

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КУВАЧОВ Володимир Петрович

УДК 631.37+631.3.004.65

**ПІДВИЩЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ
МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА ОСНОВІ
МОДУЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ КЛАСУ 1,4-3**

05.05.11 - Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь - 2009

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті
Міністерства аграрної політики України

Науковий керівник кандидат технічних наук, професор **Кюрчев Володимир Миколайович**, Таврійський державний агротехнологічний університет, ректор

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, член-кореспондент УААН **Красніченко Олександр Леонідович**, науково-виробниче об'єднання по селекційній техніці "СЕЛТА", м. Сімферополь, директор

кандидат технічних наук, доцент **Улексін Василь Олексійович**, Дніпропетровський державний аграрний університет, доцент кафедри трактори і автомобілі

Захист відбудеться " 12 " червня 2009 р. о " 10⁰⁰ " годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 18.819.01 у Таврійському державному агротехнологічному університеті за адресою: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т Б. Хмельницького, 18

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Таврійського державного агротехнологічного університету за адресою: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т Б. Хмельницького, 18

Автореферат розісланий " " 2009 р.

Вчений секретер
спеціалізованої вченої ради

В.Т. Діордієв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Збільшення обсягу виробництва сільськогосподарської продукції обумовлене підвищенням продуктивності механізованих робіт і зменшенням енергетичних витрат на їх виконання. Розв'язання таких задач можливе лише на основі використання відповідної мобільної енергетичної бази, основу якої складає тракторна енергетика.

Відсутність у нашій країні тракторів кількох тягових класів відкриває перспективи розвитку модульних енергетичних засобів (МЕЗ) перемінного тягового класу. Одним із них є МЕЗ тягового класу 1,4-3, який складається із енергетичного (ЕМ) і технологічного (ТМ) модулів.

У якості енергетичного модуля виступає універсально-просапний трактор тягового класу 1,4. В Україні такі трактори нині випускають Південний машинобудівний завод (ПМЗ, м.Дніпропетровськ) і ВАТ «Укравтозапчастина» (м.Київ).

Технологічний модуль представляє собою додатковий міст з активним приводом коліс, оснащений необхідним технологічним обладнанням (навісним механізмом, валом відбору потужності, сидельним пристроєм тощо).

Вказаний вище МЕЗ може розвивати тягове зусилля від 14 (один ЕМ) до 30 кН (ЕМ разом з ТМ), що дає можливість експлуатувати його зі шлейфом машин для тракторів трьох тягових класів: 1,4; 2 і 3.

Вітчизняними вченими розроблена і апробована система агрегування модульних енергетичних засобів, зокрема і МЕЗ перемінного тягового класу 1,4-3. В процесі випробувань агрегатів на основі цього енергозасобу була виявлена проблема плавності їх руху. З практики ж відомо, що незадовільна динаміка переміщення МТА у поздовжньо-вертикальній площині значно погіршує техніко-експлуатаційні показники їх роботи. Зокрема, збільшення енергетичних витрат сягає 4 – 12%; витрати палива підвищуються на 10 – 15 %; зменшуються продуктивність роботи на 15%, міжремонтний наробіток - на 15 – 20%, а собівартість сільськогосподарських технологічних операцій зростає на 25 – 30%.

У зв'язку з цим актуальною є проблема підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ шляхом дослідження динаміки його плоско паралельного руху у поздовжньо-вертикальній площині.

Проведені до цього часу дослідження не дають практичних рекомендацій щодо суттєвого підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3. А динаміка плоско-паралельного руху модулів МЕЗ у поздовжньо-вертикальній площині в результаті демпфірування коливань детально не розглядалася.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконувалась в Таврійській державній агротехнічній академії (м. Мелітополь) відповідно до планів наукових досліджень за підпрограмою 1.1 “Розробити та перевірити в умовах півдня України комплекси машин на основі нових енергетичних засобів” (державний реєстраційний номер №0106U001219), яка є складовою науково-технічної програми №1 “Розробка наукових систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України”.

Мета та задачі досліджень.

Метою дисертаційної роботи є підвищення техніко-експлуатаційних показників агрегатів на основі МЕЗ шляхом покращення плавності їх руху.

В основу досягнення поставленої мети покладено перевірку розробленої **робочої гіпотези**, згідно з якою зменшення амплітуди вертикальних коливань агрегатів на основі МЕЗ можна забезпечити раціональним дроселюванням гідросистеми заднього навісного механізму його енергетичного модуля.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні **задачі теоретичних та експериментальних досліджень**.

1. Встановити аналітичний зв'язок показників жорсткості в'язкопружного з'єднання модулів МЕЗ з параметрами гідросистеми заднього навісного механізму його енергетичного модуля.

2. Розробити математичну модель плоско-паралельного руху машинно-тракторного агрегату на основі МЕЗ у поздовжньо-вертикальній площині і на її основі теоретично дослідити:

- вплив дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ на частотні характеристики його вертикальних коливань;
- вплив коливань тягового опору сільськогосподарського знаряддя на частотні характеристики вертикальних коливань енергетичного модуля МЕЗ.

3. Експериментально оцінити вплив дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ на ймовірнісні і кореляційно - спектральні характеристики плавності руху та тягово-енергетичні і техніко - експлуатаційні показники орного агрегату на його основі.

4. Провести експлуатаційно-технологічну оцінку орного МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3 і визначити техніко-економічну ефективність підвищення плавності його руху.

5. Розробити науково-обґрунтовані рекомендації з вибору раціональних параметрів в'язкопружного з'єднання енергетичного та технологічного модулів МЕЗ.

Об'єкт досліджень – процес функціонування машинно-тракторного агрегату на основі МЕЗ з в'язкопружним зв'язком його енергетичного та технологічного модулів, як складових єдиної динамічної системи.

Предмет досліджень – закономірності впливу параметрів жорсткості з'єднання модулів МЕЗ на плавність руху машинно-тракторного агрегату.

Методи досліджень. Синтез параметрів зв'язку модулів МЕЗ здійснювали шляхом моделювання на ЕОМ умов його функціонування у складі орного агрегату. Математична формалізація досліджуваного процесу базувалася на положеннях теоретичної механіки, статистичної динаміки, частотних методах теорії автоматичного регулювання лінійних динамічних систем при відпрацюванні ними статистично-випадкових збурювальних впливів.

Експериментальні дослідження базувалися як на загальноприйнятих стандартних, так і на розроблених оригінальних методиках із застосуванням тензометричного, вібрографічного обладнання із записом реєстрованих сигналів на ЕОМ за допомогою аналогово-цифрового перетворювача. Обробку результатів експериментів здійснювали на ЕОМ із використанням теорії ймовірностей і кореляційно - спектрального аналізу.

Наукова новизна результатів досліджень.

1. Встановлено взаємозв'язок конструктивних параметрів заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ з коефіцієнтом опору дроселювання його гідросистеми.

2. Розроблено математичну модель, яка дозволяє підвищити плавність руху МТА на основі МЕЗ шляхом оптимізації жорсткості з'єднання його енергетичного та технологічного модулів.

3. Виявлено нові закономірності впливу параметрів дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ на характеристики вертикальних коливань МТА.

Практичне значення результатів досліджень.

Основне практичне значення результатів досліджень полягає в підтвердженні гіпотези щодо техніко-економічної доцільності блочно-модульного агрегатування та конструювання МТА, в яких модулі з'єднуються в'язкопружним зв'язком.

Результати експериментальних досліджень та практичні рекомендації передані до відділу Головного конструктора ВАТ "Харківський тракторний завод ім. С.Орджонікідзе" для використання під час модернізації та розробки нових моделей тракторів тягово-енергетичної концепції. Орний агрегат на основі МЕЗ, налаштований згідно з вимогами практичних рекомендацій, перевірено в приватному підприємстві "Єськова" і ДП «Лазурне» (Запорізька обл., Мелітопольський р-н). Матеріали досліджень впровадженні у навчальний процесі ТДАТУ.

Особистий внесок здобувача.

Основні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать такі ідеї та розробки:

- обґрунтовано методику оцінки плавності руху мобільних енергетичних засобів для визначення динамічних характеристик вертикальних коливань, удосконалено методику оцінки нерівностей профілю ґрунтового-дорожніх фонів [2, 7];
- розроблено адекватну математичну модель плоско-паралельного руху МТА на основі МЕЗ у поздовжньо-вертикальній площині, проведено аналіз амплітудно-частотних та кореляційно-спектральних характеристик цих МТА [6];
- розроблено нові способи підвищення плавності руху та забезпечення стабільної прохідності МТА на основі МЕЗ [8, 9].

Апробація результатів досліджень.

