

Секція спеціальних проблем

ЗМІНА ПРОГИНУ ВАЛА ПРИ ПЕРЕХОДІ ЧЕРЕЗ КРИТИЧНУ ЧАСТОТУ ОБЕРТАННЯ

¹Ройzman В. П., ²Драч І. В.

^{1,2}Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11
E-mail: ¹royzman@ukr.net, ²cogitare410@gmail.com

Критичні частоти обертання проявляються не тільки у невідбалансованого ротора, але навіть і в добре зрівноваженого. Справа в тому, що якщо вал досяг своєї критичної частоти обертання, то досить випадкового відхилення осі обертання й вал уже не повернеться до вихідного стану, а його прогин почне рости. Слід зазначити, що, загалом кажучи, поняття коливань, віднесене до обертового ротора, є досить умовним. Зазвичай відбувається обертання вигнутої осі вала навколо лінії підшипників, причому воно відбувається із частотою обертання диска. При цьому вал не випробовує змінних напруг, а перебуває під статичним навантаженням, тому що незрівноважена сила обертається разом із вигнутою віссю вала. Такий рух називається прямою синхронною прецесією. Якщо цей рух подати в проєкціях на дві взаємно перпендикулярні площини, то в них будуть відбуватися коливання, подібно до того, як гармонійні коливання можна подати у вигляді обертового вектора. Крім зазначеного обертання може бути й обертання вигнутої осі вала навколо лінії підшипників у напрямку, зворотному до обертання вала, і з рівною йому частотою обертання. Такий вид обертання називається зворотною синхронною прецесією. Можливі й інші види прецесійних рухів [1].

Для наочного зображення обертання вала можна скористатися такою моделлю (див. рис. 1). Нехай вигнута металева труба 1 лежить на стійках 3. Якщо усередину цієї труби ввести шланг 2, то він зігнеться й набуде форми труби. Труба й шланг мають на своїх торцях важелі 4 та 5, через які можна обертати трубу й шланг окремо одне від одного або разом, скріпивши важелі. Вигнута труба 1 буде імітувати обертання вигнутої осі вала, а гнучкий шланг 2 – обертання самого вала [3].

Позначимо через Ω_1 кутову швидкість обертання шланга й через Ω_2 – кутову швидкість обертання труби й розглянемо наступні положення:

1. Нехай $\Omega_1 \neq 0$; $\Omega_2 = 0$; цей рух можна здійснити, обертаючи важіль 5 і загальмовуючи важіль труби 4. При цьому вал обертається навколо своєї вигнутої осі

2. Нехай $\Omega_1 = \Omega_2$. Це справедливо, коли жорстко з'єднані обидва важелі. При їхньому обертанні відносна швидкість дорівнює нулю. Зазначене обертання імітує пряму синхронну прецесію.

3. Нехай $\Omega_1 = -\Omega_2$, $\Omega_{\text{відн}} = 2\Omega$. Рух здійснюється при обертанні важелів 4 та 5 у різні боки, але з однією швидкістю. Воно імітує зворотну синхронну прецесію.

При прямій синхронній прецесії вал навантажений статичними силами й напруження в його волокнах залишаються незмінними. При зворотній синхронній прецесії за один оберт вала знак напружень змінюється двічі.

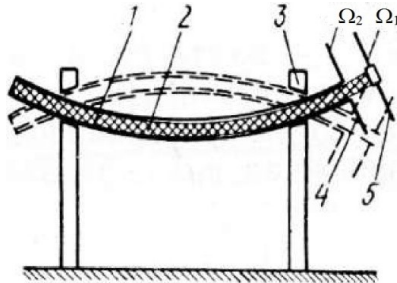


Рис. 1. Модель роторної системи:

1 – труба; 2 – шланг; 3 – стійка; 4, 5 – важелі

Проаналізуємо, як змінюється прогин вала при переході через критичну частоту обертання.

Графік залежності $\frac{y}{e} = \frac{1}{(\omega_{\text{ед}}/\Omega)^2 - 1}$, представлений на рис. 2 [2],

указує на те, що при зростанні кутової частоти обертання прогин вала росте від нуля нескінченно (критична частота обертання). При цьому центр обертання вала – точка O – переміщається на величину OA (прогин вала) і складається з вихідним ексцентриситетом AA_1 , збільшуючи відцентрову незрівноважену силу.

