

АНАЛІЗ РЕЗОНАНСНИХ ЯВИЩ В ПРИВОДІ ДОДАТКОВОГО МЕХАНІЧНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ НА ПРИКЛАДІ ТРАКТОРА Т-150К

Р.В. Оляднічук, викладач

Уманський національний університет садівництва

Визначено найбільш небезпечні резонансні частоти в приводі додаткового механічного накопичувача енергії (МНЕ).

Вступ. Одним із напрямків покращення техніко-економічних та енергетичних показників тракторів є використання додаткових пристроїв – накопичувачів енергії, що впливають на режими роботи ДВЗ та агрегату в цілому. Додаткові накопичувачі енергії можуть бути як окремими елементами агрегату так і інтегровані в конструкцію машини (туквовий прес-підбирач). Нами запропоновано дообладнати МТА додатковим МНЕ, що приєднується до трансмісії трактора через незалежний ВВП трактора [1].

Під час експлуатації тракторів з тягово-приводними машинами актуальною стає проблема надійності та довговічності приводу вала відбору потужності (ВВП) трактора. При цьому першочерговою задачею є усунення резонансних явищ в приводі ВВП трактора, які збільшують амплітуду коливань та механічні напруження, що призводять до суттєвого зниження надійності системи.

Аналіз публікацій. Дослідженню питань надійності та довговічності конструкцій трансмісій тракторів типу Т-150К присвячено праці провідних фахівців В.Я. Анілович, І.С. Чернявський [2], О.І. Поліваєва [3]. Досліджуючи різні режими роботи трансмісії, визначали вплив елементів трансмісії на крутильні коливання та небезпечні резонансні частоти. Відомо, що максимальні навантажувальні режими в трансмісії трактора виникають під час миттєвих змін зовнішнього навантаження. При цьому змінюються навантажувальні режими як дизельного двигуна так і трансмісії трактора.

Система ДВЗ – трансмісія – рушії всебічно досліджена на небезпечні резонансні явища, що виникають під час роботи машинного агрегату. Аналізуючи динамічну еквівалентну модель ґрунтообробного МТА з додатковим МНЕ, зосередимо увагу на визначенні резонансних частот в приводі ВВП трактора, оскільки накопичувач енергії приводиться в дію від незалежного ВВП трактора.

Мета дослідження. Визначити найбільш небезпечні резонансні частоти в приводі додаткового МНЕ.

Результати досліджень. Еквівалентна схема ґрунтообробного МТА з додатковим МНЕ визначається моментами інерції зосереджених мас та жорсткістю валопроводів на ділянках між масами.

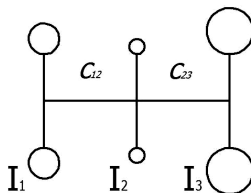


Рис. 1. Еквівалентна схема крутильно-коливальної системи

Для кожної із мас системи, зображеної на рис. 1, можна написати власне диференційне рівняння руху. Якщо через φ_1 , φ_2 та φ_3 позначити миттєві кути повороту мас відносно деякого початкового положення, тоді вирази $c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2)$ та $c_{23}(\varphi_2 - \varphi_3)$ представляють моменти сил пружності для даних ділянок, що діють на зосередженні маси з моментами інерції J_1 , J_2 та J_3 .

При дослідженні крутильних коливань приймаємо, що тертя в системі відсутнє, а всі нелінійні елементи лінеаризовані. Диференційні рівняння руху для трьохмасової системи мають вигляд:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) = 0; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) + c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) = 0; \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 - c_{23} (\varphi_2 - \varphi_3) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де J_1 – приведений до колінчастого валу момент інерції частин двигуна, що обертаються та рухаються зворотно-поступально, а також ведучих частин головного зчеплення;

J_2 – приведений до колінчастого валу момент інерції обертових частин приводу валу відбору потужності (ВВП) трактора;

J_3 – приведений до колінчастого валу момент інерції обертових частин додаткового механічного накопичувача енергії;

c_{12} – еквівалентна жорсткість деталей приводу редуктора ВВП;

c_{23} – еквівалентна жорсткість деталей приводу механічного накопичувача енергії.

