

СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ФЕРМ В SOLIDWORKS SIMULATION

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано особливості статичного аналізу в програмі Solidworks. Запропоновано алгоритм статичного аналізу для зварних конструкцій ферм. На прикладі зварної конструкції ферми розраховано основні параметри напружено-деформованого стану: еквівалентне напруження, переміщення та коефіцієнт запасу міцності.

Ключові слова: статичний аналіз, зварна конструкція ферми, Solidworks Simulation.

Abstract

The features of static analysis in the Solidworks program are analyzed. An algorithm for static analysis for welded truss structures is proposed. Using the example of a welded truss structure, the main parameters of the stress-strain state were calculated: equivalent stress, displacement and safety factor.

Keywords: static analysis, welded truss structure, Solidworks Simulation.

Вступ

У сучасному машинобудуванні значна увага приділяється вивченню поведінки конструкцій під дією навантажень [1, 2]. Одним з найпоширеніших типів інженерного аналізу є статичний аналіз, який дозволяє визначити напружено-деформований стан твердого тіла під дією сталих (не змінних з часом) сил [3, 4]. Дослідження властивостей матеріалів твердих тіл окреслено в математичних моделях та методах, які охоплюють компетентності сучасних інженерів [5, 6].

Програмний модуль Solidworks Simulation є потужним інструментом для проведення статичного аналізу на основі методу скінченних елементів (FEM) [7, 8]. Цей метод дозволяє виконати математичне моделювання і розрахунок складних зварних конструкцій ферм, з урахуванням їх геометрії, матеріалу, умов закріплення та прикладених навантажень [9, 10].

Метою роботи є скласти алгоритм та провести статичний аналіз для зварної конструкції ферми в Solidworks Simulation.

Результати дослідження

Проектування зварних ферм є критично важливою складовою у будівництві, машинобудуванні та транспортній інфраструктурі [11, 12]. Для забезпечення надійності, жорсткості й безпеки таких конструкцій необхідно проводити інженерний розрахунок, зокрема — статичний аналіз.

Програмний модуль Solidworks Simulation використовує метод скінченних елементів (FEM) [13], який полягає в розбитті конструкції на елементарні ділянки (балочні елементи), для яких записуються рівняння рівноваги:

$$[K]\{u\}=\{F\}, \quad (1)$$

де $[K]$ — матриця жорсткості системи, $\{u\}$ — вектор переміщень, $\{F\}$ — вектор зовнішніх сил.

Статичний аналіз допомагає виявити максимальні напруження, переміщення, реакції в опорах та запас міцності (Factor of safety), що є ключовими при перевірці працездатності зварної конструкції ферми.

Важливим критерієм оцінювання результату статичного аналізу є еквівалентне напруження за Мізесом (Von Mises stress) [14], який дозволяє оцінити "інтенсивність" напруженого стану, і є основним

критерієм для прогнозування початку пластичної деформації у пластичних матеріалах. Еквівалентне напруження за Мізесом розраховується через головні напруження $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ за формулою (2):

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}. \quad (2)$$

На основі параметрів допустимих напружень σ_{yield} і фактично діючого напруження, це зазвичай еквівалентне напруження за Мізесом σ_{eq} , розраховують запас міцності FOS :

$$FOS = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{eq}}. \quad (3)$$

Основна мета запасу міцності – це забезпечити, щоб конструкція не зруйнувалася або не деформувалася пластично під дією робочих навантажень, враховуючи невизначеності в матеріальних властивостях, навантаженнях, умовах експлуатації та точності розрахунків. Таким чином, запас міцності являється математично обґрунтований показник, який кількісно виражає рівень надійності конструкції, враховуючи сукупність усіх можливих невизначеностей. Інженери прагнуть досягти певного мінімального значення FOS (наприклад, 1.5, 2.0 або більше, залежно від галузі та критичності конструкції), щоб гарантувати безпечну експлуатацію.

Запропоновано алгоритм проведення статичного аналізу зварних конструкцій ферм в програмі Solidworks Simulation на рис. 1. Він включає 7 основних пунктів з поетапним виконанням. Послідовність алгоритму можна порушити під час виконання [3]-[5] пунктів, але їх необхідно виконати всі тому, що пункт [6] не запрацює.

