### TECHNOLOGY COMPUTER DESIGN AND MODELLING THE STRESS-STRAIN STATE

*This paper analyzes the current state of technology computer-aided design and current trends in modelling of stress-strain state. These possible directions for universal adaptation of computer-aided design to solve specialized problems.*

*Keywords: technology computer-aided design, computer modeling, simulation stress-strain state.*

#### Вступ

При сучасному рівні та можливостях технології реальним є освоєння виробництва практично будь-яких виробів. В таких умовах темпи технічного прогресу визначаються темпами розробки нових конструкторських рішень. Серед різноманітних шляхів підвищення якості та продуктивності проектно-конструкторської діяльності найбільш ефективним є автоматизація на основі сучасних засобів обчислювальної техніки. Автоматизоване проектування (computer-aided design – CAD) представляє собою технологію, яка полягає в використанні комп'ютерних систем для полегшення створення, зміни, аналізу та оптимізації систем. Основна функція CAD-систем – визначення геометрії конструкції. Для вирішення цієї задачі зазвичай використовують системи розробки робочих креслень та геометричного моделювання. Іншою складовою систем автоматизованого проектування є CAE-системи. Автоматизоване конструювання (computer-aided engineering – CAE) – це технологія, яка полягає у використанні комп'ютерних систем для аналізу геометрії CAD, моделювання та вивчення поведінки об'єкту для вдосконалення та оптимізації його конструкції. Природна потреба в оперативній, узгодженій взаємодії CAD та CAE-систем призвела до їх об'єднання з формуванням САХ-додатків.

Найбільш поширеною розрахунковою задачею є розрахунок напружень, деформацій та переміщень. Об'єктивність цієї ситуації пов'язана з тією обставиною що будь-яка деталь повинна без руйнувань виконувати своє функціональне призначення під зовнішнім впливом. Методи опору матеріалів, головним завданням яких, є вирішення саме питань розрахунків на міцність, дозволяють отримати результати для обмеженого кола розрахункових ситуацій, що стосуються в першу чергу пружних задач для тіл простої конфігурації. Задля задоволення потреб інженерної практики в умовах розвитку відповідних математичних засад та з появою інформаційних систем, що поєднують комп'ютерну техніку та необхідне програмне забезпечення, широке застосування отримали методи та методики комп'ютерного моделювання.

#### Основна частина

Комп'ютерні моделі стали буденним інструментом математичного моделювання та застосовуються в техніці, фізиці, хімії, біології, економіці, метеорології, інших науках й прикладних задачах в різноманітних областях радіоелектроніки, машинобудування, автомобілебудування тощо [1].

Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі є простішими та зручнішими внаслідок можливості проводити обчислювальні експерименти.

Комп'ютерне моделювання надає можливість розширити коло досліджуваних, візуалізувати об'єкти довільної природи, досліджувати процеси в динаміці, керуючи їх тривалістю, здійснювати багаторазові випробування початкової моделі, отримувати різноманітні характеристики об'єкту в числовому або (та) графічному вигляді, знаходити оптимальне проектне рішення без виготовлення дослідних зразків, проводити дослідження без ризику негативних наслідків для здоров'я людини або (та) навколишнього середовища [1].

Основними етапами комп'ютерного моделювання є постановка задачі та її аналіз, побудова інформаційної моделі, розробка методу й алгоритму реалізації комп'ютерної моделі, розробка комп'ютерної моделі, проведення експерименту [1].

При комп'ютерному моделюванні використовуються метод скінчених елементів, метод скінчених різниць, метод скінчених об'ємів, метод вузлових потенціалів тощо [1]:

Все більш широке коло предметів та явищ стають об'єктом комп'ютерної симуляції з широким впровадженням практично в усі сфери інженерної діяльності з одночасним розширенням кола користувачів CAD-, CAE-, САХ-додатків [2].

Комп'ютерне моделювання, в частині застосування спеціалізованих САЕ-додатків або інтегрованих

САx-(CAD+CAE)-систем, охоплює як все більш широкий та зростаючий набір вирішуваних задач (статичний розрахунок на міцність, розрахунок частот власних коливань, розрахунок ударних та динамічних навантажень, тощо) та її застосування для суттєво зростаючого кола об'єктів проектування в різних сферах людської діяльності.

