М.М. Можаровський, ст. викладач
Житомирський державний технологічний університет

НЕЛІНІЙНА МОДЕЛЬ РУХУ НЕЗБАЛАНСОВАНОГО МАХОВИКА ПРИ ПРОХОДЖЕННІ НЕСТАЦІОНАРНОГО РЕЖИМУ НА РОЗГІННОМУ СТЕНДІ

В роботі аналізується рух незбалансованого маховика, вал якого жорстко закріплений в опорах, в резонансному режимі. В попередніх роботах [1, 2] було показано, що цей процес є нелінійним, в якому обертальний рух маховика пов'язаний з його коливальним рухом і описується системою трьох рівнянь першого порядку. В результаті проведеного аналізу отримано критерій кількісної оцінки нелінійності процесу.

При проведенні досліджень рух маховика розглядався в двох системах координат – нерухомій (xOy) і рухомій (ξ Oη), осі якої жорстко зв'язані з кутом повороту маховика, а початки координат обох систем співпадають (точка O).

Показано, що рухомі координати центра ваги маховика ξ і η з точністю до малих пульсацій визначаються з наступних рівнянь другого порядку :

$$\frac{d^2\xi}{dW_1^2}+\xi=-\frac{\varepsilon\omega}{\dot{W}_1}$$
$$\frac{d^2\eta}{dW_1^2}+\eta=\frac{\varepsilon\omega\ddot{W}_1}{\dot{W}_1^3} \qquad (1)$$

де ε – величина ексцентриситету маховика ; ω – резонансна кутова швидкість.

Ці рівняння описують рух в „новому" часі W_1 деякого лінійного осцилятора під дією визначених „сил", аналітичні вирази яких стоять в правих частинах рівнянь. В момент резонансу $\dot{W}_1 \Rightarrow 0$ і сили прямують до нескінченності. Таким чином дія резонансу еквівалентна удару в деякому новому „часі" W_1.

Для простоти обмежимося випадком постійної характеристики привідного двигуна розгінного стенду, тобто $\lambda = const$, і відсутністю зворотного зв'язку. Ці величини принципово не будуть впливати на зміну механізму переходу через резонансний режим.

Скориставшись певними перетвореннями, на основі системи (1) отримаємо наступні векторні рівняння:

$$\frac{d^2\overline{\sigma}}{dW^2}+\overline{\sigma}=\overline{F} \qquad (2)$$

де

$$\overline{\sigma}=\overline{\sigma}_1+\overline{\sigma}_2$$
$$\overline{F}=\overline{F}_1+\overline{F}_2 \qquad (3)$$

де

$$\sigma_1=\overline{\xi}\times\sqrt{\Delta}\,;\sigma_2=\overline{\eta}\times\sqrt{\Delta}\,;\overline{\xi}=\frac{\xi}{\varepsilon};\overline{\eta}=\frac{\eta}{\varepsilon};\Delta=\frac{\lambda(\omega)}{\omega^2} \qquad (4)$$

це параметри, що отримані і розглядались в роботі [2], а

$$F_1=\pm\frac{1}{2\sqrt{2}\cdot\sqrt{W}};$$
$$F_2=\mp\frac{1}{4\sqrt{2}\cdot W^{3/2}}; \qquad (5)$$

де

$$W=W_1+\frac{1}{2\Delta}=\frac{1}{2\Delta}\left(\frac{\dot{\varphi}}{\omega}-1\right)^2; \qquad (6)$$

Індекси в виразах (3) відповідають двом взаємно–перпендикулярним напрямкам.

Таким чином рух несучого вала з маховиком на розгінному стенді можна представити в вигляді руху осцилятора (2) під дією сили $\overline{F}$ в часі W . Новий час W побудований так, що зона резонансу в цьому часі ніби то розтягується, а момент $\dot{\varphi}=\omega$ протікає з нульовою швидкістю часу W, тобто значно довше ніж в часі t . Це приводить до різкої зміни руху в часі W, в той час як в часі t той же рух змінюється плавно.

