

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОФЕСІЙНО-ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ**

МСЕ служить універсальним засобом аналізу конструкцій, і серед різноманіття CAD/CAM/CAE-програм пакети скінченно-елементного аналізу відіграють важливу роль [1]. Для їхнього ефективного застосування, на відміну від CAD/CAM-систем, потрібна краща професійна підготовка, ніж для вивчення інтерфейсу й шаблонних прийомів роботи. Справа у тому, що гнучкість методу скінченних елементів забезпечується багатоваріантністю способів моделювання конструкції [2]. Це спричиняє більшу ймовірність появи прихованих помилок, тобто ситуацій, коли результат аналізу або недосяжний, або абсурдний, або (що найнебезпечніше й розповсюджене) правдоподібний, але неправильний.

Щоб з більшою ймовірністю отримати достовірний результат, від користувача пакета скінченно-елементного аналізу потрібне знання принципів і методів реалізації цього методу, глибоке розуміння механіки поведінки конструкцій у використовуваній області аналізу й, нарешті, володіння методами виявлення формальних і фактичних помилок.

Незаперечною перевагою нових технологій розрахунків є скорочення часу проектування, але при цьому достовірні результати можуть бути отримані тільки у випадку адекватного експлуатаційним умовам застосування до конструкції початкових і граничних умов, а також використанню «якісної» сітки скінченних елементів (СЕ).

Основними проблемами при створенні у твердотільній моделі сітки СЕ є їх форма та розмір[3, 4]. Складність геометрії деталей автомобільної

техніки не дозволяє створювати регулярну сітку СЕ, у той час, як істотні відмінності у розмірах деталей і таких конструктивних елементів, як пази, фаски, заокруглення, отвори тощо обмежують мінімальний розмір СЕ. Так, збільшення розмірів СЕ суттєво знижує точність розрахунків, а значне зменшення їх розмірів призводить до збільшення загальної кількості СЕ в моделі й тривалості розрахунків.

Дану залежність підтверджують автори [5], які визначали залежність мінімального коефіцієнта запасу міцності від параметрів скінченно-елементної сітки моделі захвата.

Авторами [6] застосовувався математичний апарат SolidWorks Simulation для аналізу напружено-деформованого стану моделі первинного вала коробки передач автомобіля КамАЗ: проведена Якобієва перевірка не тільки на 4-х гаусових точках (як було зроблено авторами [7]), а й на 16, 29 і на параметрі «у вузлах». Встановлено, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності від кількості точок Якобіана (4, 16, 29, у вузлах) не залежить. Вирішальний вплив на нього має якість сітки – груба чи висока: мінімальний коефіцієнт запасу міцності при повторних розрахунках став  $n_{min} = 1,095$ , що набагато менше допустимого  $[n] = 1,5$ . Тому для забезпечення працездатності первинного вала запропоновано заміну його матеріалу: замість сталі 30ХГСА (DIN 1.5714) вибрано сталь 18Х2Н2М (DIN 1.6523 – рис. 1).

Свойство	Значение	Единица измерения
Модуль упругости	21800000014+11	Н/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	0,28	Не привязано
Модуль сдвига	7,94+30	Н/м <sup>2</sup>
Массовая плотность	7580	кг/м <sup>3</sup>
Предел прочности при растяжении	900015884	Н/м <sup>2</sup>
Предел прочности при сжатии		Н/м <sup>2</sup>
Предел текучести	20000084	Н/м <sup>2</sup>
Коэффициент теплового расширения	1,14-05	1/К

Свойство	Значение	Единица измерения
Модуль упругости	21800000014+11	Н/м <sup>2</sup>
Коэффициент Пуассона	0,28	Не привязано
Модуль сдвига	94+10	Н/м <sup>2</sup>
Массовая плотность	7550	кг/м <sup>3</sup>
Предел прочности при растяжении	820000800	Н/м <sup>2</sup>
Предел прочности при сжатии		Н/м <sup>2</sup>
Предел текучести	90000884	Н/м <sup>2</sup>
Коэффициент теплового расширения	1,14-05	1/К

Рис. 1. Властивості сталей 30ХГСА (а) і 18Х2Н2М (б)

Повторними розрахунками у SolidWorks Simulation проведено

розділення моделі первинного вала на СЕ, побудовано матрицю жорсткості; здійснено синтез СЕ моделі; розв'язано одержану систему алгебраїчних рівнянь; визначено компоненти напружено-деформівного стану (табл. 1, рис. 2).