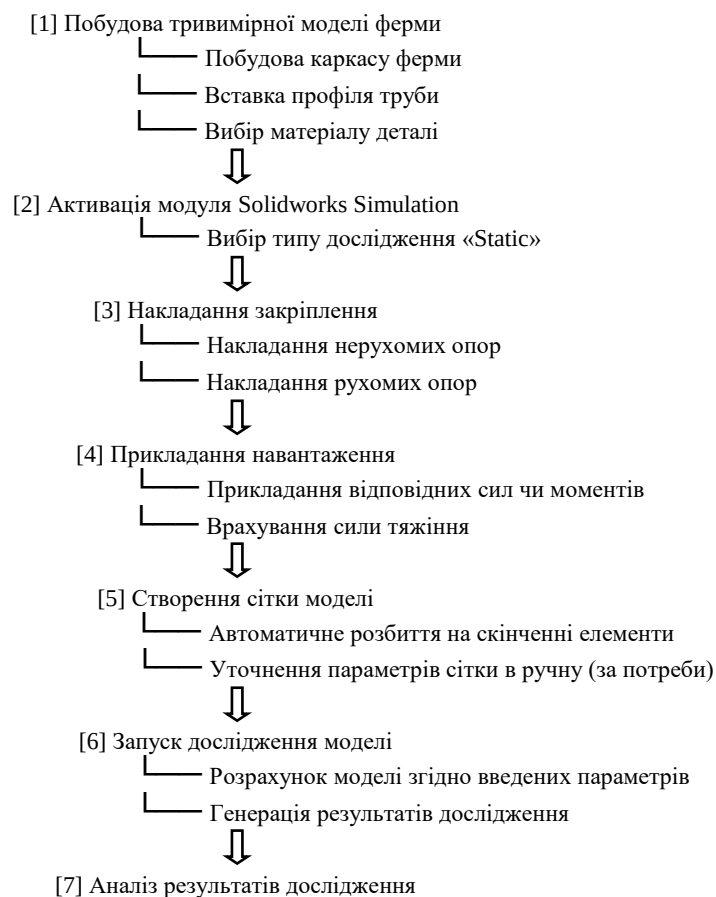


Рис. 1. Алгоритм статичного аналізу зварної конструкції ферми в Solidworks Simulation

Останній пункт алгоритму статичного аналізу включає аналіз результатів дослідження. Для користувача Solidworks Simulation доступний широке різноманіття інструментів із аналізу необхідних параметрів в відповідній точці конструкції [15].

Продемонстровано використання алгоритму статичного аналізу для дослідження зварної конструкції ферми на яку діє сила тяжіння та вертикальна сила в 1000 Н у верхньому лівому куті. В основі каркасу ферми використано трубу 26.9x3.2, а перемички – 21.3x2.3 за ISO 4200:2006. Матеріал труб: якісна конструкційна вуглецева сталь.

В результаті отримано епюри напружень (див. рис. 2), переміщень (див. рис. 3) та коефіцієнта запасу міцності (див. рис. 4).

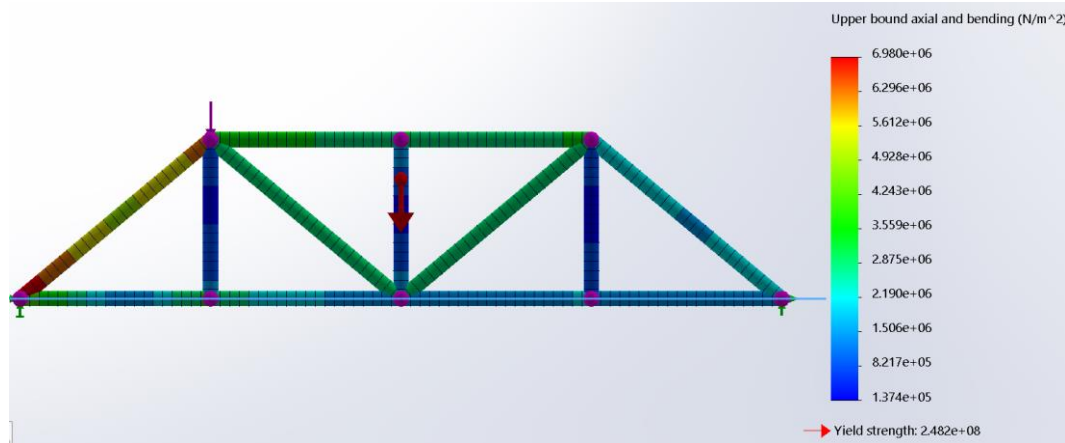


Рис. 2. Епюра еквівалентних напружень «Stress1 (-STRMAX: Upper bound axial and bending-)»

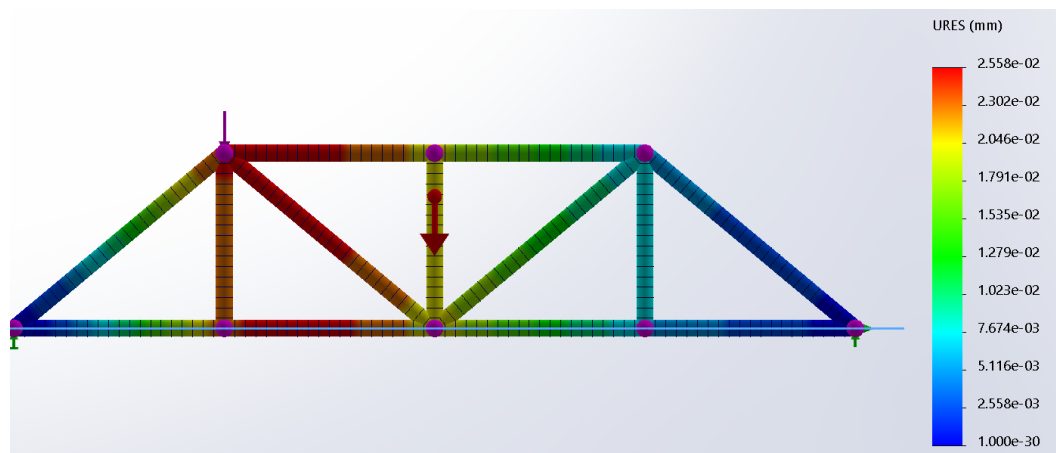


Рис. 3. Епюра результуючих переміщень «Displacement1 (-Res disp-)»



