

УДК 631.312.028

В.В. Девін, В.С. Ткачук, кандидати технічних наук, доценти ПДАТУ

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТОЯКА ЛЕМІШНОГО ПЛУГА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Викладена методика застосування сучасних систем автоматизованого проектування для моделювання напружено-деформованого стану стояка плуга.

Ключові слова: метод скінчених елементів, напружено-деформований стан, корпус плуга, стояк, 3D модель.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Аналіз машинобудівних конструкцій з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) в даний час є фактично стандартом при проведенні розрахунків на міцність, деформаційних та інших видів розрахунків. Основою цього служить універсальність МСЕ, що дозволяє розраховувати конструкції з врахуванням їх різних геометричних параметрів, силових і кінематичних характеристик [1-3].

До теперішнього часу розроблений цілий ряд програм скінчено-елементного аналізу: ANSYS, MSC/NASTRAN, ABAQUS, Cosmos SolidWorks, AutoFEM Analysis, AutoCAD Mechanical Desktop, WinMachine, T-FLEX, КОМПАС та ін.

Усі програми для реалізації МСЕ можна розділити на дві основні групи. Перша – програми скінчено-елементного аналізу, що вбудовуються у відомі пакети САПР і мають можливість швидкого розрахунку окремих елементів і складальних одиниць безпосередньо в середовищі їх розробки. Друга – це програми, призначені в першу чергу для створення конкретно скінчено-елементної моделі з максимальними можливостями розрахунку геометричних, силових та інших параметрів, які для ряду машинобудівних конструкцій є навіть зайвими.

Вибір програм для інженерного аналізу визначається складністю конструкції досліджуваної деталі і особливістю її кінематичної і силової взаємодії з іншими елементами у вузлі.

На думку авторів, для дослідження напружено-деформованого стану стояка лемішного плуга найраціональніше, з точки зору зменшення витрат коштів і часу, застосування одного з програмних комплексів першої групи, а саме системи АРМ FEM КОМПАС російської компанії Аскон.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. У теперішній час накопичено значний досвід скінчено-елементного моделювання машинобудівних конструкцій. Відомо, що розрахункові схеми різних елементів машинобудівних та інших конструкцій можуть бути зведені до стержньових, пластинчастих, оболонкових або об'ємних систем, що знаходяться під дією довільних механічних і температурних навантажень. Для їх розрахунку на міцність доцільно створювати комплекси програм цільового призначення, що забезпечують контроль підготовки вхідних даних, чисельну машинну реалізацію алгоритмів розрахунку конструкцій певних класів, видачу результатів у зручній для практичного використання формі. Крім того, необхідна інтеграція наявних і створюваних програмних комплексів із засобами автоматизації конструювання, підготовки та випуску розрахунково-конструкторської документації для різних машин, апаратів, агрегатів і споруд. На сьогодні МСЕ досить повно математично обґрунтований і створені вискоєфективні програмні продукти, які весь час вдосконалюються разом із засобами програмування [1-3].

МСЕ – один з основних методів вирішення задач механіки деформівного твердого тіла, будівельної механіки, теплопровідності, гідромеханіки та ін. Ідея методу полягає в апроксимації суцільного середовища з нескінченим числом ступенів рухомості сукупністю простих елементів, що мають обмежене число ступенів рухомості і пов'язані між собою у вузлових точках.

Для МСЕ характерні: широкий діапазон застосування, інваріантність по відношенню до геометрії конструкції і механічних характеристик матеріалів, простота врахування взаємодії

конструкцій із зовнішнім середовищем (механічні та температурні навантаження, граничні умови і т.д.), високий ступінь пристосованості до автоматизації всіх етапів розрахунку. Популярність методу пояснюється також простотою його фізичної інтерпретації і очевидним зв'язком з методами Рітца і переміщень, широко вживаними в механіці суцільних середовищ і будівельній механіці.

Основа фізичної концепції МСЕ – це розбиття математичної моделі конструкції на непересічні компоненти (підобласті) простої геометрії, які називаються скінченими елементами. Сукупність елементів, на які розбита конструкція, називається скінчено-елементною сіткою. Механічна поведінка кожного елемента виражається за допомогою невеликого числа ступенів свободи або значень шуканих функцій у вузлових точках. Поведінка математичної моделі, таким чином, апроксимується поведінкою дискретної моделі, отриманої шляхом додавання або ансамблювання всіх елементів.