Таблиця 1

Результати дослідження первинного вала

Сталь	Напруження VON (макс.), $\sigma$ , МПа	Результуюче переміщення URES (макс.), $h$ , мм	Еквівалентна деформація ESTRN (макс.), $\delta$ , мм	Запас міцності (мін.), $n$
30ХГСА	270,729	0,1646	0,0006143	1,095
18Х2Н2М	266,121	0,1681	0,0006322	2,219

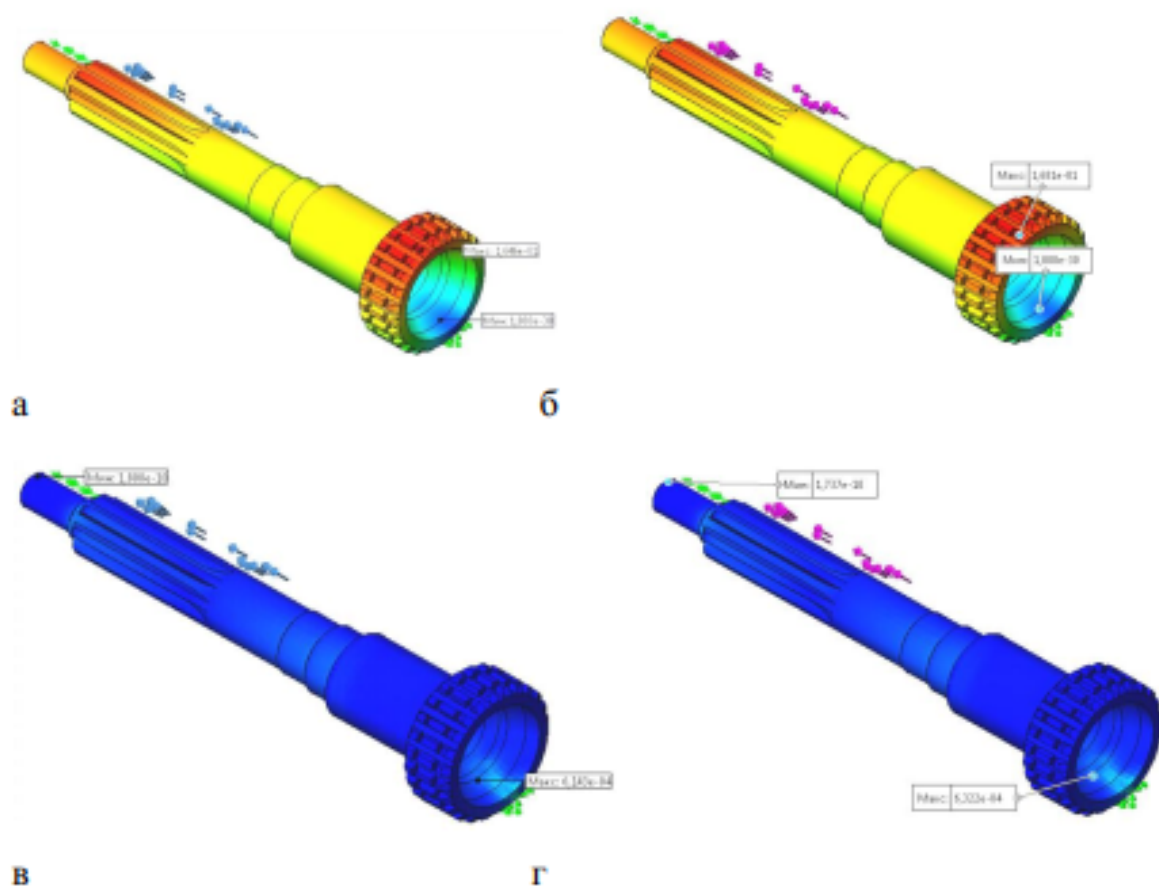


Рис. 2. Епюри сумарних переміщень URES (а – сталь 30ХГСА, б – сталь 18Х2Н2М) та еквівалентних деформацій ESTRN (в– сталь 30ХГСА, г – сталь 18Х2Н2М) первинного вала

Так як мінімальний коефіцієнт запасу міцності для первинного вала зі сталі 18Х2Н2М становить  $n = 2,219$ , то у випадку заміни сталі 30ХГСА на цю сталь для його виготовлення запас міцності достатній.

Таким чином, застосування САД-системи SolidWorks та її додатку – САЕ-системи SolidWorks Simulation, заснованого на методі скінченних елементів, дозволяє ефективно проводити заміну матеріалу деталі без втрати її міцнісних характеристик.

