УДК 631.3:539.3

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Олександр НИЧИПОРУК, Сергій ПИЛИПЕНКО, Євгеній БАЗИЛЬЧУК

Здобувачі вищої освіти спеціальності Н7 Агроінженерія

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Розглянуто застосування методу скінченних елементів для оцінювання напружено-деформованого стану робочих органів машин для переробки сільськогосподарської продукції. Сформовано послідовність побудови CAD-моделі, генерації сітки, задання граничних умов і навантажень та аналізу результатів. Визначено основні критерії оцінювання: еквівалентні напруження, деформації, коефіцієнт запасу міцності та переміщення. Запропонований підхід може бути використаний для оптимізації геометрії робочих органів та підвищення їх надійності.*

Ключові слова: *метод скінченних елементів, напруження, деформація, робочий орган, аграрна машина, міцність, моделювання*

Надійність машин для переробки сільськогосподарської продукції значною мірою визначається працездатністю робочих органів, які сприймають змінні силові, ударні та вібраційні навантаження. Традиційні розрахунки за спрощеними схемами не завжди дають змогу врахувати складну геометрію деталей та нерівномірний характер навантаження. Метод скінченних елементів дозволяє визначати локальні зони концентрації напружень і прогнозувати деформації ще на стадії конструкторської підготовки. Дослідження сільськогосподарських машин підтверджують ефективність поєднання 3D-моделювання, експериментального аналізу та FEM для оцінювання міцності конструкцій [1, 3]. Окремі роботи демонструють також можливість оптимізації деталей тракторних агрегатів за результатами скінченно-елементного аналізу [2, 4].

Розрахункова модель формується у CAD-середовищі з подальшим імпортом у FEM-пакет [5]. Геометрію доцільно спрощувати лише в тих місцях, де це не змінює силовий характер роботи деталі. Після генерації сітки задають матеріал, контакти, закріплення та зовнішні навантаження. Для робочих органів подрібнювачів, транспортерів, пресів або сортувальних машин навантаження можуть бути представлені як зосереджені сили, розподілені тиски, моменти або циклічні дії. Основними результатами є поле еквівалентних напружень σ_{eq}, переміщень u та деформацій ε. Коефіцієнт запасу можна оцінювати як $n=\sigma_{доп}/\sigma_{max}$. Важливо провести перевірку чутливості результатів до густини сітки та граничних умов. Для відповідальних деталей доцільно порівнювати розрахунок з експериментальними деформаціями або напруженнями.

$$n = \sigma_{доп}/\sigma_{max}; \quad \sigma_{eq} \le [\sigma]; \quad u \le [u] \tag{1}$$

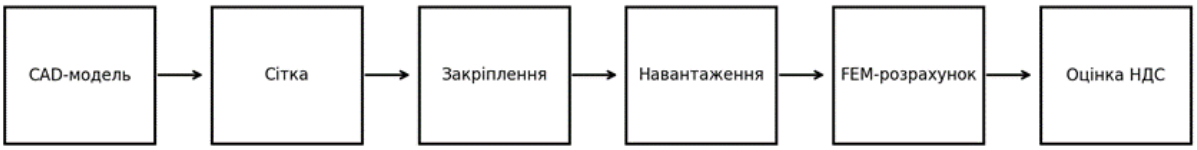


Рисунок 1. Послідовність чисельного аналізу НДС

У практичному проєктуванні найбільший інтерес становлять зони отворів, шпонкових пазів, різких переходів перерізу, зварних з'єднань і місць кріплення ножів. Саме там можуть виникати концентрації напружень. Дослідження конструкцій роторних косарок показує, що поєднання експериментального вимірювання напружень і CAE-моделювання дозволяє перевірити адекватність чисельної моделі та оцінити безпечність конструкції в робочих умовах. Для сільськогосподарських машин FEM також застосовують для виявлення небезпечних зон та оптимізації маси й геометрії деталей. Отже, чисельне моделювання доцільно включати у цикл конструювання разом із перевіркою технологічності виготовлення та ремонтопридатності.

Чисельне моделювання НДС є ефективним інструментом інженерного забезпечення міцності робочих органів машин для переробки сільськогосподарської продукції. Послідовність CAD–FEM–верифікація дозволяє визначати критичні зони, оцінювати деформації та коефіцієнт запасу, а також порівнювати альтернативні конструктивні рішення. Для підвищення

достовірності результатів необхідно контролювати якість сітки, коректність граничних умов і відповідність реальних навантажень розрахунковим. Результати FEM можуть бути безпосередньо використані для зміни товщини, радіусів переходів, положення ребер жорсткості та способу кріплення робочих органів. FEM-аналіз може бути інтегрований у CAD-процес розроблення подрібнювачів, пресів, транспортерів, сортувальних та інших машин, що дає змогу перевіряти конструкцію до виготовлення дослідного зразка.