Мета статті – розробити методику і алгоритм дослідження напружено-деформованого стану стояка плуга з використанням програмних продуктів комп'ютерного моделювання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначення напружено-деформованого стану багатьох сучасних інженерних конструкцій (комбайнів, автомобілів, будівель та ін.) є складним завданням. Пов'язано це в основному з наступними причинами:

- конструктивною складністю об'єктів;
- складністю силової дії на них;
- властивостями нових матеріалів;
- складністю взаємодії елементів конструкції в просторі і в часі (не лінійність і динамічність процесів);
- підвищенням вимог до точності отриманих результатів.

При цьому глобальною метою є здобуття міцної, надійної і економічної конструкції при мінімальних коефіцієнтах запасу.

Для досягнення цієї мети принципово існують два шляхи: експериментальні дослідження і розрахунки із застосуванням математичного моделювання. Перший шлях вимагає значних матеріальних витрат і майже не піддається універсалізації, тобто кожен складний експеримент завжди унікальний. За допомогою комп'ютерного моделювання розв'язання науково-технічної задачі зводиться до дослідження математичної моделі конструкції. На практиці, при проектуванні і дослідженні складних конструкцій використовуються обидва шляхи, часто доповнюючи один одного.

Система АРМ FEM є інтегрованим в КОМПАС-3D інструментом для підготовки і подальшого скінчено-елементного аналізу тривимірної твердотільної моделі (деталі або вузла).

За допомогою АРМ FEM можна прикласти навантаження різних типів, вказати граничні умови, створити скінчено-елементну сітку і виконати розрахунок. Програма дозволяє провести наступні види розрахунків:

- статичний розрахунок;
- розрахунок на стійкість;
- розрахунок власних частот і форм коливань;
- тепловий розрахунок.

У результаті виконаних системою АРМ FEM розрахунків можна отримати наступну інформацію:

- карту розподілу навантажень, напружень, деформацій в конструкції;
- коефіцієнт запасу стійкості;
- частоти і форми власних коливань;
- карту розподілу температур в конструкції;
- масу і момент інерції моделі, координати центру ваги.

Основні етапи розв'язання задачі за допомогою МСЕ наступні:

1. Підготовка геометричної 3D моделі і вибір матеріалу здійснюється засобами системи КОМПАС-3D. Для стояка вибираємо матеріал сталь 45 з допустимим напруженням 200 МПа. Модель представлена на рис. 1.

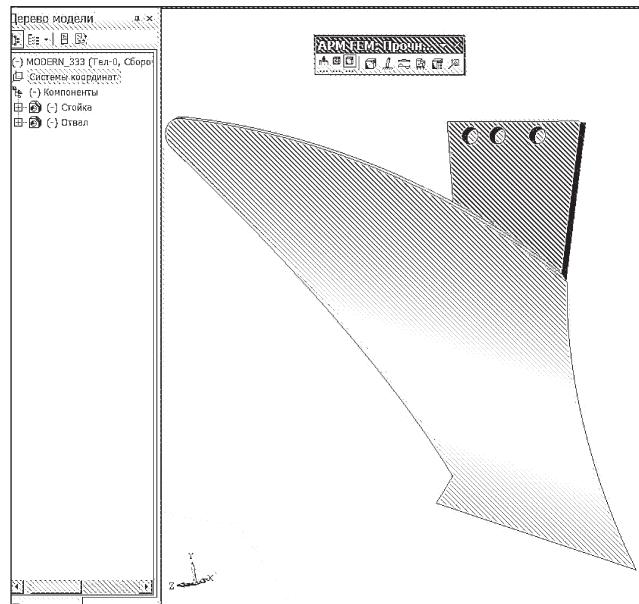


Рис. 1. Модель корпусу плуга ПЛН 4-35

2. Аналіз і призначення граничних умов (закріплення, навантаження). Закріплення стояка виконане у верхніх отворах, де він кріпиться до рами плуга. На основі багаторічних експериментальних даних, отриманих у ВІСГОМ Г.М. Синеоковим і в інших наукових установах, встановлено, що номінальні (робочі) навантаження на корпус плуга з шириною захвату 35 см у відповідності з призначенням плуга – оранка в гранично важких ґрунтових умовах для середніх ґрунтів – складають 8500 Н, для важких ґрунтів – 12500 Н. Величина розрахункових зусиль на корпус при умові зустрічі корпусу плуга з перешкодою (ділянкою сильно ущільненого ґрунту від попереднього проходу колісного транспорту тощо) приймається втричі більшою, відповідно 25000 і 40000 Н [4, 5].

