

УДК [621.82: 514.182.7]:004.9

*Олександр Мацулевич, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Андрій Чаплінський, старший викладач
кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Максим Супрун, асистент
кафедри інженерної механіки та комп'ютерного проектування,
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра
Моторного,
м. Запоріжжя, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ВАЛІВ МАШИН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Наведені можливості застосування інформаційних технологій для автоматизації процесу проектування валів машин сільськогосподарського призначення, що дозволяє спростити і прискорити інженерні розрахунки, створення 3D моделі та робочого креслення деталі і оперативно вносити зміни на всіх стадіях проектування.

Ключові слова: вал, статична міцність, втомна міцність, твердість, частота власних коливань, стійкість.

Abstract. The possibilities of using information technologies for the automation of the design process of the shafts of agricultural machines are presented, which allows to simplify and speed up engineering calculations, the creation of a 3D model and a working drawing of the part, and to quickly make changes at all stages of the design.

Keywords: shaft, static strength, fatigue strength, hardness, frequency of self-oscillations, stability

Вступ. З кожним роком дедалі більше сфер нашого життя стають невіддільними від інформаційних та комп'ютерних технологій. Впровадження комп'ютеризації та автоматизації у виробничі процеси є ключем до створення надійної та конкурентоздатної продукції. На сьогоднішній день комп'ютерні технології відіграють одну з провідних ролей у розробці, виготовленні та впровадженні новітнього обладнання, а також у модернізації вже існуючого.

Для розв'язання подібних завдань застосовуються відповідні комп'ютерні технології, причому часто виникає потреба у використанні як універсальних, так і вузькоспеціалізованих програмних засобів.

Конструкторська документація в електронному форматі має значні переваги порівняно з паперовою документацією, виконаною вручну. Її легше копіювати, зручніше та ефективніше редагувати завдяки можливостям наскрізного проектування, які надають сучасні графічні пакети.

Автоматизація та комп'ютеризація етапів проектування суттєво спрощують і прискорюють процес розробки, оскільки час від зародження нової ідеї до впровадження готового виробу значно скоротився.

Водночас, структура і форма виробів постійно ускладнюються, а вимоги до точності їх виготовлення зростають.

Вирішенню цих проблем сприяє наявна велика кількість прикладних програм, які використовуються різними фахівцями на етапах проектування, виготовлення, випробування, впровадження та подальшої експлуатації промислових виробів, зокрема й сільськогосподарського призначення.

Виклад основного матеріалу. Під час проектування валів необхідно враховувати критерії їхньої функціональності та значні навантаження, які вони витримують.

З метою встановлення найкращих геометричних розмірів валів необхідно здійснити ряд обчислень, що охоплюють оцінку статичної та втомної міцності, а також жорсткості при згинанні й скручуванні. Для валів, що працюють на високих швидкостях, є важливим визначення їх власних частот коливань для запобігання резонансу. Довгі ж вали потребують перевірки на стійкість до деформацій.

Програмний комплекс APM Winshaft пропонує модуль для розрахунку деталей типу «Вал», що дозволяє визначити реакції в опорах валів, розподіл згинальних моментів та кутів прогину, розподіл крутних моментів та кутів скручування, розподіл деформацій і напружень, розподіл коефіцієнта запасу

втомної міцності, розподіл поперечних сил, а також власні частоти та форми коливань вала.

За результатами розрахунків проводиться аналіз отриманих даних, а також побудова робочого креслення або тривимірної моделі вала.

Аналіз статичної міцності носить контрольний характер. Він дозволяє визначити коефіцієнти запасу для вала вже заданої геометрії. Як правило, початкова форма та розміри вала обумовлюються конструктивними вимогами. Метою цих розрахунків є підтвердження або спростування обраної інженером конфігурації вала з огляду на його здатність витримувати статичні навантаження. Проте, статична міцність є не єдиним аспектом, що визначає правильність конструкції вала.

У процесі розрахунку статичної міцності вал моделюється як кругла балка зі змінним поперечним перерізом. Матеріалом для валів слугує сталь, чий механічні характеристики безпосередньо впливають на величину запасу міцності при заданому навантаженні. З ряду об'єктивних причин створення вала абсолютно рівномірного опору є складним завданням, однак, чим ближчі фактичні напруження до теоретичних значень для такого вала, тим раціональніше використовується його матеріал. Окрім геометричних характеристик, вихідними даними для розрахунків статичної міцності є навантаження, що діють на вал, такі як зосереджені та розподілені радіальні сили, осьові сили, згинальні моменти та крутні моменти. Також необхідно вказати умови закріплення вала, задавши кінцеву кількість опор, яка не повинна перевищувати п'ятдесяти.

При введенні крутних моментів слід контролювати дотримання умови рівноваги при крученні. У разі її порушення система ігноруватиме введені крутні моменти.

У процесі розрахунку статичної міцності визначаються значення згинальних та крутних моментів у ключових перерізах вала, а також обчислюються відповідні напруження. Оцінка міцності вала здійснюється на основі величини еквівалентних напружень, розрахованих згідно з теорією максимальних дотичних

напружень. Для валів, статична визначеність яких відсутня, реакції опор знаходяться методом сил. Результати визначення згинальних моментів візуалізуються у вигляді епюр, побудованих у двох ортогональних площинах. Крутні моменти та отримані значення еквівалентних напружень відображаються графічно вздовж осі вала. Крім того, розраховуються величини реакцій опор, які є необхідними для подальшого аналізу деталей, що контактують з валом.

