

**Боровик Олег Васильович**

*доктор технічних наук, професор Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького*

**Рудик Олександр Юхимович**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри зносостійкості та надійності машин Хмельницького національного університету, [arudyk@rambler.ru](mailto:arudyk@rambler.ru)*

**Дідух Олександр Вікторович**

*студент Хмельницького національного університету*

## **ВПРОВАДЖЕННЯ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС CAE/CAD-СИСТЕМ**

CAE (computer-aided engineering – системи автоматизації інженерних розрахунків) — загальна назва для програм і програмних пакетів, призначених для вирішення різних інженерних задач: обчислень, аналізу і симуляції фізичних процесів [1]. CAE-системи — це різноманітні програмні продукти, які дозволяють за допомогою розрахункових методів (методи скінченних елементів, різниць, об'ємів) оцінити, як поведеться комп'ютерна модель виробу в реальних умовах експлуатації; допомагають переконатися у працездатності виробу без залучення великих витрат часу і засобів. Розрахункова частина пакетів найчастіше заснована на чисельних методах розв'язування диференціальних рівнянь.

Сучасні CAE-системи застосовуються спільно з CAD-системами (computer-aided design – комп'ютерна підтримка проектування – програми креслення), часто інтегруються в них. У цьому випадку виходять гібридні CAD/CAE-системи, наприклад, SolidWorks – 3D-система гібридного автоматизованого проектування (твердотільного й поверхневого), інженерного аналізу й підготовки виробництва виробів будь-якої складності й призначення. Додаток цієї програми (SolidWorks Simulation) використовує геометричну модель деталі SolidWorks для формування розрахункової моделі [2].

Інтеграція з SolidWorks дає можливість мінімізувати операції, зв'язані зі специфічними особливостями скінченно-елементної апроксимації (метод скінчених елементів – МСЕ, який в даний час є стандартом при розв'язуванні задач механіки твердого тіла за допомогою чисельних алгоритмів). Призначення граничних умов проводиться у прив'язці до геометричної моделі. Такими самими особливостями володіють і процедури представлення результатів.

Застосування SolidWorks у навчальному процесі розглянемо на прикладі проектування й розрахунку трансмісійної стійки, призначеної для підйому й переміщення вантажів при монтажі й демонтажі вузлів та агрегатів з автомобілів, установлених на оглядовій ямі, естакаді або піднімачі. У якості піднімального механізму використовується гвинтова передача, що зменшить вартість стійки й дозволить виготовити її в умовах станції технічного обслуговування.

Трансмісійна стійка складається з основи 1 (рис. 1), захвата 2 і домкрата 3 з гайкою 4. Захват з'єднаний з домкратом через підшипник для забезпечення їх відносного обертання.

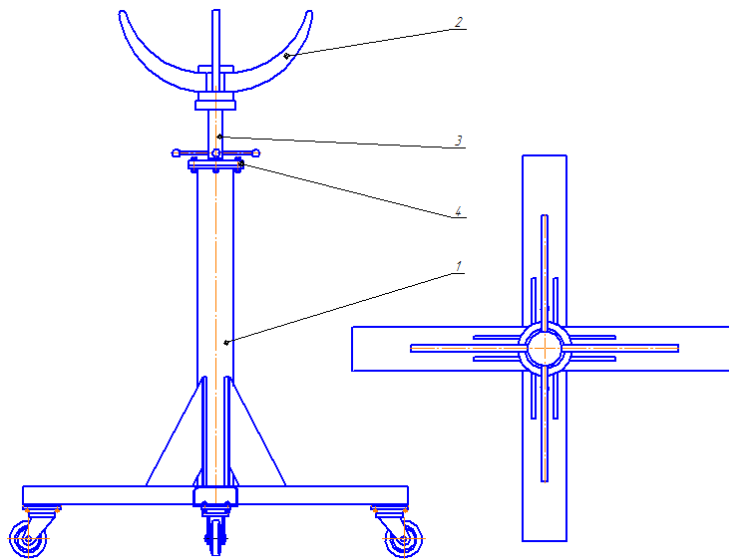


Рис. 1. Складальне креслення трансмісійної стійки для демонтажу агрегатів з автомобіля

Стійка може бути виготовленою в умовах СТО, її застосування дозволить зменшити трудомісткість розбірно-складальних робіт, підвищити зручність їх проведення й знизити травматизм. Проведемо, наприклад, за допомогою SolidWorks Simulation статичний аналіз основи (рис. 2, а) стійки.