Основні результати дисертаційної роботи викладено в доповідях на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, 2005-2008 рр.), міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Мелітополь, 2006 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Технічний прогрес в АПК» (ХНТУСГ, м. Харків, 2007 р.).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані у 9 наукових працях, із яких два деклараційних патенти України на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації.

Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, додатків та списку використаних джерел. Обсяг основного тексту дисертації становить 115 сторінок. Дисертація містить 7 таблиць, 45 ілюстрацій і 169 посилань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1. Стан питання, мета і задачі досліджень.

Плавність руху МТА на основі МЕЗ розглядається як один із найважливіших показників забезпечення високої продуктивності та якості роботи того чи іншого МТА. Розв'язанню фундаментальних проблем, пов'язаних з використанням агрегатів блочно-модульної побудови у сільськогосподарському виробництві, були присвячені роботи В.Т.Надикти, Г.М.Кутькова, В.М.Кюрчева, О.Л.Красніченка, В.Д.Черепухіна, В.В.Рославцева, Є.В.Габая, В.І.Іваніцького, О.Т.Мельника, В.Г.Євтенка, А.Т.Лебедева, В.О. Улексіна та ін.

Дослідження плавності руху мобільних енергетичних і транспортних МТА здійснено Р.В.Ротенбергом, А.Д.Дербаремдикером, В.Я.Аніловичем, А.Г.Жутовим, В.Е.Степановим, І.Ф.Бородіним, А.М.Площадковим, С.С.Дмитриченком, Д.А. Поповим, А.М. Кожуханцевим, О.Л.Красніченко, S.Drabant, I.Dana, Y.Eugen, J. Leyonhielm та ін.

Останнім часом в Україні питаннями проектування та підвищення ефективності роботи пружних і демпферувальних елементів систем підресорювання колісних машин і МТА займалися І.С.Керницький, В.М.Пивоварчик, М.В.Дячук, П.П.Рожков та ін.

Детально дослідженнями динаміки плоско-паралельного руху машинно-тракторних агрегатів на основі МЕЗ класу 1,4-3 у поздовжньо-вертикальній площині займалися В.Т.Надикто та В.М.Кюрчев.

Ними встановлено, що вирішення задачі підвищення плавності руху тих чи інших МТА найчастіше досягалося шляхом підресорювання ходових систем енергетичних засобів. Підвищення ефективності демпфірування в підвісці зв'язувалося з удосконалюванням її конструкції в цілому й окремих елементів зокрема.

Створення і запровадження мікропроцесорних систем автоматичного керування підвіскою в умовах сільськогосподарського виробництва не виправдали пов'язаних з ними надій. А реконструкція власної системи підресорювання тракторів класу 1,4 в напрямку створення пневматичних і гідропневматичних підвісок – річ складна і надто дорога.

Дослідження В.Т.Надикти були присвячені впливу перерозподілу навантаження по мостах модулів МЕЗ на вертикальні коливання МТА, що досягалося зміною нахилу центральної та нижніх тяг заднього гідронавісного механізму енергетичного модуля. Проте, отримані при цьому результати не дають можливості сформулювати чіткі практичні рекомендації щодо суттєвого підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3.

Якщо розглянути МТА на основі МЕЗ як єдину динамічну систему, то згідно з теорією дискретних демпфіруючих пристроїв зміна жорсткості з'єднання технологічного модуля з енергетичним може впливати на характер їх взаємних коливань. Такий дисипативний зв'язок модулів можна забезпечити певним дроселюванням гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ. Далі, з урахуванням приведеної жорсткості шин коліс модулів МЕЗ, можна визначити точку раціонального дроселювання, при якій дисперсія взаємних вертикальних коливань МТА буде найменшою.

Проте, питання комплектування МТА на основі МЕЗ, де модулі з'єднанні системою з різною жорсткістю, а також вплив величини цієї жорсткості на характеристики вертикальних коливань блочно-модульних МТА - не досліджувалися.

Розділ 2 Теоретичне моделювання руху МТА на основі МЕЗ у поздовжньо-вертикальній площині.

Під час робочого руху орного МТА на основі МЕЗ на енергетичний і технологічний модулі, а також плуг передаються поштовхи та удари, обумовлені нерівностями профілю поля і нерівномірністю тягового опору сільськогосподарського знаряддя. В загальному випадку модулі МЕЗ здійснюють при цьому поступальні вертикальні взаємозв'язані переміщення.

Енергетичний модуль МЕЗ має два ступеня вільності: вертикальне переміщення Z_T центру мас (т. S_T) та кутові коливання остова φ_T (рис. 1).

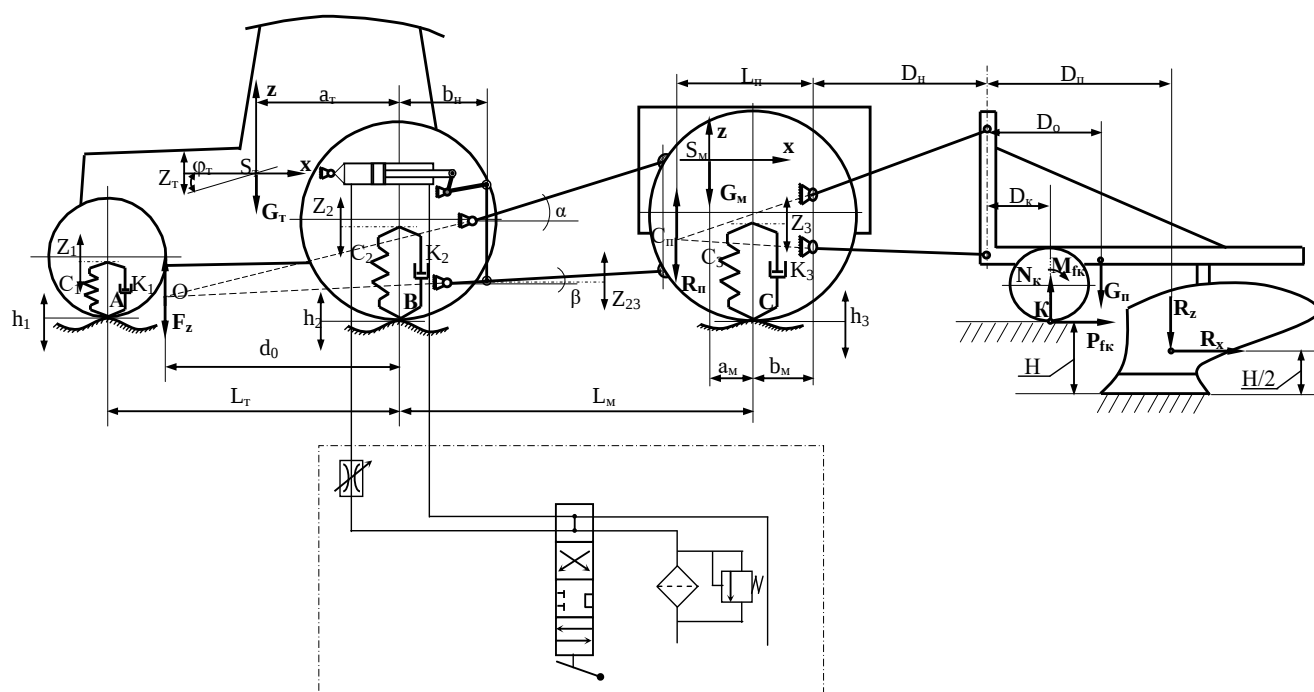


Рис. 1. Розрахункова схема руху орного МТА на основі МЕЗ у поздовжньо-вертикальній площині.

Технологічний модуль має лише одну ступінь вільності - вертикальне переміщення $Z_3=Z_M$ його центру мас (т. S_M) (див. рис. 1). Тому, за узагальнені координати прийнято вертикальні переміщення Z_1 , Z_2 та Z_3 мостів МЕЗ (див. рис. 1).

Для розробки математичної моделі руху МТА на основі МЕЗ у вертикальній площині використовували рівняння Лагранжа другого роду. Положення та припущення, які прийняті при його складанні, наступні: рух орного МТА приймається рівномірним і прямолінійним, а профіль опорної поверхні під колесами правого і лівого бортів МЕЗ – однаковим; колеса енергетичного і технологічного модулів МЕЗ під час переміщення по полю зберігають постійний контакт з поверхнею агрофону, яка представляє собою випадкову стаціонарну ергодичну функцію шляху; гідронавісний механізм розглядається в справному стані з мінімально - припустимими зазорами в шарнірних з'єднаннях; коливання тягового опору плуга не

викликають суттєвого впливу на швидкість поступального переміщення агрегату, завдяки чому вона приймається постійною; кутовими коливаннями плуга можна знехтувати; дроселювання гідросистеми навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ відтворює основні принципи концепції в'язкого демпфірування, в яких демпфіруюча сила пропорційна відносній швидкості; характеристики усіх пружних елементів лінійні, тобто коефіцієнти жорсткості і опору - постійні; при малих кутах φ_T переміщення остова енергетичного модуля справедливі рівності: $\operatorname{tg} \varphi_T \approx \varphi_T$, а $\cos \varphi_T \approx 1$.

