

3D-МОДЕЛЮВАННЯ РЕДУКТОРІВ АВТОКРАНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Редуктором називають пристрій, який перетворює високу кутову швидкість обертання вхідного вала у меншу на вихідному валі, підвищуючи при цьому крутний момент [1].

Циліндричні редуктори використовуються для передавання обертового руху між паралельними або співвісними валами за допомогою циліндричних зубчастих передач. Вони мають високий ККД (0,94-0,98 на один ступінь) і великий ресурс роботи (36 000-50 000 год.). Недоліки цих редукторів: підвищені вібрації, які знижуються використанням косозубих та шевронних передач.

Широке застосування редукторів у різних галузях техніки стало можливо завдяки зміні передаточного числа у великому діапазоні. Практично усі крани, кранбалки тощо мають у своєму складі редуктор [2].

Практичне промислове проектування циліндричних редукторів передбачає виконання багатьох видів розрахунків: кінематичних, габаритних та розрахунків на міцність усіх його елементів: приводу, зубчастих коліс, валів, підшипників, шпонок тощо.

3D-моделювання циліндричного косозубого редуктора (рис. 1) розглянемо на прикладі застосування системи автоматизованого проектування SolidWorks [3]. У даний момент структуру пакета SolidWorks можна представити базовим розв'язком і додатковими модулями. Базовий розв'язок – це система гібридного параметричного моделювання, яка призначена для

проектування деталей і складань у тривимірному просторі з можливістю проведення різних видів експрес-аналізу, а також оформлення конструкторської документації відповідно до вимог ЄСКД.

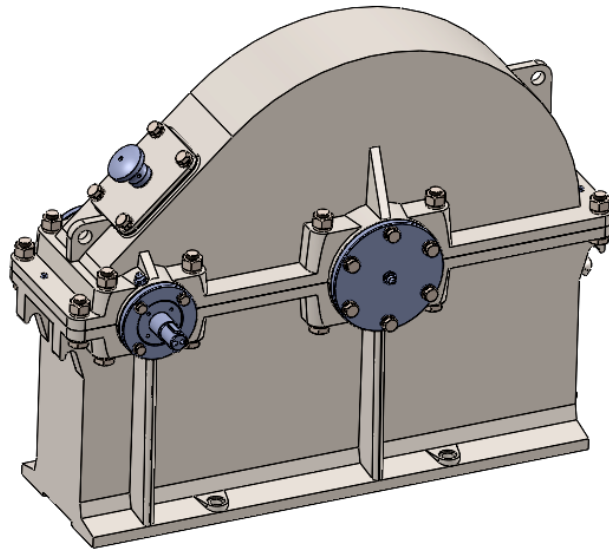


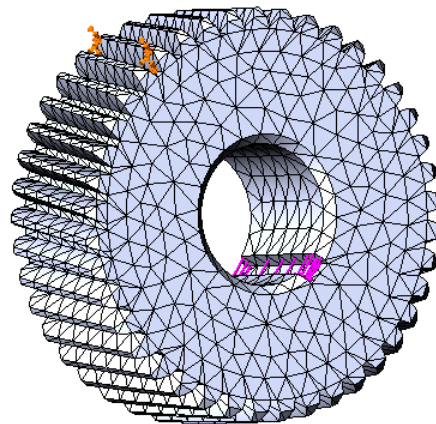
Рисунок 1 – 3D-модель циліндричного косозубого редуктора

В SolidWorks можна працювати як з твердими тілами, так і з поверхнями. Як правило, деталь є твердим тілом, поверхнею, або комбінацією твердого тіла й набору поверхонь. Процес побудови 3D-моделі ґрунтується на створенні елементарних геометричних примітивів і виконанні різних операцій між ними. 3D-модель несе в собі повний опис фізичних властивостей об'єкта й дає проектувальникові можливість роботи у віртуальному 3D-просторі, що дозволяє наблизити комп'ютерну модель до наочного представлення спроектованого виробу.

Для перевірної оцінки міцності ведучої шестерні циліндричного косозубого редуктора застосовано метод скінченних елементів (МСЕ), реалізований у системі SolidWorks Simulation [4]: при моделюванні у SolidWorks створювалася його геометрична модель, потім у SolidWorks Simulation вводилися властивості матеріалу, з якого рекомендовано його виготовлення (сталь 30ХГС ГОСТ 4543-71 – отримана шляхом розрахунків за методикою дисципліни “Деталі машин”). Після цього до шестерні прикладався

крутний момент $M = 35$ Нм (моделювався найбільш небезпечний з точки зору запасу міцності випадок), визначалися контактні взаємодії, створювалася скінченно-елементна модель системи (рис. 2). Наступний етап – рішення поставленої задачі (статичний аналіз).

