

УДК 004.896

Копей В.Б., докт. техн. наук, професор  
Букатка Ю.С., аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, vkorey@gmail.com

## МАКРОС SOLIDWORKS ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ З МОЖЛИВІСТЮ ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ

Модуль скінченно-елементного аналізу SOLIDWORKS Simulation має вбудовані засоби для оптимізації параметрів конструкції та автоматизації дослідження їхнього впливу на напруження і деформації. Проте нерідко виникає необхідність створення спеціальних алгоритмів таких досліджень. Для їхньої реалізації можна скористатись інтерфейсом прикладного програмування SOLIDWORKS API [1]. За допомогою нього мовою VBA авторами розроблено макрос CW\_APIexample.bas [2], який може бути використано як шаблон для створення прикладних CAD/CAE систем на базі SOLIDWORKS, зокрема для параметричних досліджень за довільним планом експерименту або для оптимізації за довільним алгоритмом оптимізації. Використання макросу потребує мінімальних знань програмування мовою VBA. Для його адаптування до конкретної задачі необхідна, в основному, модифікація процедури main. SOLIDWORKS API використовує технологію COM, тому макрос можна також адаптувати для запуску з будь-якого додатку, що підтримує COM, наприклад, Excel. На противагу до вбудованих прикладів [3] макрос готовий до повноцінного дослідження, потребує мінімального втручання користувача та має можливість обчислення коефіцієнта запасу втомної міцності (FOS) за критерієм Сайнса [4]:

$$FOS = \frac{\sigma_{-1} - \psi_{\sigma} \sigma_m}{\sigma_a}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{-1}$  – границя витривалості матеріалу;

$\psi_{\sigma}$  – коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу;

$\sigma_m$  – середнє напруження

$$\sigma_m = \sigma_{m1} + \sigma_{m2} + \sigma_{m1},$$

де  $\sigma_{mi}$  – середнє головного напруження  $i$ ,  $\sigma_{mi} = (\sigma_{i \max} + \sigma_{i \min})/2$ ;

$\sigma_a$  – амплітуда напружень

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_{a1} - \sigma_{a2})^2 + (\sigma_{a2} - \sigma_{a3})^2 + (\sigma_{a3} - \sigma_{a1})^2]},$$

де  $\sigma_{ai}$  – амплітуда головного напруження  $i$ ,  $\sigma_{ai} = (\sigma_{i \max} - \sigma_{i \min})/2$ .

Критерій Сайнса простий для використання, але може бути використаний тільки для умов пропорційного навантажування, де напрямки осей головних напружень залишаються незмінними впродовж циклу навантажування [5].

Функція FOS макросу повертає значення коефіцієнта запасу (1). Її аргументами є головні напруження (МПа) на двох кроках навантажування (з мінімальним та максимальним навантаженням циклу). Остання цифра назви аргументів відповідає номеру кроку. Локальна змінна sn – це границя витривалості (МПа), m – коефіцієнт, що залежить від  $\psi_{\sigma}$  ( $m=3\psi_{\sigma}$ ).

Процедура loadActivate дозволяє задіяти потрібне навантаження і дослідження Study. У першу чергу вона зручна під час обчислення FOS.

Функція `EntityStress` повертає напруження результатів `CWResult` на елементі з іменем `EntityName` деталі `Part`. Не працює з «2D спрощенням» моделі. Результати повертаються у вигляді масиву (вузол1, значення1, вузол2, значення2, ...). Для отримання напружень використовується API-функція `GetStressForEntities3`.

Процедура `main` є головною процедурою, з якої починається виконання макросу. Основна її частина, яка потребує модифікації під конкретну задачу, є вкладеними циклами з наступним загальним алгоритмом:

Для кожного значення параметра `X`:

Для кожного навантаження `i` циклу (мінімального, максимального):

Змінити значення параметра `X` і перебудувати модель.

Створити сітку, виконати задачу і отримати результати.

Отримати мінімальне і максимальне напруження за Мізесом (МПа).

Отримати компоненти напружень у вузлі `n`, зокрема, головні напруження.

Обчислити середнє значення еквівалентного напруження на обраній вершині, ребрі чи грані.

Кінець ітерації.

Обчислити FOS за компонентами напружень у вузлі.

Кінець ітерації.

Внутрішній цикл алгоритму необхідний для обчислення значення FOS. В залежності від кількості параметрів, зовнішніх циклів може бути більше. В такому вигляді алгоритм реалізує параметричне дослідження для параметра `X`, яке можна розглядати як оптимізацію сітковим методом. Проте користувач може створити свої власні алгоритми оптимізації, наприклад, еволюційні алгоритми.

