

УДК 378

ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

Качур Валерій

Наукові керівники: канд. пед. наук, доцент Боровик Л.В.

*Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана
Хмельницького, м. Хмельницький, Україна*

канд. техн. наук, доцент Рудик О.Ю.

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

*Розглядається застосування SolidWorks Simulation для розрахунків на статичну
міцність та можливу втрату стійкості упора знімача втулок зовнішніх балансирів кареток
ходової частини тракторів Т-74, ДТ-75 і Т-150.*

Ключові слова: SolidWorks, статична міцність, стійкість, упор, знімач втулок.

Application of computer facilities of design and analysis for professional education

V. Kachur

Scientific supervisors: Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor Borovyk L.V.

*The Bogdan Khmelnytskyi National academy of Government boundary service of Ukraine,
Khmelnytskyi, Ukraine*

Candidate of Technical Sciences, associate professor Rudyk O.Y.

Khmelnytskyi National university, Khmelnytskyi, Ukraine

*Application is examined SolidWorks Simulation for calculations on static durability and
possible loss of firmness of support puller of hobs of external equalizers of carriages of working
part of tractors T-74, DT-75 i T-150.*

Key words: SolidWorks, static strength, stability, support, puller of tab

Постановка проблеми. Освіта є однією з найважливіших підсистем соціальної сфери держави, що забезпечує процес отримання громадянином систематизованих знань, умінь і навичок з метою їх ефективного використання у професійній діяльності. Тому випускники повинні демонструвати не тільки хорошу професійну підготовку, але й повністю відповідати вимогам сучасного життя. У зв'язку з чим професійна освіта в умовах сучасної дійсності набуває особливої значущості, коли застосування дослідниками та інженерами комп'ютерних засобів моделювання як ніколи раніше актуальні та свідчать про

високий професіоналізм. Таке моделювання має перевагу перед іншими видами, так як воно найбільш зручне для зорового сприйняття: графічна модель дає можливість уникнути складання словесного опису, як правило, довгого і заплутаного. Крім цього, комп'ютерні засоби моделювання збільшують можливості постановки навчальних задач і керування процесом їх виконання, втягують курсантів і студентів у навчальний процес, сприяючи найбільш широкому розкриттю їх здібностей, активізації розумової діяльності.

Аналіз досліджень і публікацій. Впровадження у навчання предметів технічного (інженерного) циклу сучасних методик дозволяє перейти від традиційних методів навчання проектуванню до моделювання за допомогою CAD-систем з наступним застосуванням CAD/CAE автоматизованих комплексів, один з яких – 3D-система гібридного автоматизованого проектування, інженерного аналізу й підготовки виробництва виробів SolidWorks [1]. Ця універсальна система параметризації дозволяє створювати гнучкі параметричні моделі виробів будь-якої складності та одержати уточнену картину напружено-деформованого стану моделі. Її засоби надають проектувальникові широкі можливості із самостійного визначення параметричного базису виробу й складання структури зв'язків між параметрами.

Система володіє двома рівнями функціональних залежностей: перший забезпечує зв'язок між параметрами моделі при перерахунку їх значень, другий – зв'язок із САПР при відновленні виробу відповідно до отриманих значень параметрів. Комбінація цих двох видів залежностей дозволяє добиватися надзвичайних результатів, фактично не обмежуючи гнучкість одержуваної моделі.

Для зручності навігації по моделі й задання зв'язків між параметрами надані інструменти допоміжної візуалізації засобами САПР. Система параметризації має достатній набір інструментів для складання як завгодно складної параметричної моделі й одержання на її основі виробу з необхідними значеннями розмірів, конструктивних, фізичних та інших параметрів.

Одним з додатків цієї програми є SolidWorks Simulation: розрахунки на міцність конструкцій у пружній зоні [2]; постановка та розв'язок контактних задач; розрахунки складань; визначення власних форм і частот коливань; розрахунки конструкцій на стійкість; розрахунки на втому; імітація падіння; теплові та нелінійні розрахунки (контактних задач, врахування нелінійних властивостей матеріалу та навантаження); аналіз втомних напружень та визначення ресурсу роботи конструкцій; лінійна та нелінійна динаміка деформованих систем.