Права частина рівняння (2) дає значення сили, яка забезпечує такий рух в часі W. Природно, що при $\dot{\varphi}=\omega$ ця сила повинна прямувати до нескінченності, оскільки W в цей момент зупиняється, а рух продовжується.

Представлення несучого вала з маховиком на розгінному стенді в вигляді деякого просторового осцилятора в новому часі W зручно ще і тим, що в правій частині цього осцилятора відсутні періодичні сили. Сила $\overline{F}$ є джерелом того, що називається „резонансною дією", тобто причиною специфічного резонансного руху.

На рис. 1 показаний рух осцилятора (2) під дією сили $\overline{F}$, складові якої зображені штрих пунктиром. Для простоти рисунка відрізок осі W, що відповідає $\dot{\varphi}<\omega$ розгорнутий на 180^0 .

Таке представлення механізму резонансної дії добре узгоджується з отриманими експериментальними результатами руху незбалансованого маховика на валу розгінного стенду через резонансний режим і дозволяє дати їм чітке пояснення:

- Так в стаціонарному випадку $\overline{\sigma} = \overline{F}$ і нескінченні амплітуди відповідають нескінченному значенню сили $\overline{F}$;
- Затягування максимуму амплітуди при проходженні резонансної зони відповідає запізненню максимального відхилення осцилятора (2) в порівнянні з максимальним значенням $\overline{F}$ в момент $\dot{\varphi} = \omega$.

Тепер легко помітно, що характеристика двигуна (точніше її нахил) не здійснює суттєвого впливу на процес, оскільки процес виникає в момент $\dot{\varphi} = \omega$, коли сила досягає максимуму (нескінченності). Як наслідок, суттєвим буде не градієнт характеристики, а її величина в момент проходження резонансу, тобто параметр Δ.

Більший вплив на процес буде здійснювати зворотний зв’язок μ.- Цей зв’язок значно зменшує прискорення системи не при $\dot{\varphi} = \omega$, а дещо пізніше. Дія зворотного зв’язку стає помітною не в момент резонансу і не стільки за рахунок зниження прискорення, скільки за рахунок часу перебування системи в безпосередній близькості від резонансу, коли сила $\overline{F}$ хоч і мала , але її імпульс значний.

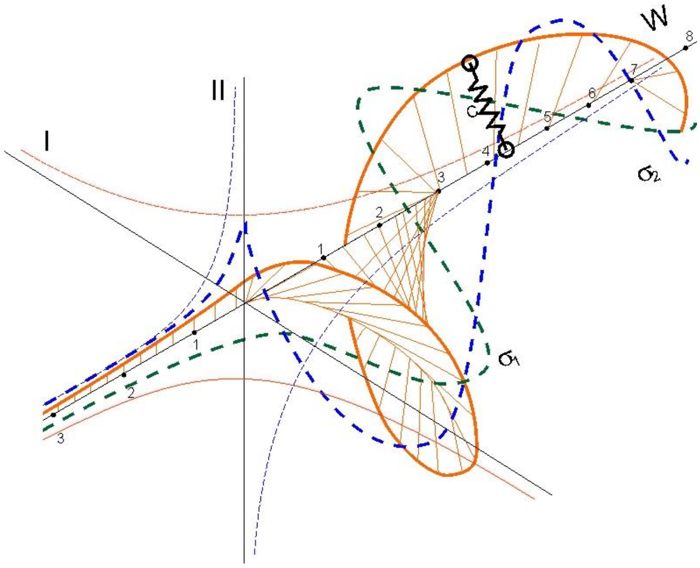

Рис. 1. Фізична модель проходження незбалансованим маховиком резонансу

Список використаної літератури:

1. Можаровський М.М. Нелінійні ефекти динаміки роторів, // Вісник ЖІТІ. 1999. –№9 –С.64–66.
2. Можаровський М.М. До кількісної оцінки параметра не лінійності в задачах динаміки роторів при переході незбалансованим ротором резонансу, // Вісник ЖІТІ. 2001. –№16 –С.60–66.