Схематично модель функціонування гідронавісного механізму енергетичного модуля МЕЗ при раптовому звуженні гідромагістралі основного гідроциліндра, як дроселюючої системи, можна представити комбінацією пружних і дисипативних елементів (рис. 2). Пружні елементи представлені пружиною з жорсткістю C_r , дисипативні - поршнем з коефіцієнтом опору K_r . При дії на систему збурюючої коливальної сили $F(t)$ виникає переміщення $Z(t)$.

Зв'язок величини коефіцієнту опору K_r з параметрами дроселюючої системи описується наступним рівнянням:

$$K_r = \dot{Z}_{23} \zeta \cdot \rho \cdot S_{\text{ц}} \cdot \frac{l_2}{l_1}, \quad (1)$$

де Z_{23} —координата вертикального руху нижньої тяги навісного механізму МЕЗ;

$S_{\text{ц}}$ - площа поршня основного гідроциліндра;

ρ – густина гідравлічної рідини;

l_1, l_2 – конструктивні параметри гідронавісного механізму, природа яких зрозуміла з рис. 2;

ζ - коефіцієнт місцевих втрат.

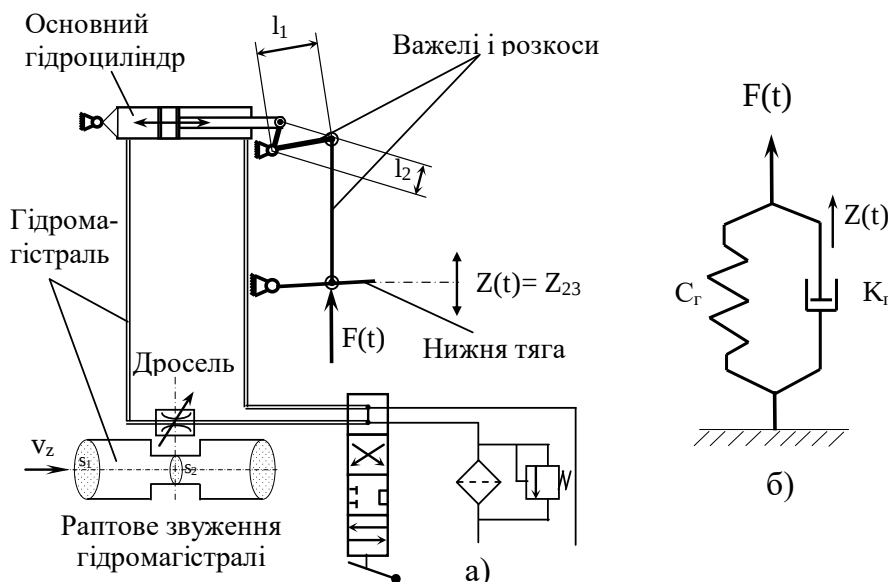


Рис. 2. Схема функціонування заднього гідронавісного механізму енергетичного модуля МЕЗ при встановленні дроселя в гідромагістралі (а) та еквівалентна динамічна модель (б).

Залежність коефіцієнта місцевих втрат ζ від величини раптового звуження гідромагістралі Ω (%) основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ задовільно апроксимується залежністю:

$$\zeta = -2 \cdot 10^{-8} \Omega^4 + 4 \cdot 10^{-6} \Omega^3 - 3 \cdot 10^{-4} \Omega^2 + 1,72 \cdot 10^{-2} \Omega + 2 \cdot 10^{-4}. \quad (2)$$

Після знаходження кінетичної та потенціальної енергій, а також відповідних дисипативних і узагальнених сил одержано математичну модель вертикального руху орного МТА на основі МЕЗ у вигляді наступної системи диференціальних рівнянь (3):

$$\left. \begin{aligned} A_{11} \cdot \ddot{Z}_1 + A_{12} \cdot \dot{Z}_1 + A_{13} \cdot Z_1 + A_{14} \cdot \ddot{Z}_2 &= f_{11} \cdot \dot{h}_1 + f_{12} \cdot h_1 + f'_{13} \cdot R_x + f_{14}; \\ A_{21} \cdot \ddot{Z}_2 + A_{22} \cdot \dot{Z}_2 + A_{23} \cdot Z_2 + A_{24} \cdot \ddot{Z}_3 &= f_{21} \cdot \dot{h}_2 + f_{22} \cdot h_2 + f'_{23} \cdot R_x + f_{24}; \\ A_{31} \cdot \ddot{Z}_3 + A_{32} \cdot \dot{Z}_3 + A_{33} \cdot Z_3 &= f_{31} \cdot \dot{h}_3 + f_{32} \cdot h_3 + f'_{33} \cdot R_x + f_{34} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $A_{11} = D_1 = [M_T \cdot a_T^2 + J_{TII}] / L_T^2$; $A_{12} = K_1$; $A_{13} = C_1$;
 $A_{14} = D_2 = 2[M_T \cdot a_T \cdot (L_T - a_T) - J_{TII}] / L_T^2$; $f_{11} = K_1$; $f_{12} = C_1$;
 $f'_{13} = \frac{d_0(L_{II} - b_M)[0,5H - 0,2(D_{II} - D_K)]}{L_T(L_{II} + D_H + D_K)(L_M + d_0)}$;
 $f_{14} = \frac{d_0}{L_T(L_M + d_0)} \left[G_M(a_M - f_{MKM}) - \frac{G_{II}(L_{II} - b_M)(D_0 - D_K)}{(L_{II} + D_H + D_K)} \right]$;
 $A_{21} = D_3 = [M_T \cdot (L_T - a_T)^2 + J_{TII}] / L_T^2$; $A_{22} = K_2$; $A_{23} = C_2$;
 $A_{24} = D_2 = 2[M_T \cdot a_T \cdot (L_T - a_T) - J_{TII}] / L_T^2$; $f_{21} = K_2$; $f_{22} = C_2$;
 $f'_{23} = \frac{(1 - d_0/L_T)(L_{II} - b_M)[0,5H - 0,2(D_{II} - D_K)]}{(L_{II} + D_H + D_K)(L_M + d_0)}$;
 $f_{24} = \frac{(1 - d_0/L_T)}{(L_M + d_0)} \left[G_M(a_M - f_{MKM}) - \frac{G_{II}(L_{II} - b_M)(D_0 - D_K)}{(L_{II} + D_H + D_K)} \right]$;
 $A_{31} = M_M$; $A_{32} = K_3$; $A_{33} = C_3$; $f_{31} = K_3$; $f_{32} = C_3$;
 $f'_{33} = \frac{[0,5H - 0,2(D_{II} - D_K)]}{L_{II} + D_H + D_K} \left[1 - \frac{L_{II} - b_M}{L_M + d_0} \right]$;
 $f_{34} = \frac{G_{II}(D_0 - D_K)}{L_{II} + D_H + D_K} \left[\frac{L_{II} - b_M}{L_M + d_0} - 1 \right] - \frac{G_M(a_M - f_{MKM})}{L_M + d_0}$.

В системі рівнянь (3) M_T , J_{TII} – маса і момент інерції енергетичного модуля у поздовжньо-вертикальній площині; M_M , G_M – маса і сила ваги технологічного модуля; G_{II} – сила ваги плуга; f_M , r_{KM} – коефіцієнт опору і радіус кочення коліс технологічного модуля; R_x – горизонтальна складова тягового опору плуга; K_1 , K_2 , K_3 і C_1 , C_2 , C_3 – відповідно приведені коефіцієнти опору дисипативних і пружних елементів, вирази для яких мають вид:

$$\hat{E}_1 = \frac{\dot{E}_{\theta 1} \cdot \dot{E}_{\bar{A}} b_1^2}{\dot{E}_{\bar{A}} b_1^2 + 2\dot{E}_{\theta 1} L_b^2}; \quad \hat{E}_2 = \frac{\dot{E}_{\theta 2} \cdot \dot{E}_{\bar{A}} (L_b + b_1)^2}{\dot{E}_{\bar{A}} (L_b + b_1)^2 + 2\dot{E}_{\theta 2} L_b^2}; \quad \hat{E}_3 = \frac{\dot{E}_{\theta 3} \cdot \dot{E}_{\bar{A}} b_1^2}{\dot{E}_{\bar{A}} b_1^2 + 2\dot{E}_{\theta 3} (L_1 - b_1)^2};$$

$$\tilde{N}_1 = \frac{\tilde{N}_{\theta 1} \cdot \tilde{N}_A \cdot b_1^2}{\tilde{N}_A \cdot b_1^2 + 2\tilde{N}_{\theta 1} L_b^2}; \quad \tilde{N}_2 = \frac{\tilde{N}_{\theta 2} \cdot \tilde{N}_A (L_b + b_1)^2}{\tilde{N}_A (L_b + b_1)^2 + 2\tilde{N}_{\theta 2} L_b^2}; \quad \tilde{N}_3 = \frac{\tilde{N}_{\theta 3} \cdot \tilde{N}_A b_1^2}{\tilde{N}_A b_1^2 + 2\tilde{N}_{\theta 3} (L_b - b_1)^2},$$

де $K_{\text{ш1}}, K_{\text{ш2}}, K_{\text{ш3}}$ і $C_{\text{ш1}}, C_{\text{ш2}}, C_{\text{ш3}}$ – відповідно коефіцієнти опору і жорсткості шин коліс мостів енергетичного і технологічного модулів МЕЗ.