Мета статті – застосування SolidWorks для моделювання та аналізу розглянемо на прикладі твердотілого проектування та наступної перевірки втрати стійкості упора знімача втулок зовнішніх балансирів кареток ходової частини тракторів Т-74, ДТ-75 і Т-150 (рис. 1), статичне дослідження якого висвітлене у [3].

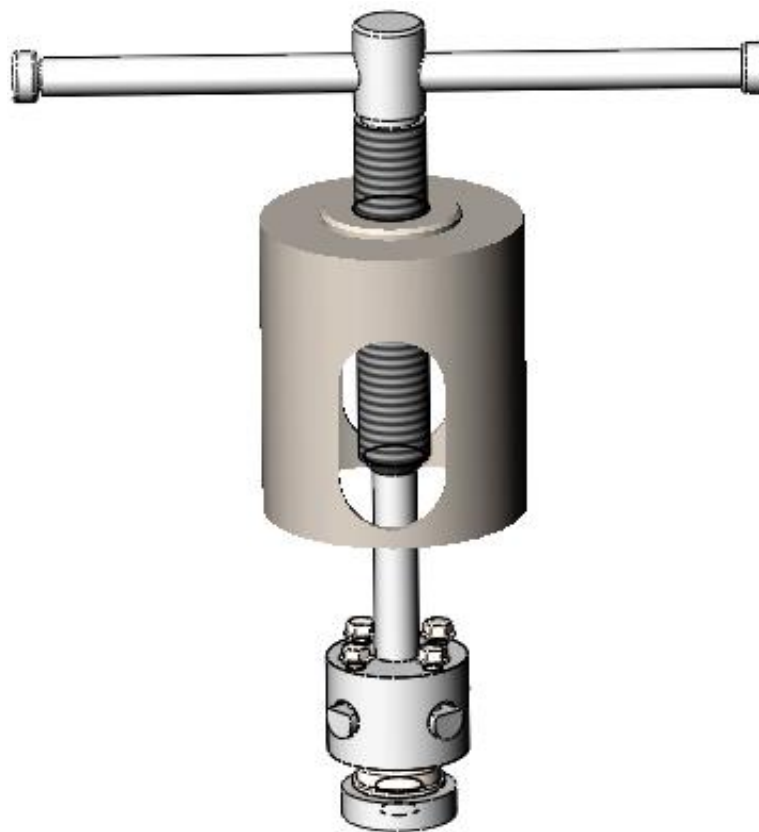


Рис. 1. Твердотільна модель знімача

Насамперед, перевіriamo достовірність проведеного у [3] дослідження, у

якому розрахунок моделі упора проведено з грубою щільністю сітки (рис. 2, а). Для підвищення точності розрахунку створимо сітку з великою кількістю елементів малого розміру (рис. 2, б) і повторимо розрахунок (інші граничні умови однакові з варіантом [3]).

Тип сітки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	8.09253 mm
Допуск	0.404627 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	16927
Всего элементов	9269
Максимальное соотношение сторон	6.1668
Процент элементов с соотношением сторон < 3	98.4

Тип сітки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	4.04627 mm
Допуск	0.202313 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	98730
Всего элементов	61322
Максимальное соотношение сторон	4.301
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99.9

