

УДК 539.3

Автоматизована система розрахунку елементів машинобудівних конструкцій на віброміцність

Бабенко А.С., Боронко О. О., Трубочев С.І., Лавренко Я.І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Анотація. Розроблена автоматизована система розрахунку елементів конструкцій на віброміцність. Автоматизована система розрахунку базується на новому методі побудові функціоналу типу Релея, та мінімізації його ітераційним методом по координатного спуску. Використання метода покоординатного спуску дозволяє уникнути проблем, що пов'язані з формуванням, зберіганням та оперуванням з глобальними матрицями жорсткості та мас. Це дає можливість розв'язувати задачі великої розмірності використовуючи тільки оперативну пам'ять ПСОМ. Автоматизована система дозволяє розв'язувати задачі на власні коливання, вимушені коливання з урахуванням розсіяння енергії. Програмне забезпечення сформоване за модульним принципом, що дає можливість удосконалювати та розширювати даний пакет прикладних програм. Програмне забезпечення пройшло тестування на великій кількості тестових та прикладних задачах. Запропонований метод розрахунку та розроблена автоматизована система були впроваджені в інженерну практику.

Ключові слова. Автоматична система розрахунку, метод покоординатного спуску, власні коливання, вимушені коливання, розсіяння енергії.

Механічні об'єкти, які використовуються в сучасних машино- та приладобудуванні і в ракетній космічній техніці моделюються стержнями і стержневими системами, масивними тілами, пластинами та просторовими пластинчато-оболонковими конструкціями в різноманітних комбінаціях.

У процесі експлуатації такі конструкції, як правило, зазнають інтенсивних вібраційних навантажень. Такі коливання створюють пряму загрозу міцності елементів машинобудівних конструкцій. Тому тільки з врахуванням коливань можна обрати оптимальні параметри конструкції та режими роботи машини віддалені, наскільки це можливо, від критичних режимів, які є небезпечними.

Аналітичні методи розрахунку коливань подібних конструкцій, як правило, не відбивають з необхідною точністю картину дійсного становища. Тому необхідно розвивати універсальні і ефективні чисельні методи для розрахунку прикладних задач, які б дозволили визначити оптимальні параметри елементів конструкцій які знаходяться під дією інтенсивних вібраційних навантажень.

З огляду на це авторами був розроблений новий метод визначення власних частот та власних форм коливань елементів машинобудівних конструкцій, який базується на мінімізації побудованих функціоналів методом покоординатного спуску [1,2]. Ефективне використання методу покоординатного спуску залежить від швидкості зходимості ітераційного процесу. Для прискорення зходимості ітераційного процесу можливо використання метода неповної релаксації.

Нехай $\vec{v}^k = (v_1^k, \dots, v_N^k)$ вектор вузлових переміщень в 'поточному' наближенні, тоді наступні наближення будуються у вигляді:

$$\vec{v}^{k+1} = \vec{v}^k + \beta \lambda_i^{k+1} \vec{e}_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

де \vec{e}_i -одичинний вектор в напрямленні v_i^k, λ_i^{k+1} - крок, β -параметр релаксації. При практичній релаксації ітераційний процес продовжується до тих пір, поки відношення

$\|\bar{\lambda}^k\| / \|\bar{D}^k\|$ не стане менше деякого, наперед заданого числа $\epsilon > 0$. Вибір останнього виконується так, щоб похибка ітераційного процесу була приблизно рівна похибці апроксимації переміщень $O(h^5)$. Таким чином прийнятий критерій зупинки ітераційного процесу записується наступним чином:

$$\frac{\|\bar{\lambda}^k\|}{\|\bar{D}^k\|} < \epsilon \quad (2)$$

де $\|\bar{\lambda}^k\|, \|\bar{D}^k\|$ - норми векторів прирістів та переміщень на k -й ітерації.

Так як власні форми коливань повинні задовільняти граничним умовам, то приходимо до задачі мінімізації відношення типа Релея-Ритца з обмеженнями. В багатьох випадках переміщення задаються у вигляді фіксованих величин на частини границі. Підставляючи їх у функціонал, отримуємо задачу мінімізації без обмежень на просторі меншої розмірності. Метод є стійким відносно обчислювальних помилок, які обумовлені точністю обчислювання ЕОМ, та має наступні переваги: не потребує формування матриць інерції та жорсткості та оперування з ними, потребує мінімальної кількості ітерацій. Для врахування частотно-залежного (в'язкого) тертя використовувалась відповідна гіпотеза Кельвіна – Фойхта.