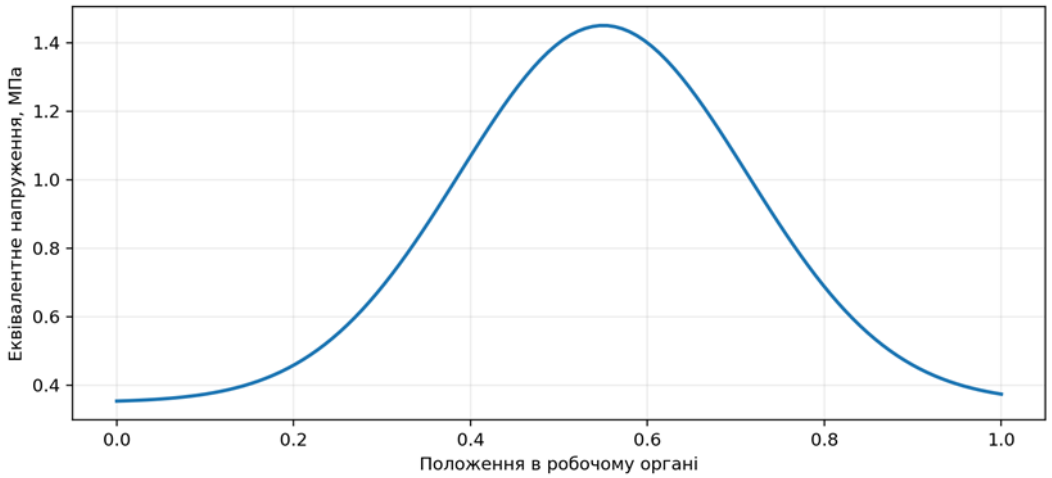


Рисунок 2. Схематичний розподіл еквівалентних напружень

Список використаних джерел

1. Dong S., Li S., Fu S. et al. Finite element analysis and optimization of tractor gearbox body under various kinds of working conditions. Scientific Reports. 2022. Vol. 12. Art. 17386. DOI: 10.1038/s41598-022-22342-6.

2. Celik H. K., Akinci I., Caglayan N., Rennie A. Structural strength analysis of a rotary drum mower during harvesting. Journal of Agricultural Engineering. 2024. Vol. 55, No. 1. Art. 1557. DOI: 10.4081/jae.2024.1557.

3. Celik H. K., Akinci I., Caglayan N., Rennie A. Structural Strength Analysis of a Rotary Drum Mower in Transportation Position. Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 20. Art. 11338. DOI: 10.3390/app132011338.

4. Rashvand M. Potential of finite element method to optimize the olive harvester machine (hand-held rotary harvester). Journal of Food Process Engineering. 2023. Vol. 46, No. 3. Art. e14268. DOI: 10.1111/jfpe.14268.

5. Yang J. Strength Calculation Method of Agricultural Machinery Structure Using Finite Element Analysis. International Journal of Advanced Computer Science and

Applications. 2024. Vol. 15, No. 10. P. 699–706. DOI: 10.14569/IJACSA.2024.0151071.

Abstract: *The paper considers the application of the finite element method for evaluating the stress-strain state of working elements of agricultural product processing machines. A workflow including CAD modelling, mesh generation, boundary conditions, loading and result evaluation is formulated. The main criteria are equivalent stress, deformation, safety factor and displacement. The approach can be used to optimize working-element geometry and improve machine reliability.*

Keywords: *finite element method, stress, deformation, working element, agricultural machine, strength, modelling.*

Науковий керівник:
Садовий О.С.
Канд. техн. наук, доцент
Миколаївський національний аграрний університет

УДК 631.3:539.3

КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

Віталій ОХОТСЬКИЙ, Ігор ШИКАЛЕНКО, Олексій ТАРАН
Здобувачі вищої освіти спеціальності Н7 агроінженерія
Миколаївський національний аграрний університет
м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Запропоновано підхід до комплексної оптимізації конструктивно-технологічних параметрів машин для переробки плодоовочевої сировини. Розглянуто взаємозв'язок продуктивності, якості, енергоспоживання, втрат сировини та гнучкості технологічної лінії. Обґрунтовано застосування багатокритеріальної оптимізації, за якої конструктивні параметри обладнання пов'язуються з режимами роботи та властивостями сировини. Визначено перспективність поєднання*