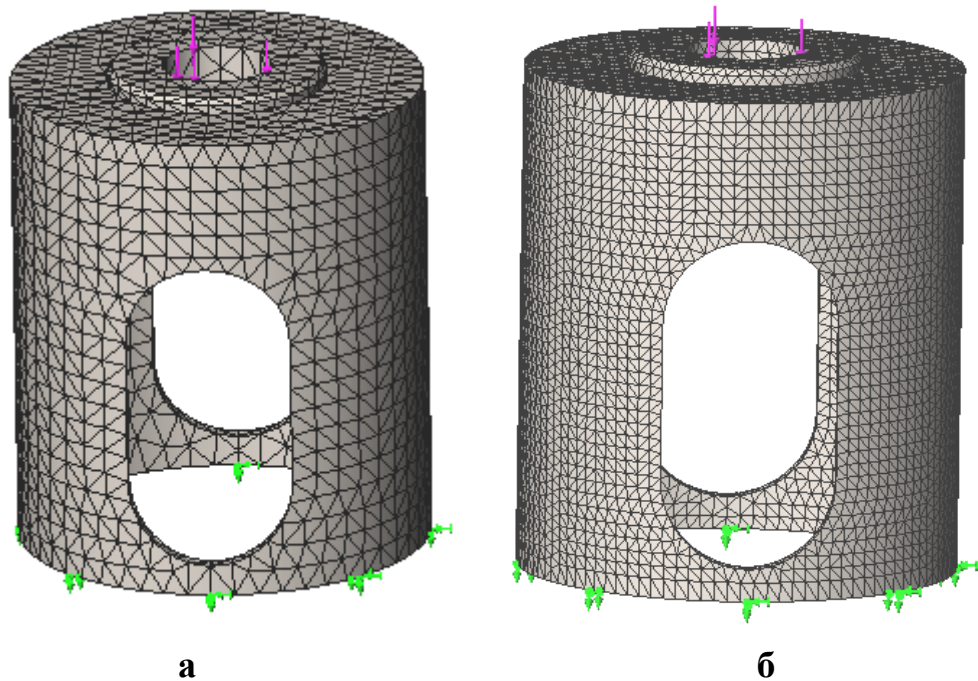
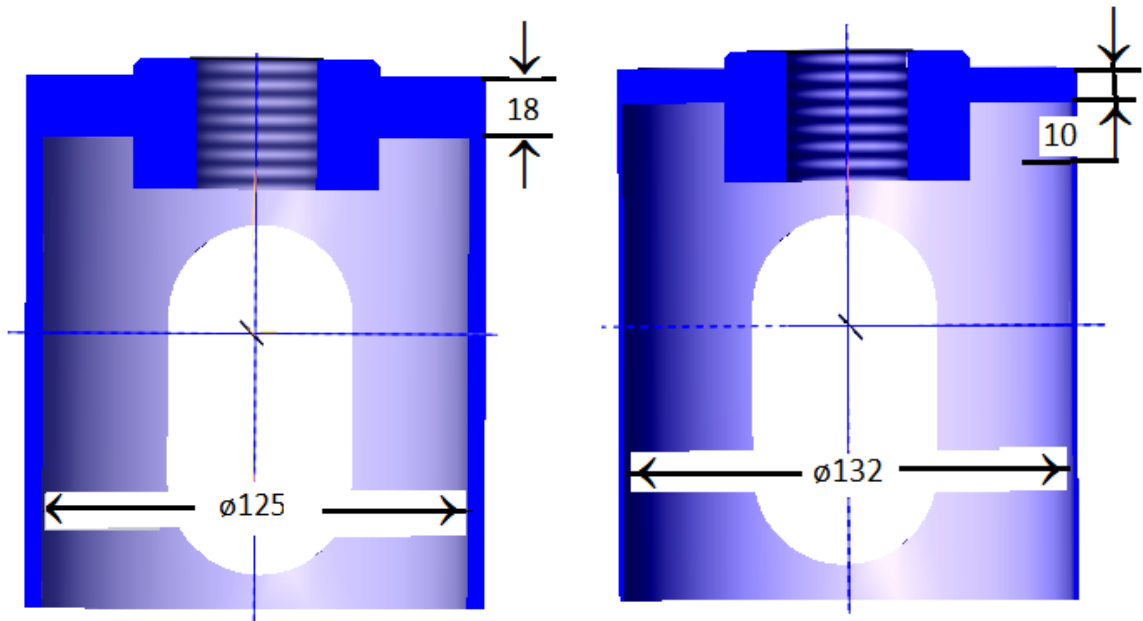


Рис. 2. Параметри сітки та скінченно-елементна модель упора з грубою щільністю (а) та з великою кількістю елементів малого розміру (б)

В результаті скінченно-елементного аналізу встановлено, що у випадку сітки з великою кількістю елементів малого розміру мінімальний коефіцієнт запасу міцності $n = 20,4736$, а для грубої щільності сітки $n = 20,9353$ [3]. Отже, другий розрахунок дає точніші дані, але в обох випадках упор працездатний за критерієм міцності, тобто можна продовжувати дослідження згідно рекомендацій [3] – оптимізація розмірів упора в сторону їх зменшення (рис. 3) з

наступним етапом – визначенням стійкості упора.