***Анотація.** Застосовано математичний засіб комп'ютерного моделювання (метод скінченних елементів) на прикладі САД-системи SolidWorks та її додатку – САЕ-системи SolidWorks Simulation для дослідження первинного вала коробки передач автомобіля КамАЗ.*

***Ключові слова:** SolidWorks Simulation, метод скінченних елементів, заміна матеріалу, мінімальний коефіцієнт запасу міцності.*

#### Література

1. Рудик О. Ю. SolidWorks як інноваційний засіб вивчення дисциплін автомобільного профілю / О. Ю. Рудик, О. В. Диха // «Системні технології» 3 (128) 2020. – С. 21-35. – Режим доступу: <https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st/article/view/178/92>
2. Трасковецька Л. М. Математичне моделювання працездатності деталей методом скінченних елементів / Л. М. Трасковецька, О. Ю. Рудик, О. В. Бірюков // Інформатика, інформаційні системи та технології: тези доповідей шістнадцятої всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців. Одеса, 19 квітня 2019 р. – Одеса: ОНУ. – С. 96-97. – Режим доступу: <http://elar.khmu.km.ua/jspui/handle/123456789/8467>
3. Rudyk O. Yu. The impact of the SolidWorks Simulation network quality on the accuracy of the calculations / O. Yu. Rudyk, V. A. Gonchar // Eurasian scientific congress. Abstracts of the 1st International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. – Barcelona, Spain, 2020. – Pp. 185-188. – URL: <http://sci-conf.com.ua/i-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-eurasian-scientific-congress-27-28-yanvarya-2020-goda-barselona-ispaniya-arhiv/>
4. Потеряев О. І. Проектування піднімача для ремонту автомобілів за допомогою SolidWorks / О. І. Потеряев, Д. І. Євчун, А. В. Рудик, О. Ю. Рудик // Сучасні тенденції розвитку інженерії, технологій та транспорту: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 18-19 жовтня 2022 р. – Хмельницький: ХНУ, 2022. – С. 137-140. – Режим доступу: <http://elar.khmmu.edu.ua/jspui/handle/123456789/12807>
5. Диха О. В. Застосування SolidWorks Simulation для підготовки фахівців автомобільного профілю / О. В. Диха, О. Ю. Рудик // Збірник тез доповідей II-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2021»: Збірник тез [Електронний ресурс]. – Вінниця: ВНТУ. – 2021. – С. 484-485. – Режим доступу: <http://elar.khmu.km.ua/jspui/handle/123456789/10992>
6. Степанюк О. М. Застосування математичного апарату SolidWorks Simulation для аналізу напружено-деформованого стану моделі / О. М. Степанюк, О. Ю. Рудик // Принципи і методи математичної підготовки в багаторівневій системі вищої освіти : сучасний та історичний погляд здобувачів і молодих вчених. – Матеріали Всеукраїнської

науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених 07-08 квітня 2022 року. – Харків: ХНАДУ. – С. 164-168.

7. Гунько В. А. Застосування додатків SolidWorks і MathCAD для вирішення прикладних задач / В. А. Гунько, В. С. Полюк, О. Ю. Рудик // Актуальні аспекти математичної підготовки в сучасних ВНЗ: погляд студентів і молодих вчених: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. студентів і молодих вчених. – Х.: ХНАДУ, 2016. – С. 212-216. – Режим

доступу: [http://fts.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F\\_Transport\\_system/v\\_matem/sbornik\\_sek\\_3.pdf](http://fts.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F_Transport_system/v_matem/sbornik_sek_3.pdf)

УДК 004.49:[327

Булатов Є. А. (студ., 2 курс)

Науковий керівник – доц. Гриб'юк О. О

*Міжнародний науково-технічний Університет імені академіка Ю.Бугая*

## **ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ВРАЗЛИВОСТЕЙ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ І МЕТОДИКА ЇХ УСУНЕННЯ**

У сучасну цифрову епоху безпека комп'ютерних систем є одним з найважливіших викликів, оскільки в цій цифровій екосистемі існують різноманітні загрози та вразливості, важливим стає аналіз та усунення вразливостей у комп'ютерних системах [1]. Актуальність дослідження визначається необхідністю постійного вдосконалення засобів захисту у змінних умовах кіберпростору. Швидкі темпи розвитку технологій вимагають постійного оновлення та адаптації підходів до аналізу та усунення вразливостей, адже кожен новий етап розвитку комп'ютерних систем вносить нові виклики та потенційні небезпеки.

*Мета дослідження* полягає у ґрунтовному дослідженні теоретико-методичних аспектів аналізу вразливостей комп'ютерних систем і розробленні методики для їх усунення.

У сучасному цифровому середовищі поняття вразливості охоплює багато елементів: від програмного забезпечення до архітектурних недоліків апаратного забезпечення. Важливість дослідження полягає в необхідності аналізу вразливостей та розробленні сучасних методів їх усунення в умовах швидкозмінного кібернетичного простору [2]. Сучасні загрози, наприклад,