

## Визначення енергії відсіків вільнолітаючої моделі при частотних випробуваннях з метою настроювання коливальних характеристик при дослідженнях явищ аеропружності

*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»*

Вільнолітаючі динамічно подібні моделі (ВДГМ) забезпечують унікальну можливість випереджальних досліджень аеропружних характеристик літака, який створюється з урахуванням його енергійного маневрування, однак їхнє ефективне застосування потребує розробки спеціального математичного забезпечення для високоточного настроювання їхніх коливальних характеристик.

На частотні характеристики ВДГМ розробленої відсічно-шарнірної схеми впливають як інерційно-масові параметри її відсіків, так і жорсткості її пружних стиків. Спроба відтворити аеропружні явища у вільному польоті означає, що на випробуваній моделі необхідно забезпечити адекватне відображення цих властивостей натурального об'єкта з урахуванням різниці в їхніх конструктивно-силових схемах. Для цього необхідно проаналізувати два питання: а) який вплив робить додаткова маса на власні частоти й форми коливань; б) який вплив робить збільшення жорсткості конструкції на власні частоти й форми коливань.

При розробці спеціального математичного апарата раціонально прийняти розрахункову схему агрегату, аналогічну його конструктивно-силовій схемі: агрегат вважається таким що складається з абсолютно жорстких відсіків, з'єднаних послідовно через ідеальні шарніри й пружні елементи. Розрахункова схема агрегату являє собою голономну систему. Вона має скінченне число ступенів свободи. В ній діють сили, що - потенційні. Для математичного опису її руху ефективно безпосередньо використовувати рівняння Лагранжа.

Прийнята розрахункова схема з умовними шарнірними закріпленнями у вузлах коливань агрегату має  $(n - 2)$  ступенів свободи. Отже, положення всіх її матеріальних точок однозначно визначають  $(n - 2)$  незалежні узагальнені координати, за які прийнято положення вузлів коливань і амплітуди всіх шарнірів (крім розташованих за вузлом коливань).

Для спрощення логіки математичних перетворень шляхом уніфікації алгоритмів розрахунку коефіцієнтів рівнянь зручно рівноправно використовувати всі координати  $y_i$  ( $i = 1; 2; \dots; n$ ) і скласти вихідну систему, що складається з  $n$  рівнянь, а потім перетворити її в робочу систему, що має  $(n - 2)$  рівняння.

Для окремого його відсіку отримані формули кінетичної енергії його поступального й обертального рухів та їхні похідні. Їхнє підсумовування дозволило одержати вираження кінетичної енергії всієї розглянутої системи (агрегату) і необхідні для складання рівнянь Лагранжа похідні. Поряд із загальним виглядом формул отримано їхній окремий вигляд для випадку, коли відсіки можна прийняти циліндричними тілами із рівномірно розподіленою по об'єму масою. Одержано вираз для визначення потенціальної енергії деформації окремих пружних стиків і всього агрегату, а також її похідні. Підстановка отриманих похідних потенціальної та кінетичної енергії в рівняння Лагранжа дозволила сформулювати систему рівнянь, що описують рух агрегату.

Застосування розробленого математичного забезпечення значно підвищує точність результатів, що одержуються у льотному експерименті.