Загальне рішення системи (1) має вигляд [4]

$$\varphi_i = \sum_{i=1}^{n-1} A_i \sin(\omega_{c,i} t + \varepsilon) \quad (2)$$

де A_i – амплітуда коливань i -тої маси; ε – фазовий кут; ω_c – частота вла-

сних коливань.

Підставляючи в рівняння (1) рішення $\varphi_1 = A_1 \sin(\omega_c t + \varepsilon)$, $\varphi_2 = A_2 \sin(\omega_c t + \varepsilon)$ та $\varphi_3 = A_3 \sin(\omega_c t + \varepsilon)$, отримаємо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} -J_1 A_1 \omega_C^2 + c_{12} (A_1 - A_2) = 0; \\ -J_2 A_2 \omega_C^2 - c_{12} (A_1 - A_2) + c_{23} (A_2 - A_3) = 0; \\ -J_3 A_3 \omega_C^2 - c_{23} (A_2 - A_3) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

В рівняннях системи (3) невідомі ω_C , A_1 , A_2 та A_3 . Виключаючи з даних рівнянь невідомі A_1 , A_2 та A_3 , визначимо частоти крутильних коливань трьохмасової системи.

З першого та третього рівнянь системи знаходимо

$$A_1 = \frac{c_{12} A_2}{c_{12} - J_1 \omega_C^2}; \quad (4)$$

$$A_3 = \frac{c_{23} A_2}{c_{23} - J_3 \omega_C^2}. \quad (5)$$

Складаючи рівняння системи (3), отримуємо:

$$(J_1 A_1 + J_2 A_2 + J_3 A_3) \omega_C^2 = 0. \quad (6)$$

Підставляючи в отримане рівняння (6) значення A_1 (4) і A_3 (5), знаходимо:

$$\omega_C^2 \left\{ J_1 J_2 J_3 \omega_C^4 - \left[(J_1 J_2 + J_1 J_3) c_{23} + (J_2 J_3 + J_1 J_3) c_{12} \right] \omega_C^2 + c_{12} c_{23} (J_1 + J_2 + J_3) \right\} = 0. \quad (7)$$

Дане рівняння є кубічним по відношенню до ω_C^2 та один із його коренів $\omega_C = 0$. Інші два корені знаходимо із рівняння:

$$J_1 J_2 J_3 \omega_C^4 - \left[(J_1 J_2 + J_1 J_3) c_{23} + (J_2 J_3 + J_1 J_3) c_{12} \right] \omega_C^2 + c_{12} c_{23} (J_1 + J_2 + J_3) = 0. \quad (8)$$

Рішенням квадратного рівняння (8) відносно ω_C^2 знаходимо чотири корені. З чотирьох коренів два – від'ємні значення і два – позитивних.

Одне із позитивних значень є комплексним числом, друге значення є шуканою небезпечною резонансною частотою, символічне визначення подано у виразі (9).

$$\omega_c := \frac{-1}{2 \cdot J_1 \cdot J_2 \cdot J_3} \cdot 2^{\frac{1}{2}} \cdot \left[J_1 \cdot J_2 \cdot J_3 \cdot \left[c_{12} \cdot J_1 \cdot J_3 + c_{12} \cdot J_2 \cdot J_3 - \left[(c_{12})^2 \cdot (J_1)^2 \cdot (J_3)^2 + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + 2 \cdot (c_{12})^2 \cdot J_1 \cdot (J_3)^2 \cdot J_2 + (c_{12})^2 \cdot (J_2)^2 \cdot (J_3)^2 + 4 \cdot (J_1)^2 \cdot J_2 \cdot (J_3)^2 \cdot c_{23} + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + 4 \cdot c_{12} \cdot J_2 \cdot (J_3)^2 \cdot c_{23} \cdot J_1 + 4 \cdot c_{12} \cdot (J_1)^2 \cdot J_3 \cdot c_{23} \cdot J_2 + 4 \cdot (J_1)^2 \cdot (J_2)^2 \cdot J_3 \cdot c_{23} + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + 4 \cdot c_{12} \cdot (J_2)^2 \cdot J_3 \cdot c_{23} \cdot J_1 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Для тракторів серії Т-150К ($J_1=3,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_1=0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$) при використанні додаткового механічного накопичувача енергії (з різними маховиками: $J_3=2,5$; 5 та $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$) та жорсткостях пружних з'єднань $c_{12}=2300 \text{ Н}\cdot\text{м}$ і зміни жорсткості приводу МНЕ $c_{23}=30\dots 2000 \text{ Н}\cdot\text{м}$ за залежністю (9) побудуємо функціональну залежність величини власних коливань системи від величини жорсткості приводу накопичувача (рис. 2).