Після проходження критичної частоти обертання знаки прогину y і ексцентриситету e протилежні. Волокна вала, що були розтягнутими, стають стиснутими й навпаки. Тепер прогин зменшується й при нескінченно більших частотах обертання стає рівним e , тобто настає ефект, який називається самоцентруванням обертового вала. У цьому випадку вал обертається навколо свого центру мас.

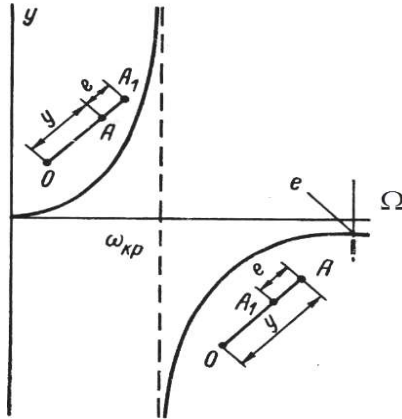


Рис. 2. Залежність прогину ротора від частоти обертання

На критичних частотах відцентрова сила дорівнює силі пружності й вал перебуває в неусталеному положенні, тобто він обертається, маючи будь-який прогин, і наявність або відсутність ексцентриситету тут не має значення. Тому критичні частоти іноді визначають тою умовою, що робота відцентрових сил при довільному можливому переміщенні, тобто при будь-якій зміні прогину, що задовольняє граничним умовам, дорівнює збільшенню енергії необхідної для вигину вала. Критичні частоти обертання вважають небезпечними, якщо вони близькі (у межах 30–40 %) до діапазону максимальних експлуатаційних частот обертання. Вали, що працюють при частотах менше критичних, умовно називають «жорсткими», а більше – «гнучкими».

Гнучкі ротори застосовують у тих випадках, коли існують обмеження за вагою й габаритними розмірами для пристрою, у якому вони використовуються. Уникнути резонансних частот роторних систем не завжди можливо, тому зниження рівня вібрації машини пов'язане зі зменшенням незрівноважених сил ротора.

Вираз для незрівноваженої сили однодискового ротора має вигляд:

$$P = me\Omega^2 + m\gamma\Omega^2 = me\Omega^2 + m\Omega^2 \frac{me\alpha\Omega^2}{1 - me\Omega^2}. \quad (1)$$

Відцентрова незрівноважена сила пружно-деформованого ротора складається з двох складових, які залежать від вихідної нерівноваженості диска, що містить Ω^2 , і пружного прогину ротора, пропорційного до Ω^4 . Ці складові можуть бути використані для визначення можливих причин підвищених вібрацій двигуна.

З рівняння (1), уважаючи $P = 0$, маємо:

$$-e + e m \alpha \Omega^2 - e m \alpha \Omega^2 = 0$$

або $e = 0$.

Таким чином, для усунення відцентрової незрівноваженої сили на односторонньому роторі його ексцентриситет повинен дорівнювати нулю. Природно, що в цьому випадку реакції опор також будуть дорівнювати нулю.

Література

1. Яблонский А. А. Курс теории колебаний / А. А. Яблонский, С. С. Норейко. – М. : Наука, 1966. – 210 с.
2. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин / А. С. Гольдин. – М. : Машиностроение, 2000. – 384 с.
3. Идентификация и балансировка гибких роторных систем : монография / В. П. Ройзман. – Хмельницкий : ХНУ, 2017. – 205 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Стецюк В. І.

Хмельницький національний університет, e-mail: sv_rt@i.ua

Сучасні засоби телекомунікацій розвиваються досить динамічно. Зміна поколінь технологій відбувається все частіше і частіше і мова йде не про десятки років, а про одиниці. Це стосується мобільних технологій, систем бездротового доступу до локальних та глобальних мереж, розробки самих гаджетів, тощо. Тому, відповідно, перед розробниками постає питання про покращення технічних параметрів існуючих систем та розробки нових принципів та технологій.

На сьогодні, в області мобільних телекомунікацій, ми спостерігаємо паралельне використання технологій 3G та 4G в різних модифікаціях. Діапазони частот 2,4–2,4835 ГГц; 3,4–3,6 ГГц; 5,2–5,9 ГГц використовуються в основному новими широкосмуговими системами бездротового радіодоступу, серед яких достатньо нова – технологія Long Term Evolution (LTE), яка відноситься до четвертого покоління (4G LTE). Далеко не всі абоненти ще встигли перейти на стандарт 4G, як він вже застарів і сьогодні відома його модифікація – LTE Advanced (рис. 1). Крім того зустрічається інформація про стандарт наступного покоління 5G [1], який має замінити існуючі 3G і 4G.