а (маса $m = 4,18346$ кг)

б (маса $m = 2,32427$ кг)

Рис. 3. Твердотільні моделі упора в розрізі до (а) та після оптимізації (б)

У результаті оптимізації розмірів упора його маса зменшилась в 1,8 раз. Але наступний обов'язковий етап (перед визначенням стійкості) – як вплине зменшення розмірів упора на статичну міцність: результати розрахунків наведено на рис. 4.

Тип	Мін.	Макс.
VON: Напруження Von Mises	223 664 N/m ² . Вузол: 16 521	4,70733e+007 N/m ² . Вузол: 6 126
URES: Резульгуюче переміщення	0 mm. Вузол: 145	0,0315216 mm. Вузол: 8 091
ESTRN: Еквівалентна деформація	9,66409e-007. Елемент: 4 784	0,000162598. Елемент: 5 728
Запас міцності	7,46858. Вузол: 6126	1 571,87. Вузол: 16521

Рис. 4. Значення вузлових напружень VON, резульгуючих переміщень URES, еквівалентної деформації ESTRN, коефіцієнта запасу міцності оптимізованого упора

Отже, так як мінімальний коефіцієнт запасу міцності оптимізованого упора $n = 7,46858 > [n] = 1,5$, то можна продовжувати дослідження.

Тонкостінні деталі, які навантажуються в осьовому напрямі, згинаються під відносно малими осьовими навантаженнями. Такі конструкції можуть вийти з ладу внаслідок втрати стійкості, не дивлячись на те, що напруження набагато нижче критичних рівнів. Для таких конструкцій критичне подовжне навантаження стає критичним конструктивним чинником.

Втрата стійкості деталі відбувається при деякому визначеному значенні діючого на неї навантаження, яке називають критичним. У багатьох випадках втрата стійкості окремих елементів приводить конструкцію до руйнування. Тому для вказаних деталей, крім розрахунку на міцність, необхідна перевірка на стійкість.

Стійкість оболонки – здатність зберігати своє первинне положення рівноваги при заданому навантаженні. Положення рівноваги називається нестійким, якщо оболонка не володіє цією здатністю. Стійке положення рівноваги характеризується невеликими наслідками при маленьких початкових збуреннях, а для нестійкого положення рівноваги характерні великі наслідки [4].

Втрата стійкості визначається як раптова деформація, яка відбувається, коли збережена мембранна (осьова) енергія перетвориться в енергію згину без зміни прикладених зовнішніх навантажень. Математично, коли відбувається втрата стійкості, жорсткість стає виродженою. Лінеарізований метод втрати стійкості, використовуваний тут, вирішує задачу про власні значення, щоб оцінити критичні коефіцієнти втрати стійкості та відповідні форми режиму втрати стійкості [4].

Модель може згинатися в різних формах під навантаженнями різного рівня. Форма, яку модель приймає під час втрати стійкості, називається формою режиму втрати стійкості, а навантаження – «критичне» або «критичне подовжне навантаження».

За допомогою SolidWorks Simulation встановлено, що запас міцності при

можливій втраті стійкості до оптимізації складає $k = 565,4613$ (рис. 5, а), а після – $k = 43,5819$, що в обох випадках менше допустимого $[k] = 5$, тобто втрата стійкості упора не відбувається.