Природа інших конструктивних параметрів зрозуміла з рис. 1 і 2.

Якщо в системі диференціальних рівнянь (3) здійснити перетворення Лапласа, то отримаємо математичну модель динаміки руху МТА на основі МЕЗ у поздовжньо-вертикальній площині в операторній формі запису:

$$\left. \begin{aligned} K_{11} \cdot Z_1(s) + K_{12} \cdot Z_2(s) + K_{13} \cdot Z_3(s) &= F_{11} \cdot h_1(s) + F_{12} \cdot h_2(s) + F_{13} \cdot h_3(s) + F_{14} \cdot R_x(s) + F_{15}; \\ K_{21} \cdot Z_1(s) + K_{22} \cdot Z_2(s) + K_{23} \cdot Z_3(s) &= F_{21} \cdot h_1(s) + F_{22} \cdot h_2(s) + F_{23} \cdot h_3(s) + F_{24} \cdot R_x(s) + F_{25}; \\ K_{31} \cdot Z_1(s) + K_{32} \cdot Z_2(s) + K_{33} \cdot Z_3(s) &= F_{31} \cdot h_1(s) + F_{32} \cdot h_2(s) + F_{33} \cdot h_3(s) + F_{34} \cdot R_x(s) + F_{35}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{де} \quad K_{11} &= A_{11} \cdot s^2 + A_{12} \cdot s + A_{13}; & F_{11} &= f_{11} \cdot s + f_{12}; \\ K_{12} &= A_{14} \cdot s^2; & F_{12} &= 0; \\ K_{13} &= 0; & F_{13} &= 0; F_{14} = f'_{13}; F_{15} = f_{14}; \\ K_{21} &= A_{24} \cdot s^2; & F_{21} &= 0; \\ K_{22} &= A_{21} \cdot s^2 + A_{22} \cdot s + A_{23}; & F_{22} &= f_{21} \cdot s + f_{22}; \\ K_{23} &= 0; & F_{23} &= 0; F_{24} = f'_{23}; F_{25} = f_{24}; \\ K_{31} &= 0; & F_{31} &= 0; \\ K_{32} &= 0; & F_{32} &= 0; \\ K_{33} &= A_{31} \cdot s^2 + A_{32} \cdot s + A_{33}; & F_{33} &= f_{31} \cdot s + f_{32}; \\ & & F_{34} &= f'_{33}; \\ & & F_{35} &= f_{44}; \end{aligned}$$

$s = d/dt$ – оператор диференціювання.

Вхідними величинами в системі рівнянь (4) виступають висоти нерівностей під передніми (h_1) і задніми (h_2) колесами енергетичного та колесами технологічного (h_3) модулів МЕЗ, а також тяговий опір плуга (R_x). Вихідними параметрами є амплітуди переміщень коливань переднього (Z_1) і заднього (Z_2) мостів енергетичного модуля та коливань остова технологічного модуля (Z_3).

Основними операторами для динамічних систем є передаточні функції і частотні характеристики.

В подальшому аналізі розглядали наступні передаточні функції:

- передаточна функція по профілю шляху під задніми колесами енергетичного модуля МЕЗ відносно коливань його заднього моста;
- передаточна функція по тяговому опору плуга відносно коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ.

Вплив дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ на характеристики вертикальних коливань орного МТА оцінювали за допомогою амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) переміщень та прискорень відпрацювання динамічною системою нерівностей профілю агрофону і нерівномірності тягового опору плуга.

Розв'язання системи рівнянь (4) в операторній формі дозволило одержати передаточні функції $W(s)$, а потім і частотні характеристики переміщень $A_{z_2/h_2}(\omega)$ та прискорень $A_{\ddot{z}_2/h_2}(\omega)$ при $s = i\omega$ (де i – уявна одиниця, $i^2 = -1$, а ω – частота збурювального впливу).

Змінними були параметри жорсткості з'єднання двох модулів, що досягається певною зміною діаметра прохідного перетину в місці раптового звуження гідромагістралі основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ. В процесі моделювання зменшували величину прохідного перетину гідромагістралі гідросистеми МЕЗ в межах $\Omega = 0-90\%$.

Як показує аналіз математичної моделі (4), основний спектр вертикальних коливань МЕЗ сконцентрований в діапазоні частот $\omega = 0 - 16 \text{ с}^{-1}$ (рис. 3). З точки зору бажаності відпрацювання динамічною системою нерівностей профілю агрофону – збільшення жорсткості в'язкопружного з'єднання двох модулів МЕЗ в агрегаті взагалі є ефективним, оскільки наближає амплітудно-частотні характеристики до бажаної. В якості останньої прийнято таку АЧХ динамічної системи, яка в усьому частотному діапазоні коливань збурення дорівнює нулю.

Із зменшенням прохідного перетину гідромагістралі в місці раптового звуження на 90% амплітуди коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ зменшуються майже в 10 разів, а резонансні піки частотних характеристик зміщуються в область низьких частот з $16,5 \text{ с}^{-1}$ до $6,0 \text{ с}^{-1}$, з одночасним зменшенням їх максимальних значень майже в 4 рази (див. рис. 3). Цей факт є позитивним у підвищенні плавності руху МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3, оскільки така слідуюча динамічна система прагне до копіювання нерівностей агрофону без підсилення.

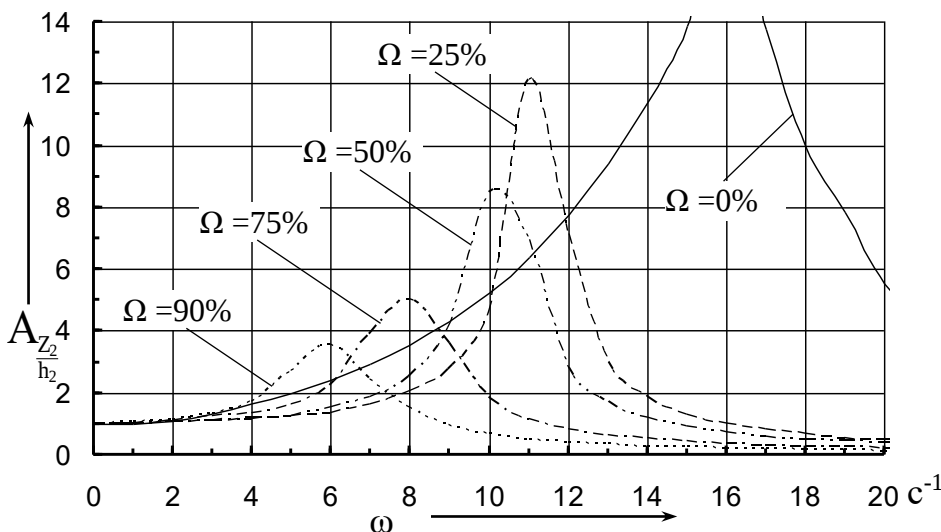


Рис. 3. Амплітудно-частотні характеристики вертикальних переміщень заднього моста енергетичного модуля МЕЗ при відтворенні ним коливань профілю шляху при раптовому звуженні гідромагістралі основного гідроциліндра $\Omega = 0-90\%$.