Отримані власні частоти та власні форми коливань використовувались при розгляді вимушених коливань. На основі запропонованого методу було розроблено алгоритми та пакети прикладних програм (ППП).

З огляду на те, що ППП побудовано за модульним принципом, це дозволяє вдосконалювати його структуру за допомогою сервісних програм, а також видозмінювати та додатково розробляти програми для нових задач. Для роботи ППП необхідні вхідні дані щодо задачі, що розв'язується. Ці дані можна об'єднати у такі основні групи, як : інформація о топології області; інформація о типі задачі; інформація о фізичних параметрах конструкції; інформація о кінематичних граничних умовах та навантаженні.

ППП було налагоджено та удосконалено на великій кількості тестових та прикладних задач різної складності. Чисельні результати порівняно з результатами, отриманими аналітичними або іншими чисельними методами, а також із відповідними експериментальними даними. Похибка у визначенні власних частот не перевищувала 5%.

Таким чином в роботі розроблено єдиний методологічний підхід для розв'язання задачі про вимушені коливання елементів під дією інтенсивних вібраційних елементів машинобудівних конструкцій навантажень.

Отримані в роботі результати стали теоретичною основою інженерного методу розрахунку вимушених коливань машинобудівних конструкцій, а також оптимізації вибору їх конструктивних параметрів під дією вібраційних навантажень. Запропонований метод та його реалізація у вигляді автоматизованій системі розрахунку отримали впровадження в інженерну практику.

Automatic system of calculating elements of machine-building constructions for vibration and strenght

Babenko A., Boronko O., Trubachev S., Lavrenko Y.

***Abstract.** An automatic system for calculating elements of constructions for vibration is developed. The automatic calculation system is based on a new method for constructing a Relay type functional, and*

minimizing its iterative method of coordinate descent. The use of the coordinate descent method avoids the problems associated with the formation, storage and operation of global matrix stiffness and mass. This allows you to solve high-dimensional tasks using only the operational memory of the PC. The automatic system allows solving tasks for own oscillations, forced oscillations taking into account scattering of energy. The software is based on the modular principle, which makes it possible to upgrade and extend this package of applications. The software has been tested on a large number of test and application tasks. The proposed method of calculation and the developed automated system were introduced into engineering practice.

Keywords. Automatic calculation system, method of coordinate descent, free oscillations, forced oscillations, energy dissipation.

Автоматизированная система расчета элементов машиностроительных конструкций на вибропрочность

Бабенко А. Е., Боронко О. А., Трубачев С.И., Лавренко Я.И.

***Аннотация.** Разработана автоматизированная система расчета элементов конструкций на вибропрочность. Автоматизированная система расчета основана на новом методе построения функционала типа Релея, и минимизации его итерационным методом покоординатного спуска. Использование метода покоординатного спуска позволяет избежать проблем, связанных с формированием, хранением и оперированием с глобальными матрицами жесткости и масс. Это дает возможность решать задачи высокой размерности используя только оперативную память ПЕОМ. Автоматизированная система позволяет решать задачи на собственные колебания, вынужденные колебания с учетом рассеяния энергии. Программное обеспечение сформировано по модульному принципу, что дает возможность совершенствовать и расширять данный пакет прикладных программ. Программное обеспечение прошло тестирование на большом количестве тестовых и прикладных задачах. Предложенный метод расчета и разработанная автоматизированная система были внедрены в инженерную практику.*

Ключевые слова. Автоматизированная система расчета, метод покоординатного спуска, собственные колебания, вынужденные колебания, рассеяние энергии.

Список літератури

1. Бабенко А. Е. Определение частотного спектра и собственных форм колебаний упругих систем методом повышения жесткостей // А. Е. Бабенко, О. А. Боронко, О.Н. Василенко, С. И. Трубачев / Проблемы прочности. – 1990. – № 2 – с. 122-124.
2. Бабенко А. Е. Применение и развитие метода покоординатного спуска в задачах определения напряженно-деформированного состояния при статических и вибрационных нагрузках // А. Е. Бабенко, Н. И. Бобырь, С. Л. Бойко, О. А. Боронко / – К.: Ирпес, 2005. – 264 с.