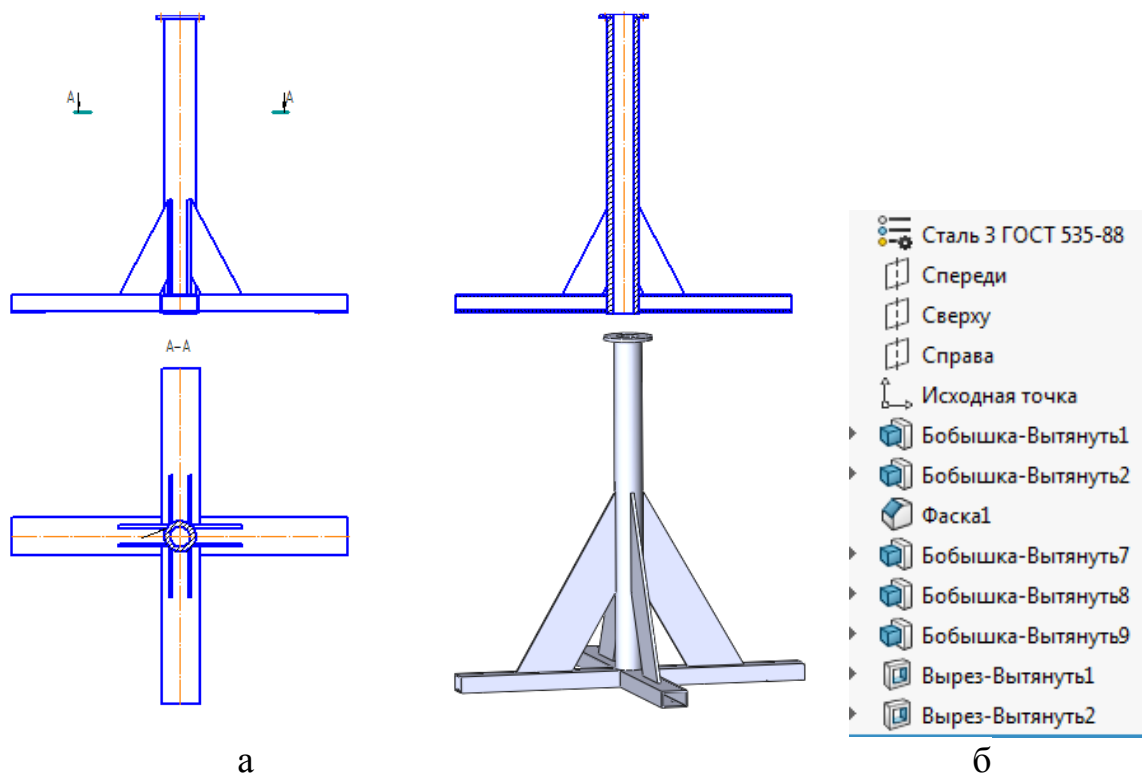
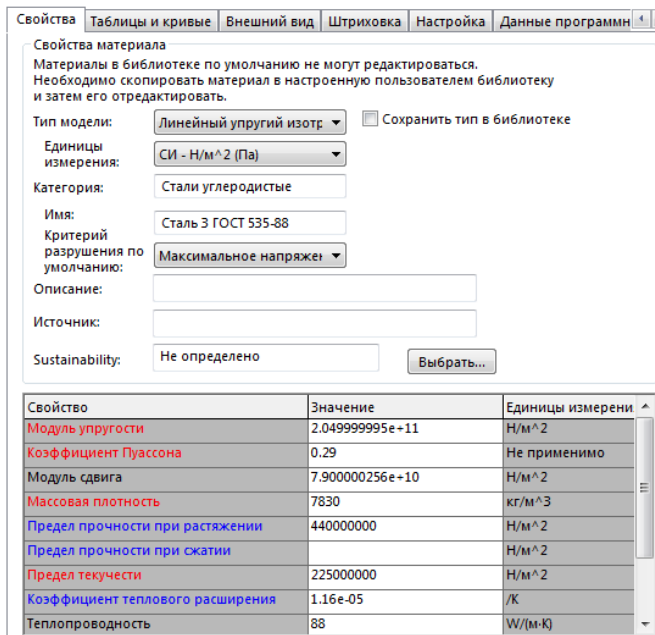
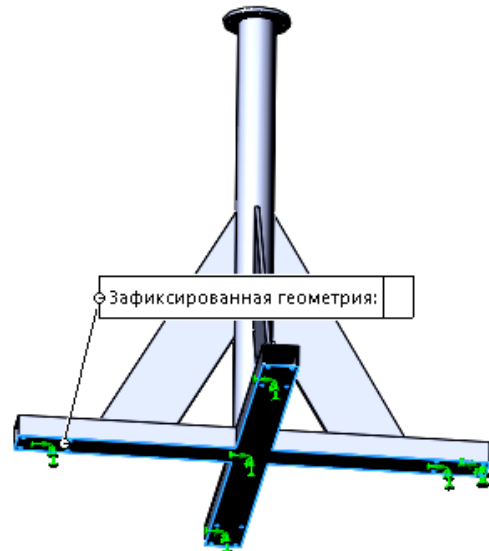