Аналіз одержаних амплітудно-частотних характеристик вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ при відпрацюванні збурення від нерівномірності тягового опору плуга показав (рис.4), що коливання цього збурення здійснюють значно менший вплив на плавність руху МЕЗ, ніж коливання поздовжнього профілю шляху. Максимальне значення амплітуди коливань зменшується разом із зменшенням діаметра прохідного перетину Ω в місці раптового

звуження гідромагістралі основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ. При $\Omega = 0\%$ вона припадає на резонансну частоту $\omega = 13,0 \text{ с}^{-1}$ і становить всього $1,2 \text{ мм/кН}$, а при $\Omega = 90\%$ - припадає на $\omega = 10,0 \text{ с}^{-1}$ і становить $0,4 \text{ мм/кН}$. Із збільшенням Ω - частотні характеристики опускаються з одночасним зміщенням їх максимумів в область більш низьких частот, що є бажаним.

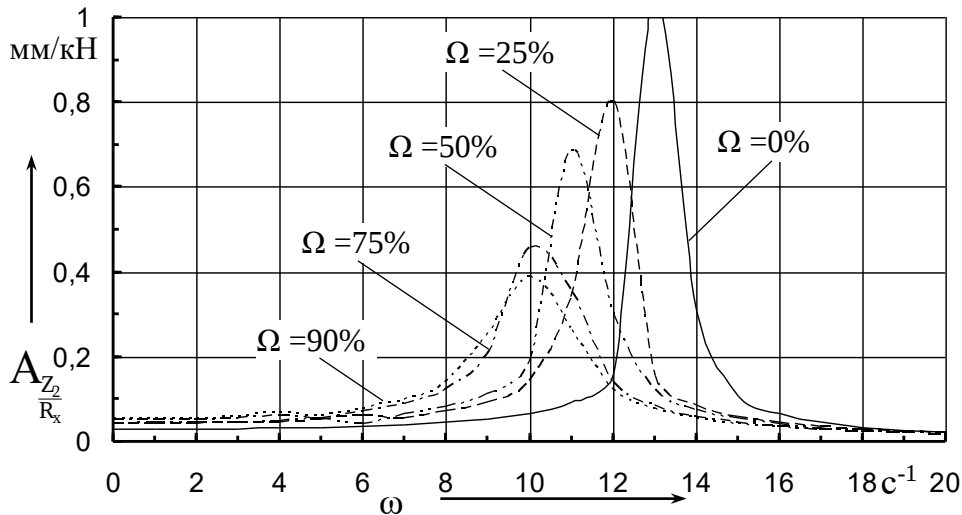


Рис. 4. Амплітудно-частотні характеристики вертикальних переміщень заднього моста енергетичного модуля МЕЗ при відтворенні ним коливань тягового опору плуга при раптовому звуженні гідромагістралі основного гідроциліндра на $\Omega = 0 - 90\%$.

Експериментально встановлено, що діапазон середньоквадратичного відхилення тягового опору плуга в умовах лабораторно-польових досліджень становив $\pm 2,2 \dots 3,9 \text{ кН}$. Тому, навіть на вищезгаданій резонансній частоті 13 с^{-1} середньоквадратичне відхилення вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ, викликане випадковим характером зміни тягового опору знаряддя, слід очікувати на рівні всього $\pm 3 \dots 5 \text{ мм}$.

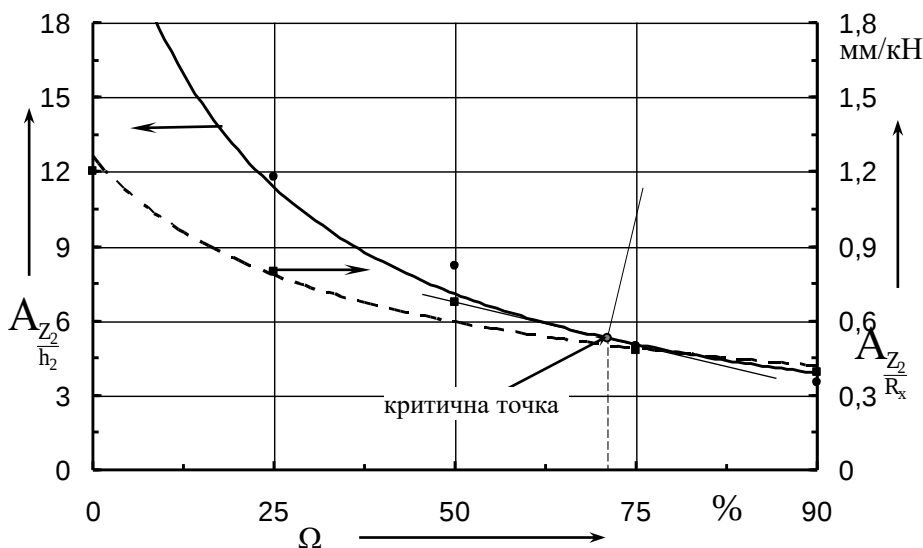


Рис. 5. Залежність амплітуд (A) вертикальних переміщень заднього моста енергетичного модуля МЕЗ від величини раптового звуження гідромагістралі (Ω) основного гідроциліндра при відтворенні агрегатом зовнішніх збурень.

Загалом, із аналізу одержаних амплітудно-частотних характеристик коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ в складі орного МТА впливає, що збільшення жорсткості з'єднання технологічного і енергетичного модулів приводить до зміщення частотних характеристик в область низьких частот з од-

ночасним зменшенням їх максимальних значень. Причому, залежність АЧХ від зміни діаметра прохідного перетину гідромагістралі при відтворенні агрегатом зовнішніх збурень не однакова. Інтенсивне зменшення величини АЧХ спостерігається до рівня зменшення прохідного перетину гідромагістралі 60 – 75 %, а далі – повільніше (рис. 5). Проведені дослідження показали, що критична точка припадає на рівень зменшення діаметру прохідного перетину гідромагістралі, який складає 69,8%. Отримане значення і є рівнем раціонального дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ.

Розділ 3 Програма і методика експериментальних досліджень

У розділі викладено програму і методику лабораторно-польових та експлуатаційних випробувань, описано техніку вимірювань, тарування вимірювальних перетворювачів первинної інформації. Для проведення випробувань використовували як стандартне обладнання і установки, так і ті, які розроблялися спеціально.

Об'єктом експериментальних досліджень був орний МТА на основі МЕЗ універсально-просапного призначення класу 1,4-3, який складався із енергетичного модуля (трактор МТЗ-80), технологічного модуля до нього і тензометричного плуга ПЛН-5-35 (рис. 6).



Рис. 6. Орний МТА на основі МЕЗ.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося визначення: необхідних для розрахунків масово-геометричних та конструктивних характеристик орного МТА на основі МЕЗ; основних характеристик агрофону; імовірнісних і кореляційно-спектральних характеристик вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ в залежності від коливань нерівностей поля при дроселюванні гідросистеми його заднього навісного механізму та характеристик тягового опору плуга; тягово-енергетичних та техніко-експлуатаційних показників роботи орного МТА; проведення порівняльної оцінки експлуатаційно – технологічних показників роботи орного МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3 з різною жорсткістю з'єднання двох модулів.

Реєстрацію параметрів, необхідних для визначення експлуатаційно-технологічних і агротехнічних показників орного МТА здійснювали з використанням обладнання, рекомендованого ГОСТ 18509-80 і ОСТ 70.4.1-80. Для запису

вимірних параметрів на ЕОМ за допомогою спеціально розробленого 8 каналного аналого-цифрового перетворювача, агрегат був обладнаний відповідним комплектом вимірювально-реєструючої апаратури (рис. 7). Загальне число каналів, які були одночасно задіяні при вимірі параметрів, згідно з планом експериментальних досліджень дорівнювало п'яти (тяговий опір плуга, вертикальне прискорення МЕЗ, крутний момент на валу відбору потужності енергетичного модуля, частота обертання його задніх коліс та коліс технологічного модуля МЕЗ).

Під час проведення лабораторно-польових досліджень орного МТА на основі МЕЗ реєстрували: вологість та щільність ґрунту; коливання поздовжнього профілю агрофону; частоту обертання коліс заднього моста енергетичного та технологічного модулів МЕЗ; крутний момент на валу відбору потужності енергетичного модуля; прискорення вертикальних коливань його заднього моста; тяговий опір плуга; робочу ширину захвату та швидкість руху агрегату; глибину оранки; погодинні витрати палива.