Сетка Детализация	
Имя исследования	Статический 1 (По умолчанию)
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить авточислы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	5.41727 mm
Допуск	0.270863 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	20427
Всего элементов	12451
Максимальное соотношение сторон	7.686
Процент элементов с соотношением сторон < 3	86.8
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
% искаженных элементов (якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:15



а

б

Рисунок 2 – Параметри скінченно-елементної сітки шестерні (а) та її відображення на твердому тілі (б)

При аналізі результатів моделювання встановлено, що при шкалі деформації 17.6534 мінімальний коефіцієнт запасу міцності шестерні знаходиться у вузлі № 984 і становить $n_{\min} = 1.422$, що менше допустимого $[n] = 1.5$. Таким чином, потрібно або змінювати геометричні параметри спроектованого редуктора, або (що простіше) – замінити матеріал шестерні на міцніший, наприклад, сталь 45ХН2МФА ГОСТ 4543-71.

Повторними розрахунками встановлено: напруження, яке виникає у шестерні, $\sigma_{\max} = 6.183e+08$ N/m² (вузол 984 – рис. 3, а); результуюче переміщення $h_{\max} = 5.044e-01$ mm (вузол 1291 – рис. 3, б); еквівалентна деформація $\delta_{\max} = 1.966e-03$ (елемент 4455). При цьому мінімальний запас міцності $n_{\min} = 2.135$ (вузол 984), що більше допустимого $[n]$. Таким чином, заміна матеріалу шестерні гарантує її міцність, а використання МСЕ у навчальному процесі збільшує можливості постановки навчальних задач.

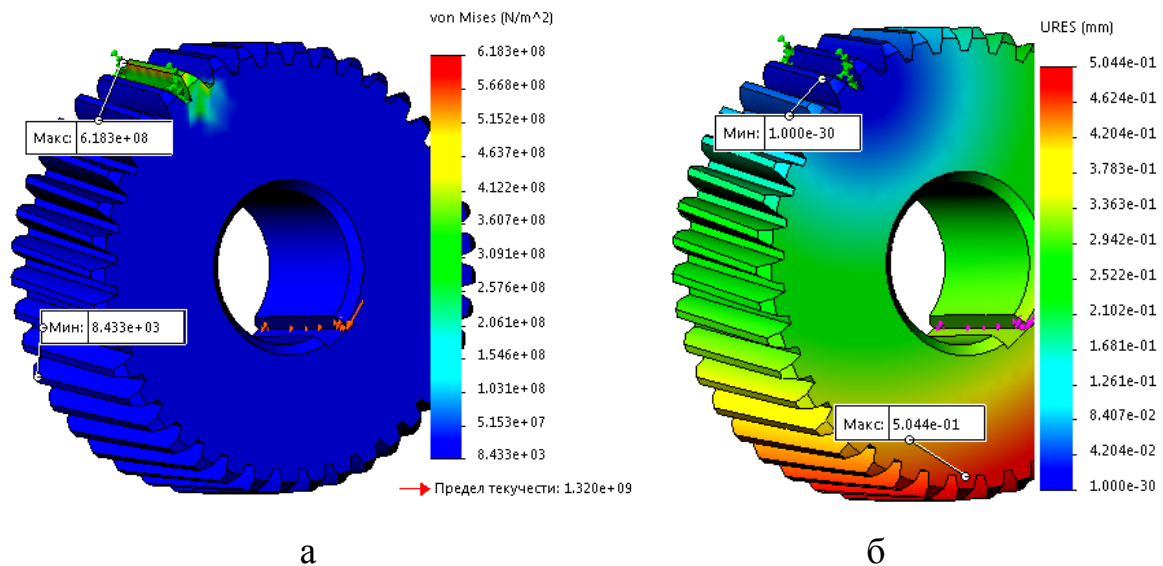


Рисунок 3 – Контурні графіки сумарних напружень von Mises (а) та переміщень URES (б) шестерні

Анотація. За допомогою SolidWorks проведений перевірений розрахунок ведучої шестерні циліндричного косозубого редуктора.

Ключові слова: автокран, редуктор, ведуча шестерня, SolidWorks, МСЕ, заміна матеріалу.

Література

[1] – Механічний редуктор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Механічний_редуктор

[2] – Бідніченко О. Об'ємне моделювання одноступінчастого косозубого редуктора в AutoCAD [Електронний ресурс] / О. Бідніченко, Ю. Євстигнєєв. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/node/554>

[3] – Рудик О. Ю. SolidWorks – CAD/CAE-система технічних вузів [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, П. В. Каплун. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8631>

[4] – Rudyk O. Yu. The impact of the SolidWorks Simulation network quality on the accuracy of the calculations [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. A. Gonchar. – Access mode: <http://sci-conf.com.ua/i-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-eurasian-scientific-congress-27-28-yanvary-2020-goda-barselona-ispaniya-arhiv/>