Ім'я	Тип	Мін.	Макс.
Амплітуда до оптимізації	РЕЗАМП: результуюча амплітуда Епюра – для форми коливань: 1(Коефіцієнт навантаження = 565,4613)	0 Вузол: 276	0,00498247 Вузол: 235
Амплітуда після оптимізації	РЕЗАМП: результуюча амплітуда Епюра – для форми коливань: 1(Коефіцієнт навантаження = 43,5819)	0 Вузол: 149	0,00713665 Вузол: 6083

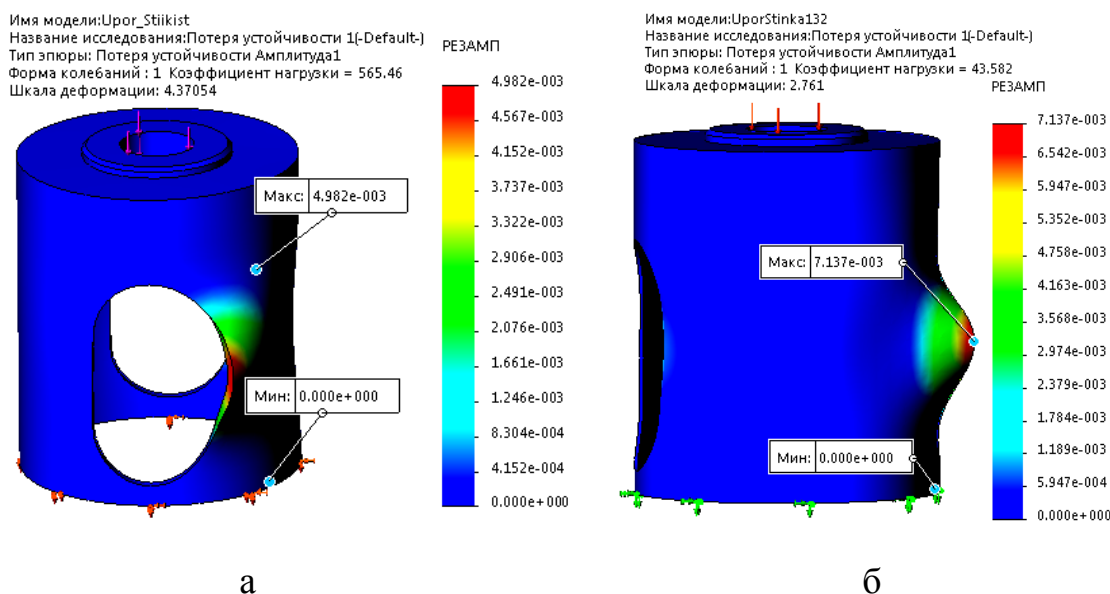


Рис. 5. Результуюча амплітуда та запас міцності при втраті стійкості упора до (а) та після (б) оптимізації

Висновки. Таким чином, за допомогою SolidWorks Simulation наведено методику застосування комп'ютерних засобів моделювання та аналізу для проектування механізмів та пристосувань з наступною перевіркою працездатності їх деталей. Наступний крок – дослідження працездатності інших деталей знімача втулок.

Список літератури

1. SolidWorks [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://solidworks.com.ua>
2. Ковтуцький Владислав. Методика застосування чисельного моделювання у технічній освіті / Владислав Ковтуцький, О.Ю. Рудик // Фізика. Технології. Навчання – Збірник наукових праць студентів і молодих науковців – Випуск 15. – Кропивницький: ПП «Центр оперативної поліграфії «Авангард», 2017. – С. 64–69.
3. Рудик О.Ю. Математичне моделювання та обчислювальні методи у статичному дослідженні упора знімача втулок / О.Ю. Рудик, В.М. Качур // Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів та комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті та науці: зб. матеріалів I Всеукраїнської інтернет-конференції, 19 травня 2017 р., м. Київ / Київ. ун-т ім. Б. Грінченка; відповід. за вип.: М.М. Астаф'єва, О.В. Бушма, О.М. Глушак, О.С. Литвин, І.В. Машкіна, В.В. Прошкін. – К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2017. – С. 185–189.
4. Справка по SolidWorks: Линеаризованный анализ потери устойчивости [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://help.solidworks.com/2012/Russian/SolidWorks/cworks/IDH_Analysis_Background_What_is_Linearized_Buckling_Analysis.htm.