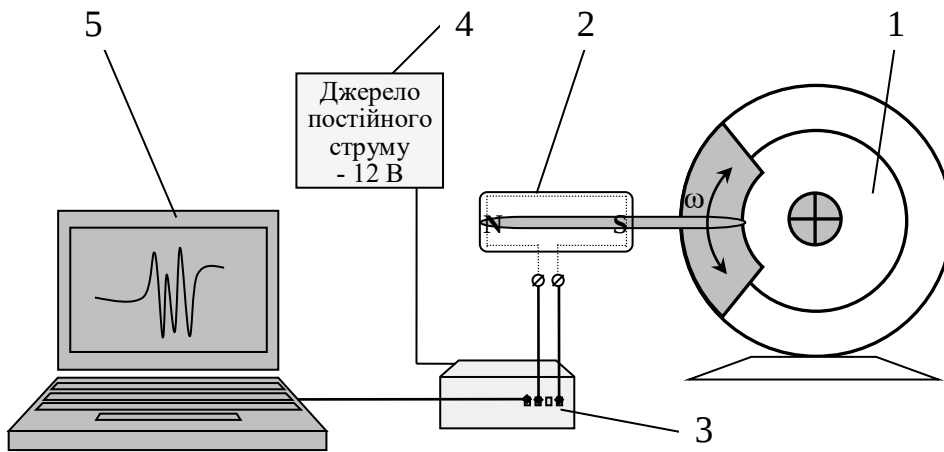


Рис. 7. Схема апаратуно-вимірювального комплексу реєстрації вертикальних коливань: 1 – віброграф Гейгера; 2 – індукційний датчик; 3 – аналогово-цифровий перетворювач; 4 – джерело постійного струму; 5 –

Обробку результатів експериментальних досліджень проводили за відомими методиками на ЕОМ з побудовою кореляційно-спектральних характеристик.

Для розрахунку експлуатаційно-технологічних показників орного МТА використовували методику, викладену в ГОСТ 24055–88 “Методы эксплуатационно-технологической оценки”.

Розділ 4 Результати експериментальних досліджень

Лабораторно-польові експериментальні дослідження орного МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3 проводили на оранці стерні соняшника. Середнє значення вологості ґрунту в шарі 0 – 15 см становило 23,7%, а щільності – 1,43 г/см³.

Як показали результати експериментальних даних, при швидкості руху орного МТА 1,5 – 1,7 м/с основна доля дисперсії прискорень вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ, як і коливання поздовжнього профілю агрофону, зосереджена в діапазоні частот 0 – 16,0 с⁻¹.

Графіки нормованих кореляційних функцій вертикальних коливань орного МТА із зменшенням діаметра прохідного перетину в місці раптового звуження гідромагістралі основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ представляють функції, які поряд з випадковими

складовими містять і гармонійні загасаючі періодичні коливання (рис. 8). Такий характер коливань мають і нерівності профілю агрофону. Найбільша довжина кореляційного зв'язку (збільшення якого є бажаним) відповідає повному запиранню гідромагістралі гідросистеми ($\Omega = 100\%$) і становить приблизно 0,62 с, що при вказаній вище швидкості руху МТА дорівнює 0,8 – 0,9 м.

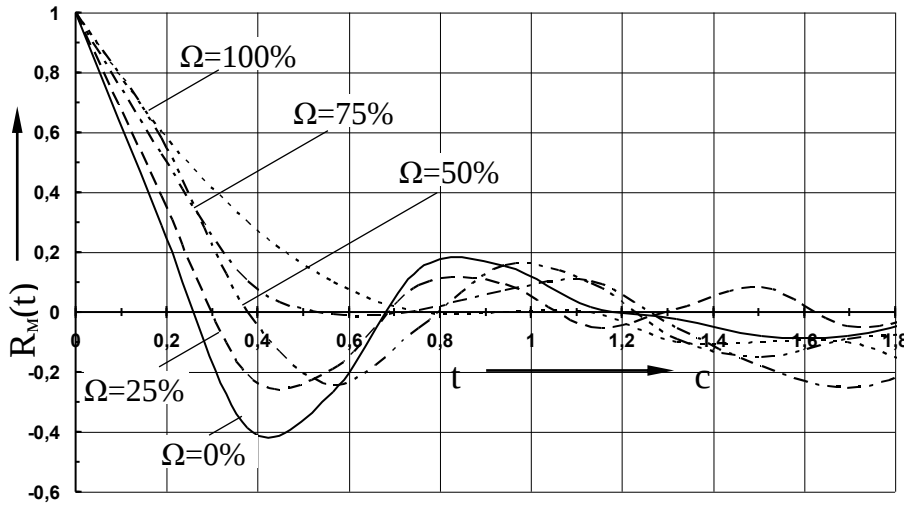


Рис. 8. Нормовані кореляційні функції прискорень вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ при раптовому звуженні гідромагістралі основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму на $\Omega = 0 - 100\%$.

Оцінка динаміки руху орного МТА на основі МЕЗ підтвердила теоретичні дослідження. Так, функціонування МЕЗ при номінальній величині прохідного перетину гідромагістралі основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля характеризується дуже негативним коливальним процесом у поздовжньо-вертикальній площині із незадовільним характером і величиною спектральної щільності та великою дисперсією (рис. 9). Разом з тим, на рівні звуження гідромагістралі на $\Omega = 75 - 100\%$, основні спектри дисперсій прискорень вертикальних коливань змінюються від 0 до 8 – 14 с^{-1} . Це навіть менше за частотний діапазон коливань профілю агрофону, що є бажаним.

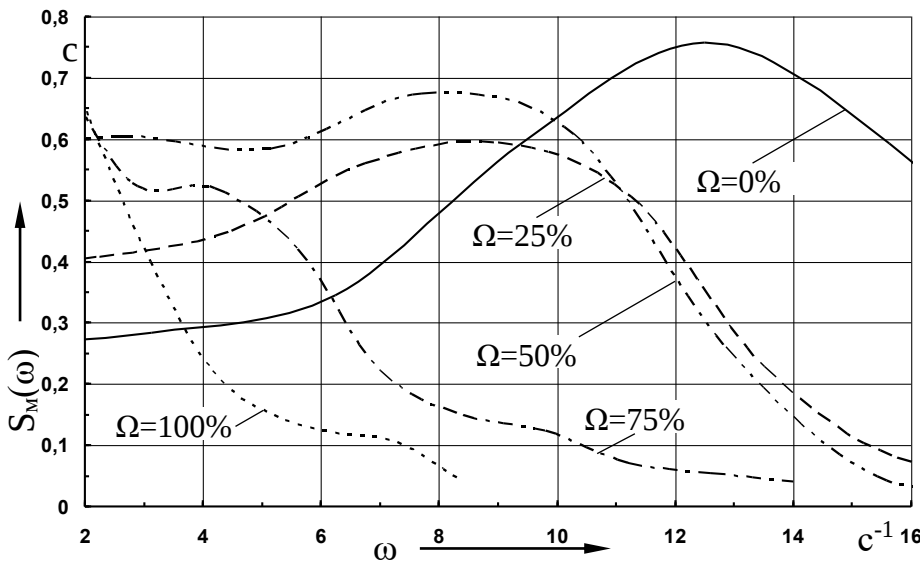


Рис. 9. Нормовані спектральні щільності прискорень вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ при раптовому звуженні гідромагістралі основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму на $\Omega = 0 - 100\%$.

Характер зменшення дисперсії прискорень вертикальних коливань МЕЗ при збільшенні жорсткості з'єднання модулів МЕЗ не однаковий (рис. 10). Інтенсивне зменшення дисперсій спостерігається до рівня зменшення прохідного перетину гідромагістралі на 75 – 80%, а далі залишається приблизно незмінним.

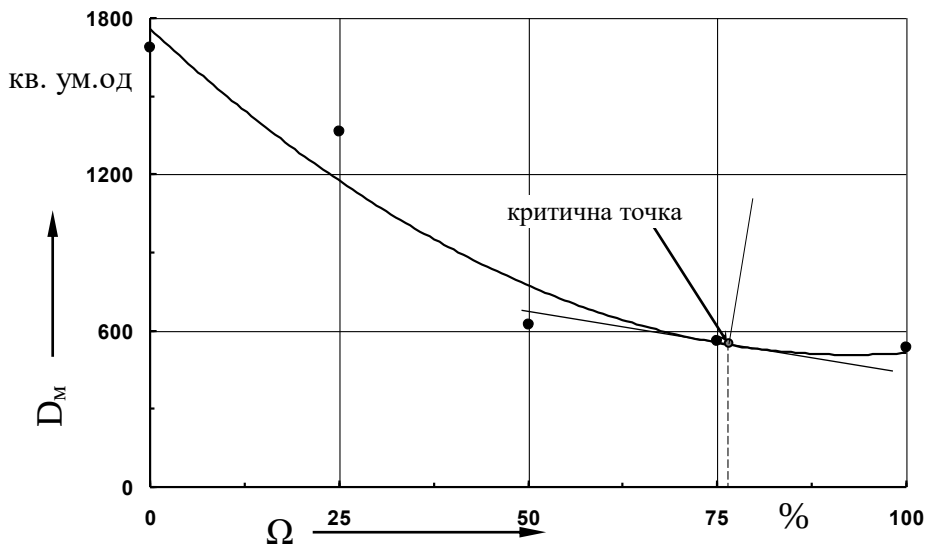


Рис. 10. Залежність дисперсії D_M реєстрації прискорень вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ при раптовому звуженні гідромагістралі Ω основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму.

