

В.Д. Головня, к.пед.н.¹,
О.Л. Мельник, к.т.н.¹,
О.Р. Стрілець, к.т.н.²,

*Державний університет «Житомирська політехніка»¹,
Національний університет водного господарства та природокористування²*

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ НАВАНТАЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНОЇ ПАРИ «ШЕСТЕРНЯ-ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО» ЗАСОБАМИ САПР

Сучасні машинобудівні підприємства займаються розробкою і виробництвом технологічних машин, в у тому числі металорізальних верстатів, редукторів, коробок швидкостей тощо, які часто включають в себе велику кількість складних механізмів з переміщеннями і динамічною взаємодією. Після завершення проектного етапу, виріб переходить в стадію створення дослідного зразка, де і виникають проблеми при випробуваннях: заклинювання, недостатнє переміщення, неможливість збірки та інші негативні фактори. Це впливає на швидкість виходу продукції на ринок і збільшення собівартості через великі витрати на створення дослідних зразків.

Все це разом призводить до зниження конкурентоспроможності продукту. Застосування сучасних методів проектування та аналізу дозволяє скоротити витрати на розробку дослідних зразків. Сучасні методи проектування продукції машинобудування вимагають від інженера-конструктора знань методології вирішення проектних та дослідницьких задач за допомогою обчислювальної техніки, навичок проектування, конструювання та аналізу за допомогою CAD/CAM/CAE систем.

Розробка зубчастих передач, що відповідають високому науково-технічному і виробничому рівню, є складним завданням, що вимагає спільного розгляду всіх показників якості передачі, що проектується, а також конструктивних і технологічних шляхів їх забезпечення з урахуванням економічних чинників.

Слід зазначити, що від працездатності зубчастих передач, здатності їх витримувати значні навантаження залежить довговічність всього агрегату, саме тому вдосконалення методів розрахунку режимів навантаження і міцності елементів зубчастих механізмів є актуальною проблемою сучасного машинобудування.

Аналіз напружено-деформованого стану зубчастого зачеплення потрібен для оцінки міцності зубчастої передачі. Основною задачею такого дослідження є розрахунок зубів на контактну міцність та міцність при згині.

При розрахунку контактних напружень враховуються напруження в полюсі зачеплення, а при розрахунку згинальних напружень – в небезпечному перетині при основі зуба. Традиційно режими навантаження кінематичної пари «шестерня-зубчасте колесо» визначаються шляхом аналітичного вирішення задачі Герца про стискання двох циліндрів при розрахунку контактних напружень, а також вирішенням задачі про консольно-затиснену балку при визначенні напружень згину. Оскільки дана модель відрізняється від реального зубчастого зачеплення, то в методику розрахунку вводяться уточнення у вигляді емпіричних коефіцієнтів. Спираючись на перелічені фактори, можна стверджувати, що в сучасному машинобудуванні виникає необхідність отримання більш точної інформації про напружено-деформований стан матеріалу зубів кінематичної пари «шестерня-зубчасте колесо».

В даний час, коли прогрес в машинобудуванні вже немислимий без докладного дослідження напружено-деформованого стану деталей машин, інженери почали широко використовувати чисельні методи аналізу, серед яких найбільшу популярність набув метод кінцевих елементів.

Проведення дослідження режимів навантаження кінематичної пари «шестерня-зубчасте колесо» методом кінцевих елементів базується на 3D-моделі зачеплення, що і є першою перешкодою, оскільки отримати тривимірні моделі зубчастих коліс засобами традиційних САД-систем доволі складно, для цього потрібно правильно побудувати профіль зуба в поперечному перерізі. Враховуючи це виробниками САД-систем було розроблено модулі, що дають змогу отримувати тривимірні моделі зубчастих коліс на основі проведених розрахунків, зокрема:

– КОМПАС-Shaft 3D – спеціалізований додаток для системи КОМПАС-3D, що призначений для автоматизації проектування і побудови тривимірних моделей валів, втулок, елементів механічних передач. До складу КОМПАС-Shaft 3D входить модуль КОМПАС-GEARS який дає змогу проводити геометричні розрахунки та розрахунки на міцність черв'ячних, циліндричних і конічних зубчастих передач, а також ланцюгових і пасових передач;

– GearTrax програмний продукт компанії Camnetics Inc., USA, який може бути підключений до різноманітних САД-систем, таких як: SOLIDWORKS, AutoCAD, Inventor та Solid Edge. Пакет включає в себе такі можливості: автоматичне створення моделей різноманітних зубчастих зачеплень з наступною передачею їх до САД-систем, перевірку сталевих конструкцій на відповідність нормам, моделювання інерційного і рухомого навантаження, розтягування/стиснення нелінійних елементів з початковими зазорами, комбінування розрахункового навантаження, аналіз великих лінійної деформації тощо.

На основі отриманих тривимірних моделей розрахунок режимів навантаження кінематичної пари «шестерня-зубчасте колесо» методом кінцевих елементів можна проводити з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, наприклад:

– **SOLIDWORKS Simulation** – за допомогою даного програмного продукту можна вирішувати наступні задачі: розрахунок конструкцій на міцність, постановка і вирішення контактних задач, розрахунок збірок, визначення власних форм і частот коливань, розрахунок конструкції на стійкість, втомні розрахунки, імітація падіння, теплові розрахунки, розрахунок нелінійних контактних задач, аналіз втомних напружень і визначення ресурсу конструкцій, проводити оптимізацію параметрів моделі тощо.

– **ANSYS Mechanical** – включає в себе повний набір лінійних та нелінійних елементів, зручну для використання та редагування базу матеріалів, а також широкий набір методів вирішення задач. Це дозволяє швидко вирішувати складні завдання, навіть якщо вони включають нелінійний контакт.

– **ABAQUS** – універсальна система, що використовується для проведення аналізу складних лінійних і нелінійних інженерних систем. Даний комплекс має власний препроцесор ABAQUS/CAE і може бути інтегрованим з багатьма CAD-системами та іншими програмними продуктами.

– **NASTAN** – можливість розрахунку напружено-деформованого стану, запасу міцності, власних частот та форм коливань, аналіз стійкості, дослідження динамічних процесів, вирішення задач теплопередачі, аналіз складної контактної взаємодії тощо. У даній системі передбачена можливість моделювання різних типів матеріалів, включаючи композиційні та гіперпружні.

Моделювання методами кінцевих елементів дозволяє зменшити кількість фізичних прототипів і випробовувань, що дасть змогу прискорити повернення інвестицій з рахунок зменшення часу розробки, а також сприяє розвитку більш гнучкого процесу проектування, призведе до створення інноваційних, високоякісних продуктів і процесів виробництва, що, у свою чергу, ініціює перехід на більш високий рівень виводу продукції на ринок за менший проміжок часу і з меншими витратами.

Застосування комп'ютерних технологій на всіх стадіях проектування і дослідження дозволяє створити правильне, більш точне уявлення про те, що відбувається в механізмах і системах при їх роботі, уточнити кінематичні і силові зв'язки, розкрити можливості їх вдосконалення в нових, більш ефективних напрямках, дозволить істотно поліпшити їх вихідні характеристики.