

ВЕРИФІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКІВ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ АГТД, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ANSYS

Верифікація результатів розрахунків чисельними методами є важливим етапом інженерного аналізу, який необхідний для забезпечення точності та достовірності отриманих даних, і являє собою процес підтвердження того, що результати виконаного моделювання відповідають реальним фізичним процесам та очікуваним результатам. Важливість верифікації зростає зі збільшенням складності завдання та ступеня відповідальності за прийняті на його основі рішення. Результати аналізу напруженості деталей АГТД можуть визначати фактичний запас міцності деталей, оцінку їхньої циклічної довговічності, обґрунтування вибору матеріалів, оптимізацію геометрії, обґрунтування програм натурних випробувань тощо. У випадку, якщо результати розрахунків є недостовірними або неточними, це може призвести до серйозних помилок проектування, що в кінцевому підсумку може спричинити значні матеріальні та часові витрати. Верифікація результатів напружено-деформованого стану деталей АГТД в програмному комплексі ANSYS включає використання різних методів, серед яких слід відмітити підтвердження фізичної логіки, аналітичне порівняння та аналіз сіткової збіжності.

Підтвердження фізичної логіки являє собою аналіз отриманих даних з точки зору їх відповідності відомим законам фізики і поведінці реальних механічних систем. Слід зазначити, що цей метод не завжди є добре формалізованим. У разі аналізу напружень та деформацій деталей та вузлів, отримані значення мають бути логічно узгоджені з умовами задачі та властивостями матеріалу, що означає відсутність аномально великих або малих значень результатів, а відгук конструкції на задані граничні умови та навантаження має відповідати очікуваній фізичній поведінці конструкції. Підтвердження фізичної логіки може включати порівняння величин реакцій сил та зовнішніх навантажень (сума яких за умов статичної рівноваги повинна бути рівною нулю), визначення напружень в перерізі деталі (ANSYS має інструменти, що дозволяють шляхом інтегрування поля місцевих напружень, визначати їх номінальні компоненти, наприклад, напружень згину та мембранних напружень оболонок) [1].

Аналітичне порівняння – ключовий метод верифікації результатів чисельного моделювання, яке ґрунтується на зіставленні отриманих результатів з

відомими аналітичними рішеннями задач. Ці аналітичні рішення часто є точними та ідеалізованими, являючи собою певні спрощення реальних фізичних процесів. В рамках задач механіки твердого деформованого тіла такі рішення можуть ґрунтуватися на теоріях пружності, пластичності, механіки руйнування, методах опору матеріалів. Однак варто зазначити, що часто не для всіх завдань можна отримати аналітичні рішення. Наприклад, для складних геометричних форм або нелінійних матеріалів аналітичні методи можуть бути непридатні або їх вирішення може бути надто складним. В таких випадках можна підібрати і відтворити найбільш близьку аналітичну модель, яка відображає ключові принципи основної розрахункової моделі.

Аналіз сіткової збіжності полягає в систематичній зміні розмірів сітки – елементів скінченно-елементної моделі та подальшому аналізі отриманих результатів, метою якого є визначення оптимальної сітки, коли результати розрахунку перестають змінюватися зі зменшенням розміру елементів. Відповідно до цього необхідно виконувати розрахунок кожної нової сітки. Аналіз сіткової збіжності великих моделей може представляти певні труднощі через значну кількість елементів, а внаслідок цього і обчислювальних витрат, необхідних для виконання розрахунків [2]. Однак є деякі стратегії, які можуть полегшити цю задачу: використання автоматизованих методів за допомогою скриптів ANSYS APDL, використання алгоритмів адаптивної сітки, використання спрощених моделей «зон інтересу» великої моделі (у тому числі субмоделювання – аналізу конкретної області всередині основної моделі відповідними граничними умовами), аналіз поля напружень (для зон з великими градієнтами має бути менший розмір елементів).

Верифікація результатів у ANSYS для задач визначення напружено-деформованого стану деталей авіаційних двигунів є невід'ємною частиною інженерного процесу, забезпечуючи точність та надійність даних.. Ретельна верифікація допомагає мінімізувати ризики виникнення помилок на етапах проектування та підтримки життєвого циклу виробів, надаючи високий рівень впевненості у результатах чисельного аналізу, що є невід'ємною частиною забезпечення безпеки у сучасній авіаційній галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Moaveni S. Finite Element Analysis: Theory and Application With Ansys / S. Moaveni // Pearson College Div. – 2007. – 861 p.
2. Fajri A. Validation and Verification of Fatigue Assessment using FE Analysis: A Study Case on the Notched Cantilever Beam. / A. Fajri, R. P. Aditya, E. Surojo, F. Imaduddin, J.M. Sohn, R. Adiputr // IGF26 – 26th International Conference on Fracture and Structural Integrity. – 2021. – P. 11–18.