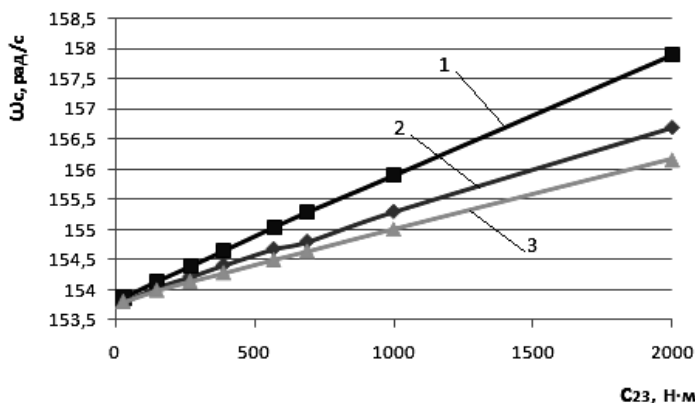


Рис. 2. Зміна власної частоти в залежності від величини жорсткості (c_{23}) приводу додаткового МНЕ: 1 – приведений момент інерції маховика $J_3=2,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; 2 – $J_3=5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; 3 – $J_3=10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Дослідження режимів роботи привода ВВП показали, що в процесі роботи виникає одна резонансна частота, що змінює свою величину в діапазоні 153,8 – 158 рад/с в залежності від жорсткості (c_{23}) привода додаткового механічного накопичувача енергії та величини приведенного моменту маховика.

Робочий діапазон частоти обертання вала привода ВВП трактора складає 190 – 220 рад/с та карданної передачі привода додаткового МНЕ 48,7 – 56,4 рад/с. Таким чином, під час використання додаткового МНЕ в його приводі не виникає резонансних явищ, оскільки власна частота коливань системи не співпадає з робочими частотами елементів приводу накопичувача. Лише під час розкручування маховика накопичувача відбувається накладання частот, що призводить до тимчасового виникнення резонансних явищ. З виходом маховика на робочу частоту вібрації та коливання зникають.

Висновки.

1. При розрахунках на надійність привода ВВП трактора до якого приєднують знаряддя з великим моментом інерції необхідно враховувати резонансні явища.

2. Знайдено функціональну залежність величини власних коливань системи від величини жорсткості привода накопичувача при використанні маховиків з різним моментом інерції.

3. За результатами досліджень визначено діапазон власних коливань трьохмасової системи, що знаходиться в межах 153,8 – 158 рад/с. Даний діапазон не співпадає з робочими частотами елементів приводу додаткового МНЕ, що не викликає виникнення явища резонансу під час використання додаткового МНЕ.

Список використаних джерел

1. В.М. Третяк, Р.В. Оляднічук, М.В.Третяк Покращення експлуатаційних характеристик ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів шляхом застосування механічного накопичувача енергії // Міжвід. темат. таук. зб. «Механізація та електрифікація сільського господарства». – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ». – Вип. 94. – 2010. – с. 299-306.
2. Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. Справочное пособие. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: «Машиностроение», 1976, 456 с.
3. Поливаев О.И., Подгорный И.Е., Беляев А.Н. Влияние жесткости привода ВОМ на работу МТА // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2000. № 5.

4. Г.С. Маслов Расчеты колебаний валов Справочное пособие. Машиностроение», 1968, 272 с.

Аннотация

**АНАЛИЗ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПРИВОДЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО
НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ТРАКТОРА
Т-150К**

Олядничук Р.В.

Определены наиболее опасные резонансные частоты в приводе дополнительного механического накопителя энергии.

Abstract

**ANALYSIS OF RESONANCE PHENOMENA IN THE
DRIVE ADDITIONAL MECHANICAL ENERGY
STORAGES AN EXAMPLE T-150K**

Olyadnichuk R.

Identified the most dangerous resonance frequencies in the drive additional mechanical energy storage.