Обертання вала призводить до виникнення напружень, що змінюються в часі. У випадку змін зовнішнього навантаження, прикладеного до вала, нерівномірність напружень ще більше зростає. Змінний характер напружень може спричинити появу втомних тріщин, які можуть призвести до руйнування. Руйнування зазвичай починається в найбільш напружених точках вала, таких як місця розташування канавок, галтелей, шліцьових з'єднань, шпонок, різьби тощо.

Оцінка втомної міцності базується на номінальних напруженнях при згинанні та скручуванні, з урахуванням локальних напружень у досліджуваній точці вала. Вплив цих локальних напружень враховується введенням коефіцієнтів концентрації напруг, величина яких залежить від геометрії концентратора. Результати аналізу втомної міцності візуалізуються у вигляді графіка зміни запасу міцності при циклічних навантаженнях вздовж осі вала. Варто зазначити, що цей запас міцності є довготривалим, і точність його визначення є значно нижчою порівняно з розрахунком статичної міцності. Система також передбачає можливість врахування змінних зовнішніх силових факторів шляхом приведення змінного режиму навантаження до еквівалентного постійного.

У деяких випадках важливим критерієм надійності конструкції вала є його жорсткість. Розрахунок жорсткості в системі APM Winshaft включає визначення деформацій, що виникають під впливом прикладених сил. Для цього використовується метод інтеграла Мора. Залежно від характеру навантаження, жорсткість вала поділяється на опір згину та опір крученню (APM Winshaft дозволяє розрахувати обидва типи). Результати цих розрахунків відображаються у вигляді графіка зміни жорсткості по довжині вала. Іноді виникає потреба у

визначенні кутів повороту поперечних перерізів вала та параметрів його скручування, які отримуються шляхом диференціювання кривої деформацій. Умова жорсткості вважається виконаною, якщо фактичні деформації та кути нахилу розглянутих перерізів не перевищують гранично допустимих значень, що залежать від призначення проектного обладнання та необхідної точності.

Під час проектування валів, призначених для роботи на значних швидкостях або тих, що характеризуються низькою жорсткістю, особливої актуальності набуває задача ідентифікації їх власних частот згинних та крутильних коливань. Програмний комплекс APM Winshaft надає можливість обчислення як кількісних значень цих частот, так і відповідних їм характеристичних форм коливань. Методологічною основою для визначення власних частот у APM Winshaft слугує метод початкових параметрів. При аналізі згинних коливань до уваги береться як власна маса вала, так і момент інерції його поперечного перерізу відносно осі обертання. Крім того, в розрахунках враховуються зовнішні маси, включаючи їх масові характеристики та осьові моменти інерції. Аналізуючи крутильні коливання, передбачається, що моменти інерції описують обертові тіла, для яких осьовий момент інерції становить половину полярного моменту інерції.

Система надає можливість розраховувати вал за різних граничних умов та типів опор: жорстка безмоментна опора (без зміщення осі вала та з нульовим реактивним моментом); пружна опора (зміщення осі вала пропорційне реакції в опорі).

Для розрахунку вала необхідні параметри матеріалів: щільність, модуль пружності та коефіцієнт Пуассона.

Редактор валів, що є складовою частиною системи APM Winshaft, являє собою спеціалізований графічний редактор, призначений для завдання геометрії валів та осей. Він дозволяє задавати конструкцію вала, вводити навантаження, що діють на нього, та розміщувати опори, на яких він встановлений.

Основна відмінність редактора валів системи APM Winshaft від традиційних графічних редакторів полягає в наборі примітивів, з якими він працює. Набір

примітивів у системі APM Winshaft включає основні елементи конструкції вала (циліндричні та конічні сегменти, фаски, галтелі, канавки, отвори, ділянки з різьбою, шпонки та шліцьові з'єднання), а також умовні позначення для навантажень, що можуть діяти на вал, та опор, на яких він встановлений. Це значно спрощує введення геометрії вала та інших даних, необхідних для виконання розрахунків.

Висновки. Використання сучасних комп'ютерних технологій на стадії розробки деталей машин сільськогосподарського призначення, зокрема валів, дає можливість моделювати поведінку об'єкта, спростити та прискорити математичні обчислення, оперативно вносити зміни на всіх етапах проектування, усуваючи таким чином значну кількість недоліків. За рахунок скорочення часу на кожному етапі загальний період виконання проектних робіт значно зменшується.

Список використаних джерел

- 1 Деталі машин : підручник / [А. В.Міняйло, Л. М. Тіщенко, Д. І. Мазоренко та ін.]. Київ : Агроосвіта, 2013. 448 с.
2. Інженерна механіка (Деталі машин): посібник-практикум (Частина 1) / О. О. Дереза, О. М. Леженкін, О. О. Вершков, Є. А. Гавриленко, Ю. О. Дмитрієв, А. О. Смелов. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2020. 143 с.
3. Alrefo I. F., Rawashdeh M. O., Matsulevych O., Vershkov O., Halko, S., Suprun, O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol. 3. P. 72–78. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072>
- 4 Інженерна механіка (Деталі машин): посібник-практикум (Частина 2) / О. О. Дереза, О. М. Леженкін, О. О. Вершков, Є. А. Гавриленко, Ю. О. Дмитрієв, А. О. Смелов. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2021. 132 с.
5. Мацулевич О. Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24, т. 1. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-13>.
6. Вершков О. О., Мацулевич О. Є., Дереза О. О. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих програм токарної обробки валів. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації* : матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.). Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. С. 100-105.

7. Мацулевич О. Є., Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Чаплінський А. П. Отримання мастер-моделі з восківки методом лиття. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2022-vypusk-12-tom-1.pdf>.