Проведений аналіз функції показав, що критична точка, яка є величиною раціонального дроселювання гідросистеми навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ припадає на рівень 78% зменшення діаметру прохідного перетину гідромагістралі основного гідроциліндра. Зменшення при цьому дисперсії прискорень вертикальних коливань МЕЗ у 3 рази не є випадковим, оскільки згідно F-критерію Фішера, на рівні значущості 0,05 нуль-гіпотеза про рівність цих статистичних оцінок відхиляється.

Співставлення теоретичної ($\bar{A}_{\ddot{z}_2/h_2}$) та експериментальної ($A_{\ddot{z}_2/h_2}$) амплітудно-частотних характеристик прискорень вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ при дроселюванні гідросистеми заднього навісного механізму показало (рис. 11), що процеси характеризуються приблизно однаковим інтервалом зміни частотного діапазону.

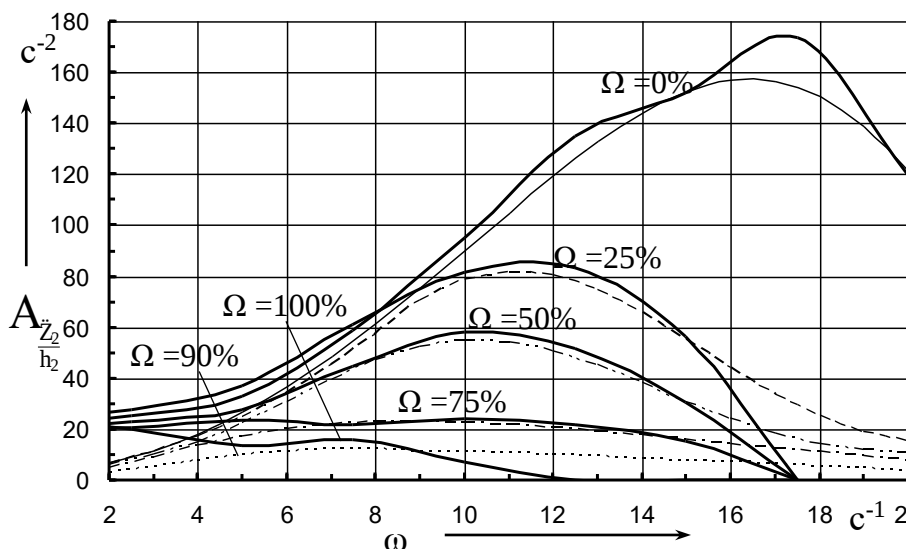


Рис. 11. Теоретичні ($\bar{A}_{\ddot{z}_2/h_2}$ —) та експериментальні ($A_{\ddot{z}_2/h_2}$ □□) амплітудно-частотні характеристики прискорень вертикальних коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ при раптовому звуженні гідромагістралі на рівні $\Omega = 0 - 100\%$.

В робочому діапазоні частот $2 - 16 c^{-1}$ цей процес близький до теоретичного, розбіжність між теоретичними і експериментальними значеннями становить не більше 8 – 15%, що є прийнятним для практики. Що стосується значень цих оцінок, то згідно F-критерію Фішера нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних дисперсій на статистичному рівні значущості 0,05 не відхиляється для всього розгля-

дуваного діапазону зміни діаметра прохідного перетину гідромагістралі гідросистеми модульного енергетичного засобу.

Основний спектр дисперсій коливань тягового опору плуга зосереджений у діапазоні частот $0 - 18 \text{ с}^{-1}$. Збільшення жорсткості з'єднання двох модулів практично не впливає на характер коливань тягового опору знаряддя. Нерівномірність коливань плуга майже в 10 разів менше впливає на плавність руху МТА, ніж збурення від нерівностей поздовжнього профілю шляху.

За результатами досліджень встановлено, що підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ шляхом раціонального вибору жорсткості з'єднання двох модулів, що досягається дроселюванням гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля, зменшує дисперсію коливань крутного моменту на його валу відбору потужності в 10 разів.

Експлуатаційно-технологічні показники орного МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3 визначали для двох варіантів налаштування заднього навісного механізму його енергетичного модуля. Згідно з **першим** показник раптового звуження гідромагістралі дорівнював 0, а згідно з **другим** – 78%. На практиці цього було досягнуто шляхом установки у гідромагістраль заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ шайби, прохідний отвір якої становив 2 мм.

Результати експлуатаційно-технологічних досліджень показали (табл. 1), що робота орного МТА у другому варіанті дозволяє збільшити швидкість робочого руху агрегату на 6%. В результаті продуктивність за 1 годину основного часу прямо пропорційно збільшується на ті ж самі 6%.

Таблиця 1-

Експлуатаційно-технологічні показники роботи орного МТА

Показник	Значення показника для налаштування МЕЗ	
	за варіантом 1	за варіантом 2
Режим роботи:		
- швидкість робочого руху, м/с	1,66	1,76
- встановлена глибина обробітку ґрунту, см	26,0	26,0
Об'єм виконаної роботи, га	10,2	10,6
Продуктивність роботи, га/год.:		
- основного часу	1,04	1,10
- змінного часу	0,87	0,92
Питомі витрати палива, кг/га	17,8	15,6
Експлуатаційно-технологічні коефіцієнти:		
- робочих ходів	0,93	0,92
- технічного та технологічного обслуговування	0,93	0,93
- використання змінного часу	0,83	0,84
Агротехнічні показники:		
- рівномірність глибини оранки, $\pm \text{см}$	2,1	1,9
- наявність огріхів	відсутні	

Крім зростання продуктивності праці зменшуються питомі (погектарні) витрати палива в середньому на 12,4% (див. табл. 1).

Що стосується показників якості обробітку ґрунту, то у порівнюваних варіантах роботи орного МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3 вони знаходяться практично на однаковому рівні. З довірчою ймовірністю 95% можна стверджувати, що різниці між середніми значеннями гребенистості поверхні і глибини оранки, а також між дисперсіями цих показників носять суто випадковий характер. Приблизно однаковими є інші експлуатаційно-технологічні показники роботи.

Розділ 5 Техніко-економічна оцінка ефективності підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ

Розрахунок техніко-економічних показників здійснювали за методикою, викладеною у ДСТУ 4397:2005 "Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування".

Аналіз розрахункових даних показав (табл. 2), що підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ дозволяє зменшити:

- витрати праці - на 5,2%;
- прямі витрати - на 9,4%;
- витрати палива - на 12,4%;
- сукупні витрати - на 8,8%.

Таблиця 2-

Показники економічної ефективності використання МТА на основі МЕЗ тягового класу 1,4-3

Показник	Значення показника
1. Річна економія витрат праці, люд.-год.	74,25
2. Річна економія ресурсів, кг палива	3 280
3. Річний економічний ефект, грн.	60 265
4. Річний прибуток, грн.	58 780
5. Період окупності інвестиційних вкладень, роки	2,4

Практична експлуатація МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3 при підвищенні плавності руху дозволяє на кожному гектарі оброблюваної площі заощадити не менше 11,3 грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і нове рішення наукової задачі підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ шляхом обґрунтування раціональних параметрів жорсткості з'єднання його енергетичного та технологічного модулів. За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. З метою підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3 доцільно забезпечити в'язкопружний зв'язок його модулів. Практично це досягається дроселюванням гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля. Коефіцієнт опору, при цьому, прямо пропорційно залежить від коефіцієнта місцевих втрат, і визначається розмірами основного гідроциліндра та конструктивними параметрами гідронавісного механізму.

2. Запропонована адекватна динамічна модель *"енергетичний модуль - технологічний модуль - сільськогосподарське знаряддя"* дозволяє досліджувати рух МТА у поздовжньо-вертикальній площині як складових єдиної динамічної системи. Встановлено, що із звуженням прохідного перетину гідромагістралі до 90% амплітуди коливань заднього моста енергетичного модуля МЕЗ зменшуються в 10 разів, а резонансні піки частотних характеристик зміщуються в область низьких частот з $16,5 \text{ c}^{-1}$ до $6,0 \text{ c}^{-1}$ з одночасним зменшенням їх максимальних значень в 4 рази. Піки амплітудно-частотних характеристик при відтворенні МЕЗ коливань тягового опору плуга зміщуються при цьому з $13,0 \text{ c}^{-1}$ до $10,0 \text{ c}^{-1}$ з одночасним зменшенням їх максимальних значень в 3 рази. Раціональна жорсткість з'єднання двох модулів досягається звуженням прохідного перетину гідромагістралі основного гідроциліндра енергетичного модуля на 70%, оскільки подальше зменшення амплітуд його вертикальних коливань залишається незначним.