Перед запуском необхідно вибрати в меню `Tools/References` редактора коду пункт «`SOLIDWORKS Simulation 2020 type library`». Також у процедурі `main` необхідно вказати індекс дослідження в `Simulation: StudyMngr.GetStudy(1)`. Якщо досліджуються напруження чи FOS в конкретному вузлі сітки, то потрібно ввести його номер, наприклад, `n = 65`. Проте зміна геометричного параметра призводить до зміни сітки і, відповідно, номера вузла. Отже замість вузла доцільніше обрати конкретну грань (вершину, ребро), яку в моделі слід назвати іменем `EntityName` за допомогою меню `FaceProperties`. В цьому випадку макрос буде застосовувати функцію `EntityStress`, в якій для вибору грані потрібно змінити перші рядки:

```
Dim Entity As SldWorks.Face2
```

```
Set Entity = Part.GetEntityByName(EntityName, swSelfFACES)
```

Для тестування роботи макросу можна скористатись моделлю `CW_APIexample.SLDPRT`, в якій досліджується параметр "D2@Sketch1" (діаметр отвору).

Автори запрошують приєднуватись до проекту на [GitHub](#) [2].

#### Список посилань

1. SOLIDWORKS API Help. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://help.solidworks.com/2020/English/api/sldworksapiproguide/Welcome.htm> (access 20.05.2023).

2. Kopei V. vkopey/FOS: VBA macro for SOLIDWORKS API for fatigue safety factor calculation by Sines' method. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/vkopey/FOS> (access 20.05.2023).

3. SOLIDWORKS API Help: Analyze Part Example (VBA). [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://help.solidworks.com/2020/English/api/swsimulationapi/Analyze\\_Part\\_Example\\_VB.htm](https://help.solidworks.com/2020/English/api/swsimulationapi/Analyze_Part_Example_VB.htm). (access 20.05.2023).

4. Sines G. Behavior of metals under complex static and alternating stresses // Metal Fatigue / eds. G. Sines, J. L. Waisman. – New York : McGraw-Hill, 1959. – P. 145-169.

5. Metal Fatigue in Engineering / Ralph I. Stephens, Ali Fatemi, Robert R. Stephens, Henry O. Fuchs. – John Wiley & Sons, 2000. – 496 p.

УДК 004.378:005.8:005.42:005.22

**Цюцюра М.І., докт. техн. наук, професор  
Гончаренко Є.О., асистент**

Київський національний університет будівництва і архітектури, mitsiutsiura@gmail.com

## **РОЗРОБКА БАЗИ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДОКУМЕНТООБІГУ «КАНЦЕЛЯРІЯ-ФАКТ»**

Дана робота присвячена розробці програмного забезпечення, впровадження методології гармонізації, опису вхідних та вихідних параметрів інформаційних підсистем. Визначена модель та впроваджена схема взаємодії інваріантної бази даних ERP-системи з функціональними компонентами інформаційних підсистем ЗВО [1]. Побудована ієрархічна функціональна модель проектування та розробки БД управління ЗВО, які дозволяють значно прискорити та зменшити витрати на розробку БД та на основі фізичної моделі SQL-опису дозволяє створити в автоматичному режимі інформаційні об'єкти в БД вибраної СУБД засобами CASE-систем ARIS Express та BPWin [1-3].

*Розробка бази даних.* MySQL Workbench – це є засіб, що забезпечує візуальне проектування, об'єднуючи у собі розробку, проектування, створення, адміністрування та обслуговування баз даних SQL в єдине інтегроване середовище MySQL. Характерні особливості MySQL Workbench будуть наведені нижче.

*Загальні:* підключення до бази даних і управління екземплярами; можливість написання скриптів використовуючи Python та Lua; підтримка користувацьких плагінів; сумісність з MSAA; підтримка функцій MySQL Enterprise.

*Редактор SQL:* підтримка юнікоду; підсвічення синтаксису SQL та аналізатор операторів; перегляд та пошук схеми об'єктів; завершення SQL коду та контекстна допомога; підключення за допомогою протоколу SSH.

*Моделювання даних:* ER-діаграма; схема синхронізації; друкування моделей.

*Адміністрування бази даних:* запуск та зупинка екземплярів бази даних; конфігурування екземпляру; управління обліковим записом бази даних; перегляд змінних екземпляру; перегляд файлу журналу; експорт та імпорт екземпляру бази даних.

*Моніторинг продуктивності:* метрики схеми продуктивності; статистика запитів; панель управління екземплярами MySQL.

*Міграція баз даних:* вбудована підтримка Microsoft SQL Server, PostgreSQL, SQL Anywhere, SQLite та Sybase ASE; будь-яка база даних, що сумісна зі стандартом ODBC.

На рис. 1 зображена концептуальна модель бази даних програмного забезпечення системи електронного документообігу.

Під концептуальною моделлю бази даних ми можемо розуміти макет конкретної предметної області, що являє собою сукупність об'єктів та зв'язків між ними [2-4].

Однієї з основних складових, необхідних для функціонування системи є документ. Для подальшої роботи з ним, його треба додати в базу даних. Для цього використовується форма додавання документу, але це не розглядатиметься в рамках даної роботи, а буде винесене до розгляду в наступних роботах.