Рис. 2. Основа трансмісійної стійки

Процес починається зі створення у SolidWorks геометричної моделі стійки (рис. 2, б). Наступний етап – вибір її матеріалу (сталь Ст.3 ГОСТ 535-88) з бібліотеки SolidWorks (рис. 3, а). Для проведення статичного аналізу проведено закріплення моделі (рис. 3, б) та прикладення навантаження (рис. 4).



а



б

Рис. 3. Вибір матеріалу стійки та закріплення моделі

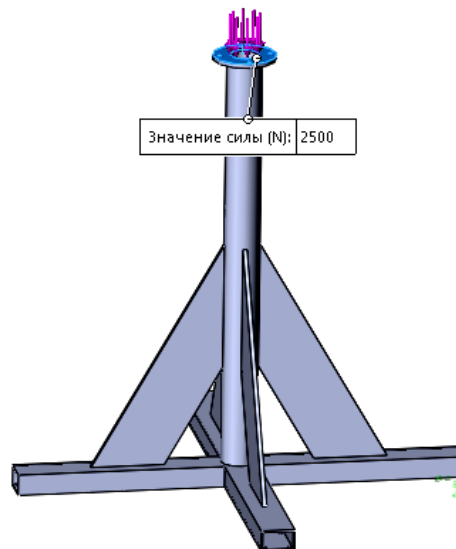


Рис. 4. Прикладення навантаження до стійки

Потім програма ділить модель на маленькі частини простої форми (елементи), з'єднані у спільних точках (вузлах): програма аналізу скінченних елементів розглядає модель як мережу дискретних зв'язаних між собою елементів (сітку). МСЕ прогнозує поведінку моделі за допомогою зіставлення інформації, одержаної від усіх елементів, з яких складається модель (параметри сітки відображені на рис. 5).

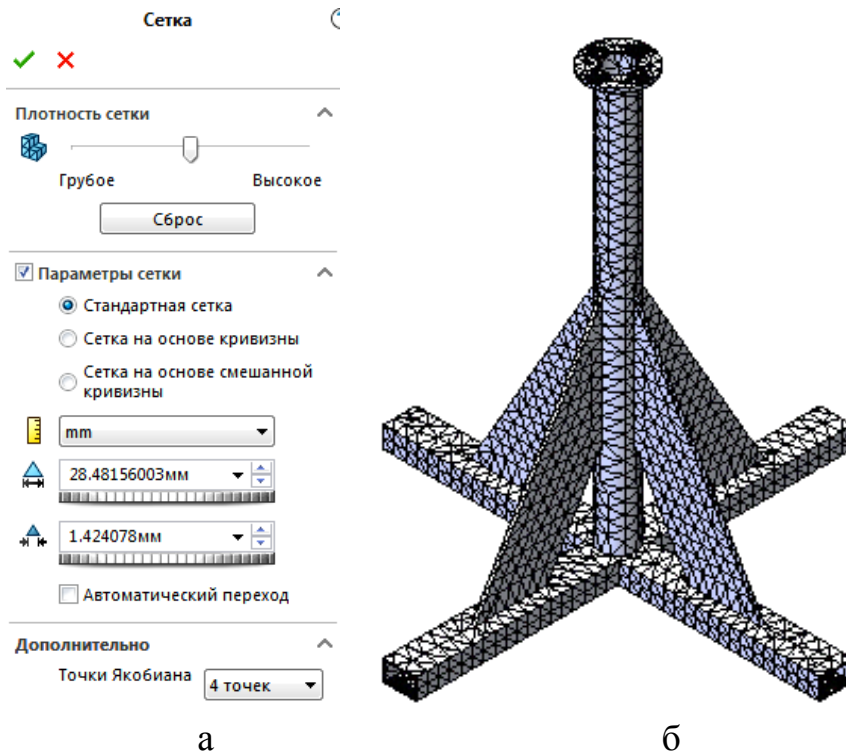


Рис. 5. Параметры скінченно-елементної сітки стійки та її відображення на твердому тілі