Масове розповсюдження CAD (Computer Aided Design)-систем як базової технології просторового моделювання природньо сприяло переходу на комп'ютерний аналіз та проектування з використанням інтегрованих додатків [2]. Певно, найбільш характерним прикладом ефективності зазначеного підходу є широке розповсюдження системи SolidWorks у поєднанні з комплексом розрахункових модулів, й, зокрема SolidWorks Simulation.

Модуль SolidWorks Simulation, інтегрований у систему просторового моделювання SolidWorks, реалізує скінченно елементний аналіз. Цей пакет позиціонується виробником як інструмент інженерного аналізу, необхідний конструкторові у повсякденній діяльності. Технічні причини в тому, що "доскональному" проектуванню й розрахунку на міцність зазнає лише незначна частка деталей і агрегатів. Міцність і довговічність значною мірою залежать від досвідченості та умінь конструктора.

Програми аналізу міцність на базі методу скінчених елементів дозволяють із достатньою оперативністю оцінити виріб. Реалізація розрахункових програм у рамках систем геометричного моделювання, що стали звичайним інструментом конструктора.

Можливість аналізу наявної моделі як деталі в робочих умовах – одна з головних переваг інструмента проектування SolidWorks. Знання основ Simulation допомагає інженерові спрогнозувати поведінку його деталі при реальних навантаженнях, а, головне, допоможе знизити масу виробу без втрати міцності.

Початковим етапом при застосуванні SolidWorks Simulation для розрахунків наявної моделі (наприклад деталі, наведеної на рис. 1) є визначення типу вирішуваної задачі, або, за термінологією SolidWorks Simulation, дослідження. В SolidWorks Simulation реалізовано статичний аналіз, частотний аналіз, втрата стійкості, термічний аналіз, випробування на ударне навантаження, розрахунок на втому, нелінійний аналіз, лінійна динаміка, проектування судів під тиском, дослідження підмоделі, що охоплює суттєву частину повсякденних потреб конструктора-проектувальника.

Вхідними даними при рішенні розрахункових завдань аналізу окрім тривимірної моделі з розмірами є умови роботи (умови закріплення, умови навантаження тощо) та розміри сітки скінчених елементів. Таким чином, проектувальник для моделі у випадку статичного аналізу повинен призначити матеріал, задати закріплення (рис. 2) та навантаження (рис. 3).

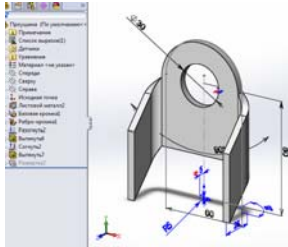


Рис. 1. Об'ємна модель деталі

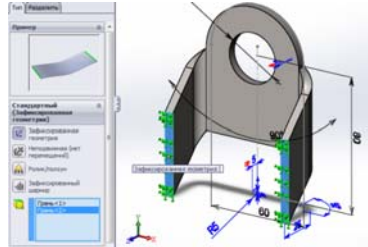


Рис. 2. Призначення закріплення

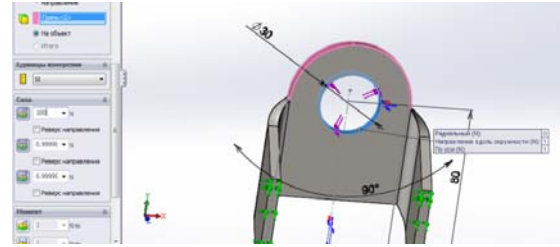
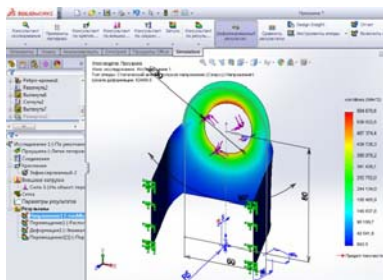


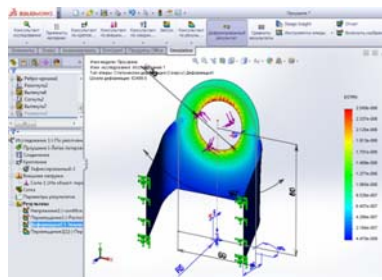
Рис. 3. Прикладання навантаження

В подальшому необхідно сформувати сітку скінчених елементів. Проектувальнику пропонується сітка зі скінчених елементів у вигляді масиву тетраєдрів для яких він може змінювати лише їх розмір у певному діапазоні.