Прикладені закріплення і навантаження на модель показано на рис. 2.

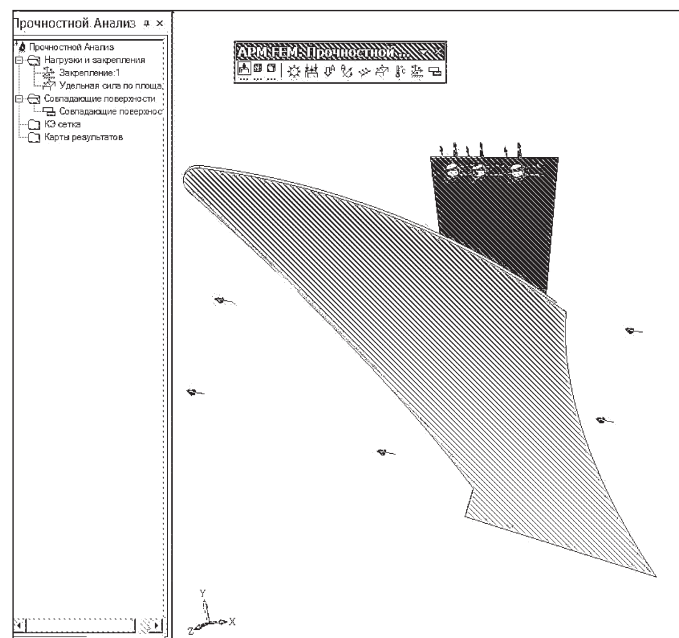


Рис. 2. Схема закріплення і навантаження моделі

3. Генерація кінцево-елементної сітки на 3D-моделі відбувається автоматично, але розміри скінчених елементів необхідно попередньо задати. У системі АРМ FEM КОМПАС скінчені елементи мають форму тетраедра, кількість елементів по товщині деталі повинно бути 4...6. Товщина стояка корпусу плуга складає 25 мм, тому ми прийняли висоту елемента 5 мм. Скінчено-елементна сітка моделі представлена на рис. 3.

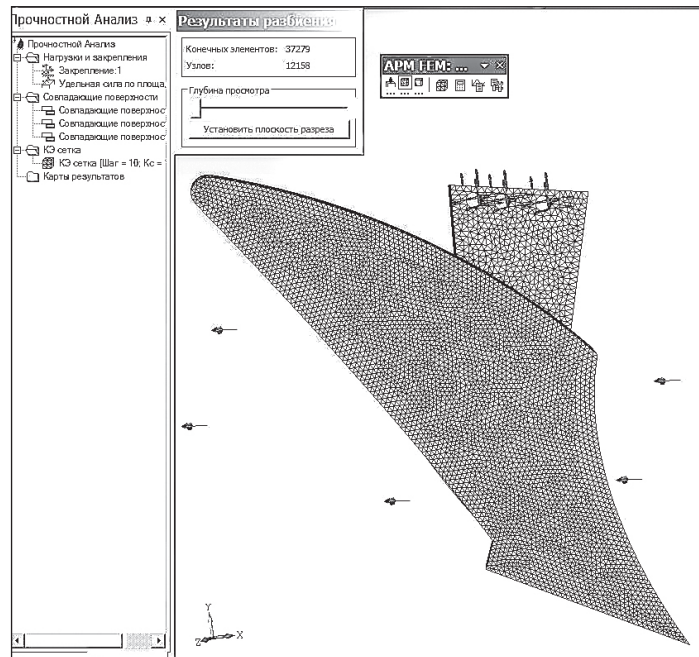


Рис. 3. Скінчено-елементна сітка моделі

4. Вибір необхідного типу розрахунку і налаштування його параметрів відбувається у вікні панелі ARM FEM. Вибираємо статичний розрахунок.

5. У результаті розрахунку отримані епюри деформованої розрахункової моделі, в якій колірний діапазон залежить від рівня напружень в даному місці стояка (рис. 4).