Рис. 4. Епюра розподілу коефіцієнта запасу міцності

Висновки

Виконано дослідження статичного аналізу зварної конструкції ферми в програмі Solidworks за допомогою запропонованого алгоритму. В результаті коефіцієнт запасу міцності для зварної конструкції ферми дорівнює 35,5, який значно перевищує рекомендовані значення. Однак, отриманий результат отримано в навчальних цілях для перевірки працездатності алгоритму статичного аналізу. Необхідно враховувати дію від сили вітру, розподілення сили ваги від опадів та інше, щоб досягти адекватних навантажень на конструкцію ферми та перевірити її надійність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Механіка матеріалів: навчальний посібник / Чаусов М. Г., Пилипенко А. П., Куценко А. Г., Бондар М. М. Ніжин : ТОВ «Видавництво «АспектПоліграф»», 2018. 560 с.
2. Піонткевич О. В., Сухоруков С. І., Сердюк О. В., Домославський В. М. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2022. № 2. С. 96-100.
3. Vishtak I. V., Petrov O. V., Savulyak V. I., Sukhorukov S. I. Influence of the profile of longitudinal grooves of various depths on increasing static characteristics of radial gas bearings. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Vol. 1060, No. 1, 2021. P. 012011
4. Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів: автореф. дис. д-ра техн. наук. Хмельницький, 2021. 46 с.
5. Хом'юк І. В., Хом'юк В. В. Математичне моделювання в контексті здійснення між предметних зв'язків курсу вищої математики у ВНЗ. *Збірник наукових праць «Актуальні питання природничо-математичної освіти»*. Вип. 2, 2017. С. 43–50.
6. Хом'юк В. В., Хом'юк І. В. Компетентностно-орієнтовані завдання як важливий чинник формування когнітивної складової математичної компетентності майбутніх інженерів. *Збірник наукових праць "Актуальні питання природничо-математичної освіти"*. Вип. 1, 2017. С. 107–114.
7. Піонткевич О. В., Березюк О. В., Лозінський Д. О., Кавецький О. І. Застосування CAD/CAE-системи Autodesk Inventor для удосконалення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вінниця : ВНТУ, 2025. Вип. 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-178-186>
8. Петров О. В., Піонткевич О. В., Буда А. Г., Коломієць В. С. Застосування CAD/CAE-системи Solidworks у задачах аналізу міцності деталей верстатних пристосувань. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2024. Вип. 19. № 1. С. 95–102.
9. Гілодо О. Ю. Металеві конструкції у питаннях та відповідях : навчальний посібник / О. Ю. Гілодо. Одеса : Астропринт, 2019. 120 с.
10. Ясній П. В. Верифікація результатів моделювання напружено-деформованого стану зварної ферми / Ясній П. В., Ковальчук Я. О., Шингера Н. Я., Рибачок О. І. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій [Текст]: 36. наук. статей / За заг. ред. Лучка Й.Й. – Львів: Каменяр, 2014. Вип. 10. С. 461 – 471.
11. Швед Я. Л., Мішук О. І. Комп'ютерне моделювання поведінки зварних ферм при дії циклічних навантажень. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 1, 2020. С. 34-34.
12. Березюк О.В. Розробка та дослідження нової структури екологічної машини для очистки населених пунктів від твердих відходів // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. 2008. № 1. С. 92-98.
13. Задачин В. М. Чисельні методи : навчальний посібник / В. М. Задачин, І. Г. Конюшенко. Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. 180 с.
14. Карвацький А. Я. Механіка суцільних середовищ [Електронний ресурс]: навч. посіб. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. 290 с.
15. Analysis of Machine Elements Using SolidWorks Simulation 2016 / John R. Steffen, Shahin S. Nudehi. USA : SDC Publications, 2016. 450 p.

Бригида Михайло Антонович — здобувач вищої освіти групи 2ПМ-24б, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Кудрін Ігор Вікторович — здобувач вищої освіти групи 2ПМ-24б, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Науковий керівник: **Хом'юк Віктор Вікторович** — к. техн. наук, доцент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khomyuk@vntu.edu.ua

Bryhyda Mykhailo A. — student of group 2PM-24b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Kudrin Ihor V. — student of group 2PM-24b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **Khomyuk Viktor V.** — Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khomyuk@vntu.edu.ua