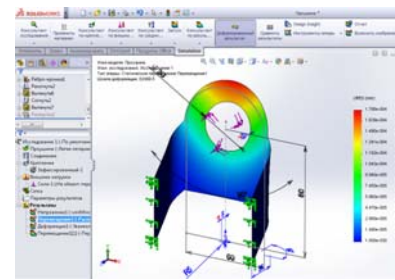
Після запуску та завершення розрахунків у дереві моделі з'являються відповідні вкладки. SolidWorks Simulation дозволяє побудувати поля напружень (рис. 4, а), деформацій (рис. 4, б) та переміщень (рис. 4, в).



а – поле напружень;



б – поле деформацій;



в – поле переміщень

Рис. 4. Результати розрахунків при статичному аналізі в SolidWorks Simulation:

Можливим напрямком автоматизації розрахункових задач є створення гібридних систем, що поєднують власні програмні розробки з використанням існуючого програмне забезпечення як інструменту

для створення геометричної моделі об'єкту проектування у поєднанні з можливостями розрахункових модулів. Саме такий підхід реалізований в роботах [3, 4] при створенні елементів системи автоматизовано проектування зварних балок. Структура системи має лінійну форму і складається з шести модулів (рис. 5).

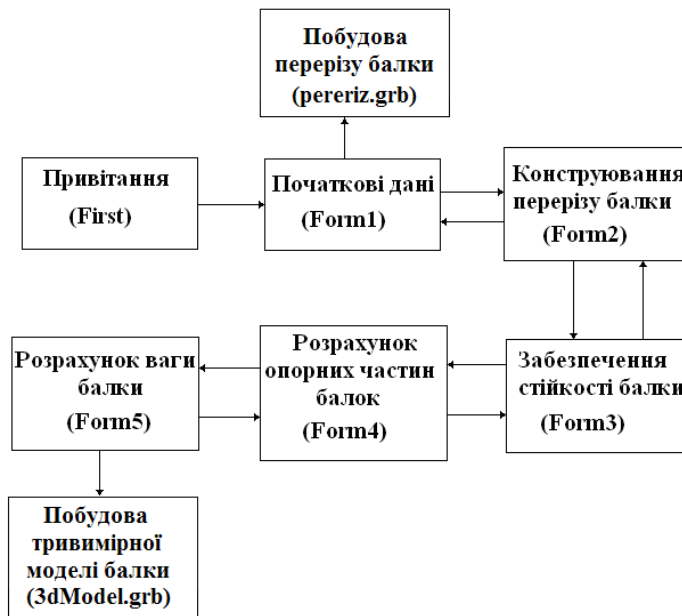


Рис. 5. Структура модулів системи

Програмний продукт реалізований як windows-додаток, що містить початкове вікно та форми, які забезпечують зручне введення початкових даних на всіх етапах розрахунку (рис. 6–9).

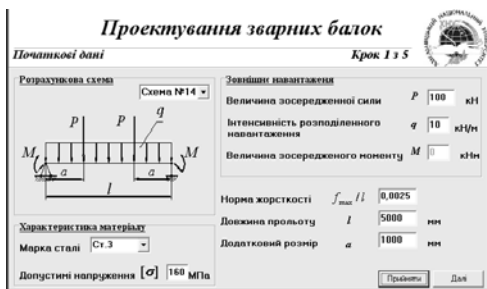


Рис. 6. Форма «Початкові дані»



Рис. 7. Форма «Конструювання перерізу балки»

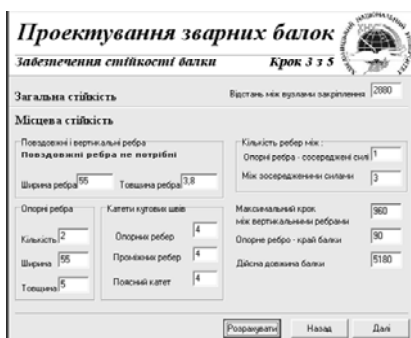


Рис. 8. Форма «Забезпечення стійкості балки»

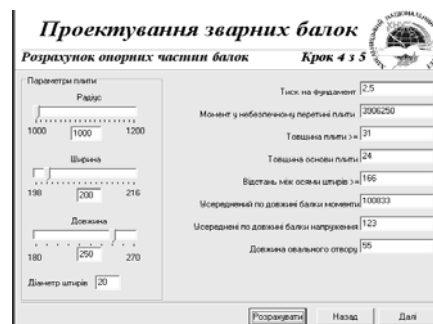


Рис. 9. Форма «Розрахунок опорних частин балок»

Програмний додаток забезпечує розрахунок усіх характеристик зварної балки включно з опорними частинами балки та ваговими параметрами конструкції.