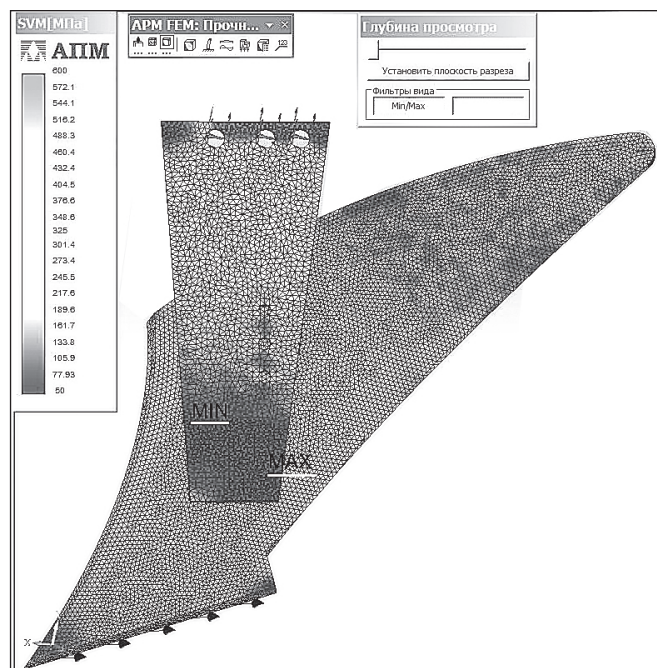


Рис. 4. Діаграма еквівалентних напружень

Перегляд отриманих результатів і аналіз значень основних розрахункових характеристик (напружень, коефіцієнтів запасу, переміщень) дає інформацію для проведення модифікації моделі за результатами проведених обчислень (можна змінити геометричні розміри деталей або матеріал). Максимальні напруження виникають, як і очікувалось, на робочій поверхні полиці і в місцях кріплення стояка до рами плуга. Як показує діаграма (рис. 4), напруження знаходяться в межах норми. Нижня частина стояка сильно недовантажена, тут є можливість економії матеріалу і зменшення ваги конструкції.

б. Останній етап – повторне проведення розрахункового аналізу для підтвердження робоздатності виробу.

Висновки. Поява і розвиток систем комп'ютерного моделювання і скінчено-елементного аналізу вимагає розробки нових підходів до проектування машин та їх робочих органів, зокрема деталей плугів. Ці підходи кардинально змінилися: якщо створення робочого органу традиційними методами починалося з виконання його проєкцій, тобто з плоских зображень, то при комп'ютерних методах спочатку створюється просторова 3D-модель, а потім отримують плоскі зображення, необхідні перерізи, вигляди. Відповідно змінилося і математичне забезпечення. Експрес-аналіз напружено-деформованого стану конструкції за допомогою методу скінчених елементів дає можливість конструктору вже на початкових стадіях проектування приймати правильні і обґрунтовані конструктивні рішення, використовуючи побудовані 3D-моделі. Це підвищує якість і економить час, що витрачається на розробку виробу, а значить, робить його конкурентоспроможним.

Список використаних джерел

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
2. Стренг Г., Фикс Г. Теория метода конечных элементов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
3. Журбин О.В., Чижиумов С.Д. Анализ инженерных конструкций методом конечных элементов: Учеб. пособие. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2004. – 157 с.
4. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
5. Жилкин В.А. Расчеты на прочность и жесткость элементов сельскохозяйственных машин. Часть I. Учебное пособие. Челябинский государственный агроинженерный университет. – Челябинск, 2005. – 427 с.
6. Красниченко А.В. (ред.) Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В двух томах. Том 2. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. – 863 с.

Аннотация. Изложена методика применения современной системы автоматизированного проектирования для моделирования напряженно-деформированного состояния стойки плуга.
Ключевые слова: метод конечных элементов, напряженно деформированное состояние, корпус плуга, стойка, 3D модель.

Annotation. The method of application of modern computer-aided design is expounded for the research of the tense- deformed state of bar of plough.

Key words: method of finite elements, tense- deformed the state, plough body, leg, 3D model.

УДК 631. 3130. 9. 004. 4

В.Ю. Бурдега, кандидат технічних наук, доцент,
А.М. Токар, кандидат фізико-математичних наук, доцент,
С.В. Грабовський, аспірант ПДАТУ

ПЕРЕМІЩЕННЯ ЧАСТИНКИ ҐРУНТУ ПО ПОХИЛІЙ ПЛОЩИНІ ГНУТОШТАБОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

Наведено результати дослідження переміщення частинок ґрунту по похилій площині робочих органів з гнutoштабовими елементами на прикладі зуба борони.

Ключові слова: гнutoштабовий робочий елемент, розпушування, обробіток, ґрунт.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Взаємодія робочого органу із ґрунтом може бути представлена двома видами руху ґрунтових часток – загальним рухом скиби ґрунту і переміщенням окремих її часток по відношенню одна до одної. При розпушуванні ґрунту другий вид переміщення повинен пере-