Результати розрахунків зображаються у вигляді кольорового градієнта, який показує зміною кольору розподіл розрахованих параметрів: напружень von Mises у моделі (рис. 6, а), її переміщень URES (рис. 6, б), деформації, запасу міцності. Встановлено, що для стійки максимальні вузлові напруження, переміщення й еквівалентна деформація складають 5,961 МПа, 0,007627 мм і 0,00001801, тобто не перевищують допустимих значень. При цьому мінімальний коефіцієнт запасу міцності FOS становить 37,75, тобто набагато більший допустимого ( $n_{don} = 1,5$ ).

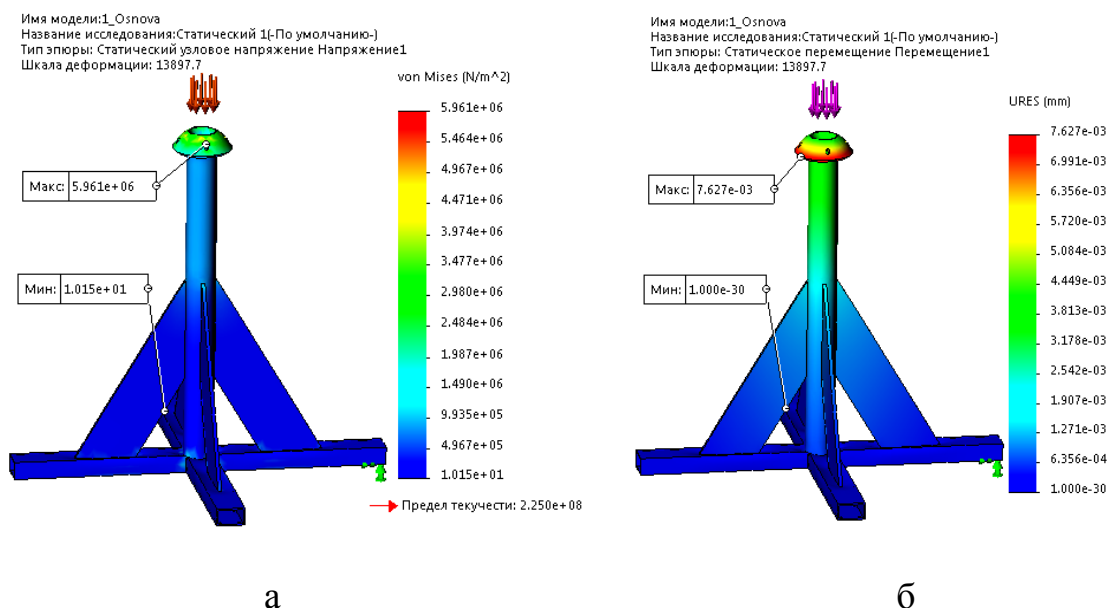


Рис. 6. Контурні графіки сумарних напружень (а) і переміщень (б)

Провести аналогічні розрахунки методами прикладної механіки (теоретична механіка, опір матеріалів, деталі машин) практично неможливо, враховуючи складну геометричну форму стійки.

Таким чином, впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних засобів моделювання та аналізу, зокрема CAD/CAE пакету для 3D-моделювання інженерних задач SolidWorks, сприяє спрощенню наукових розрахунків і значній економії часу на їх проведення.

#### **Список використаних джерел**

1. Computer-aided engineering [Електронний ресурс]. – Режим доступу: А.Д. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Computer-aided\\_engineering](https://ru.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_engineering)

2. Рудик О. Ю. Викладання технічних дисциплін у військових навчальних закладах з використанням CAE/CAD систем / О. Ю. Рудик, І. В. Янковський // Матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. «Ресурсно-орієнтоване навчання у вищій школі: проблеми, досвід, перспективи» / укл. Н. В. Кононец, В. О. Балюк. – Полтава: АКУП ПДАА, 2016. – С. 262-267.