В роботі [3] як середовище геометричного моделювання використовується система T-Flex (рис. 10). В роботі [4] враховуючи сучасний стан програмного забезпечення САПР та засобів розробки програмного забезпечення, для реалізації задачі автоматизованого проектування зварних балок було обрано шлях формування власного розрахункового модуля у поєднанні з потужною CAD-CAE-системою SolidWorks, тобто формування додатка для SolidWorks. На основі математично-алгоритмічного забезпечення розроблена блок-схема програми, яка реалізована за допомогою мови проектування Microsoft Visual C++. Результатом роботи програми є побудова тривимірної моделі зварної балки в середовищі SolidWorks (рис. 11).

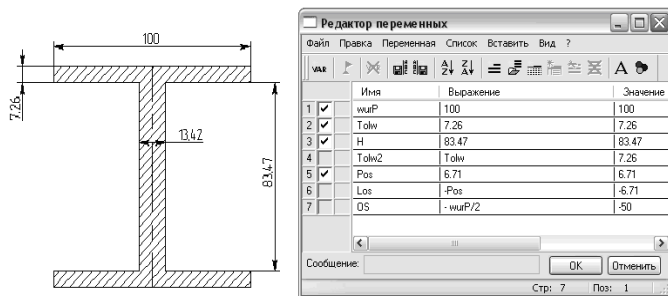


Рис. 10. Представлення у середовищі T-Flex

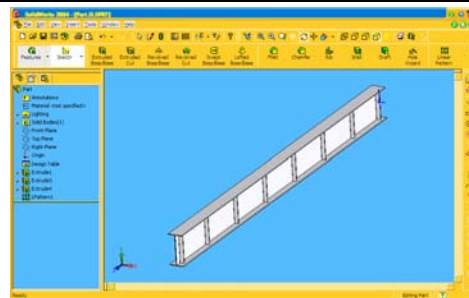


Рис. 11. Тривимірна модель в SolidWorks

Застосування систем комп'ютерного моделювання загалом, та систем автоматизованого проектування зокрема, створює широкі можливості щодо запровадження високоефективних методів та методик.

Прикладні задачі оптимального проектування формують як задачі пошуку таких значень невідомих параметрів системи, які забезпечують найменше (або найбільше) значення вибраного критерію оптимальності в області допустимих проектних рішень. Як приклад в роботі [5] проаналізовано застосування ітераційних методів при проектуванні зварних балок з метою покращення їх економічних показників й для вирішення задачі визначення параметрів поперечного перерізу зварної балки запропоновано використовувати метод золотого перерізу, метод Ньютона, метод Хорд.

Наведені приклади поєднання універсальних систем автоматизованого проектування з власними програмними модулями демонструють можливості ефективного застосування технологій комп'ютерного проектування для конкретних об'єктів, й, у першу чергу, для задач пов'язаних з моделюванням напружено деформованого стану.

### Висновки

В роботі проаналізовано сучасний стан технологій комп'ютерного проектування та актуальні тенденції щодо моделювання напружено-деформованого стану. Наведені можливі напрямки адаптації універсальних систем автоматизованого проектування щодо вирішення спеціалізованих задач.

### Література

1. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерное\\_моделирование.htm](https://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерное_моделирование.htm) – (17.03.2016).
2. SolidWorks2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / [Алямовский А.А. и др.]. – СПб : БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с. : ил.
3. Дишин Р.О. Система автоматизованого проектування зварних балок / Р.О. Дишин, О.А. Пасічник // Збірник наукових праць за матеріалами другої всеукраїнської науково-технічної конференції "Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2008". – Хмельницький : ХНУ, 2008. – Т. 1. – С. 82–85.
4. Школьник Ю.В. Розробка САПР зварних балок з використанням системи SolidWorks та мови об'єктно-орієнтованого програмування Microsoft Visual C++ / Ю.В. Школьник, О.А. Пасічник // Збірник наукових праць факультету прикладної математики та комп'ютерних технологій Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – С. 90–93.
5. Школьник Ю.В. Дослідження ітераційних методів при проектуванні зварних балок / Ю.В. Школьник, О.А. Пасічник // Збірник наукових праць за матеріалами п'ятої всеукраїнської науково-технічної конференції "Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2011". – Хмельницький : ХНУ, 2011. – Т. 2. – С. 212–217.

Рецензія/Peer review : 11.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф., Сорокати Р.В.