3. Результати математичного моделювання показують, що коливання тягового опору сільськогосподарського знаряддя здійснюють в 10 раз менший вплив на плавність руху МТА на основі МЕЗ, ніж коливання поздовжнього профілю шляху.

4. На підставі експериментальних досліджень встановлено, що бажаний характер нормованих кореляційних функцій і спектральних характеристик вертикальних коливань МЕЗ в складі МТА спостерігається при зменшенні діаметра прохідного перетину в місці раптового звуження гідромагістралі основного гідроциліндра енергетичного модуля на рівні 78%. Дисперсія прискорень вертикальних коливань МЕЗ при цьому зменшується в 3 рази.

5. Дисперсія коливань тягового опору плуга не залежить від жорсткості з'єднання технологічного і енергетичного модулів МЕЗ в агрегаті. А дисперсія коливань крутного моменту на валу відбору потужності енергетичного модуля навпаки – в 10 разів зменшується із збільшенням жорсткості, що є бажаним, оскільки дозволяє підвищити енергетичні показники роботи МТА.

6. Експлуатаційно-технологічними випробуваннями встановлено, що підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ забезпечує зростання продуктивності роботи на 6% і зниження енергетичних витрат – на 12,4%. Це дозволяє зменшити прямі витрати - на 9,4% і на кожному гектарі оброблюваної площі заощаджувати не менше 11,3 грн.

7. Робота МТА на основі МЕЗ, де модулі з'єднані в'язкопружним зв'язком, не погіршує якість обробітку ґрунту. З довірчою ймовірністю 95% можна стверджувати, що різниці між середніми значеннями, а також дисперсіями показників якості обробітку ґрунту носять суто випадковий характер.

8. За результатами виконаної роботи розроблено рекомендації з вибору раціональних параметрів жорсткості з'єднання блочно-модульних МТА. Результати експериментальних досліджень та практичні рекомендації передані до відділу Головного конструктора ВАТ "Харківський тракторний завод" для використання під час модернізації та розробки нових моделей тракторів тягово-енергетичної концепції.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кувачов В.П. Підвищення плавності руху машинно-тракторних агрегатів на базі модульних енергетичних засобів перемінного тягового класу 1,4-3 / В.П. Кувачов // Праці ТДАТА.- 2006.- Вип. 35. – С.79–84.

2. Кувачов В.П. Удосконалення методики реєстрації вертикальних коливань мобільних енергетичних засобів / В.П. Кувачов, А.М. Аюбов, О.Г. Котов // Праці ТДАТА. – 2007.- Вип. 7, том 1.- С. 139–145.

3. Кувачов В.П. До питання підвищення плавності руху блочно-модульних агрегатів / В.П. Кувачов // Праці ТДАТА. - 2007.- Вип. 7, том 1.- С. 160–167.

4. Кувачов В.П. Дослідження плавності руху модульного енергетичного засобу класу 1,4-3 при в'язкому демпфіруванні вертикальних коливань / В.П. Кувачов // Вісник ХНТУСГ. - 2007. - Вип.60. - С.82–87.

5. Кувачов В.П. Підвищення експлуатаційно-технологічного потенціалу МТА на основі модульних енергетичних засобів класу 1,4-3 / В.П. Кувачов // Праці ТДАТУ. – 2008.- Вип.1. – С. 39-45.

6. Кюрчев В.М. Теоретичне моделювання руху модульних енергетичних засобів класу 1,4-3 у поздовжньо-вертикальній площині / В.М. Кюрчев, В.П. Кувачов // Праці ТДАТУ. – 2008.- Вип. 8, том 2. – С. 14-26.

7. Кувачов В.П. Методика та результати оцінки нерівностей профілю ґрунтово-дорожніх фонів за допомогою ЕОМ / В.П. Кувачов, В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто // Праці ТДАТУ.-2008.- Вип. 8, том 6. – С. 28-34.

8. Пат. 21932 Україна, МПК⁷ B62 D 59/00. Спосіб підвищення плавності руху транспортного засобу сільськогосподарського призначення / Кувачов В.П., Кюрчев В.М., Кутьков Г.М., Надикто В.Т.; заявник та патентовласник ТДАТУ. - № u200611188; заявл.23.10.2006; опубл. 10.04.2007, Бюл. №4.

9. Пат. 32545 Україна, МПК⁷ A01 B 59/00. Спосіб підвищення прохідності транспортного засобу сільськогосподарського призначення: / Кувачов В.П., Кюрчев В.М., Надикто В.Т.; заявник та патентовласник ТДАТУ.- № u200712159; заявл. 02.11.2007; опубл. 26.05.2008, Бюл. №10.

АНОТАЦІЇ

Кувачов В.П. Підвищення плавності руху машинно-тракторних агрегатів на основі модульних енергетичних засобів класу 1,4-3. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.05.11 - машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. - Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, 2009.

Дисертація присвячена рішенням задачі підвищення плавності руху машинно-тракторних агрегатів (МТА) на основі модульних енергетичних засобів (МЕЗ) шляхом обґрунтування раціональних параметрів жорсткості з'єднання його енергетичного та технологічного модулів.

Встановлено взаємозв'язок конструктивних параметрів заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ з коефіцієнтом опору дроселювання його гідросистеми. Розроблено математичну модель, яка дозволяє підвищити плавність руху МТА на основі МЕЗ шляхом оптимізації жорсткості з'єднання його енергетичного та технологічного модулів. Виявлено нові закономірності впливу параметрів дроселювання гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ на характеристики вертикальних коливань МТА.

Обґрунтовано, що результат раціонального зменшення діаметра прохідного перетину гідромагістралі основного гідроциліндра гідросистеми заднього навісного механізму енергетичного модуля МЕЗ дозволяє отримати бажані амплітудно-частотні і кореляційно-спектральні характеристики вертикальних коливань агрегатів на їх основі.

Основне практичне значення результатів досліджень полягає в підтвердженні гіпотези щодо техніко-економічної доцільності блочно-модульного агрегування та конструювання МТА, в яких модулі з'єднуються в'язкопружним зв'язком.

Розроблені науково-обґрунтовані рекомендації з підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ класу 1,4-3 дозволяють забезпечити безпечні умови праці тракториста, підвищити продуктивність, економічність та довговічність роботи агрегатів, що на кожному гектарі оброблюваної площі дозволяє заощаджувати кошти.

Ключові слова: модульний енергетичний засіб, машинно-тракторний агрегат, плавність руху, вертикальні коливання, гідронавісний механізм, дроселювання, жорсткість.

Кувачев В.П. Повышение плавности хода машинно-тракторных агрегатов на основе модульных энергетических средств класса 1,4-3. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 - машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. - Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, 2009.

Диссертация посвящена решению научной задачи повышения плавности хода машинно-тракторных агрегатов на основе модульных энергетических средств путем обоснования рациональных параметров жесткости соединения его

энергетического и технологического модулей. Что практически достигается дросселированием гидросистемы заднего навесного механизма энергетического модуля. Результатом улучшения плавности хода машинно-тракторных агрегатов является повышение технико-эксплуатационных показателей их работы. Предметом исследований выступают закономерности влияния параметров жесткости соединения модулей энергетического средства класса 1,4-3 на плавность хода машинно-тракторных агрегатов.

Плавность хода машинно-тракторных агрегатов на основе модульных энергетических средств рассматривается как наиважнейший эксплуатационный показатель, состоящий в способности противостоять возмущениям от неровностей агрофона и неравномерности тягового сопротивления сельскохозяйственного орудия.

Модель функционирования гидронавесного механизма энергетического модуля при дросселировании гидросистемы, путем внезапного сужения магистрали основного гидроцилиндра, представлена комбинацией работы упругих и диссипативных элементов с соответствующими характеристиками.

Установлена взаимосвязь конструктивных параметров заднего навесного механизма энергетического модуля с коэффициентом сопротивления дросселирования его гидросистемы.

Разработанная адекватная математическая модель "энергетический модуль - технологический модуль - сельскохозяйственное орудие", позволяет исследовать ход машинно-тракторных агрегатов на основе модульных энергетических средств в продольно-вертикальной плоскости и оптимизировать жесткость соединения его энергетического и технологического модулей.

Выявлено новые закономерности влияния параметров дросселирования гидросистемы заднего навесного механизма энергетического модуля на характеристики вертикальных колебаний машинно-тракторных агрегатов.

В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что результат рационального дросселирования гидросистемы заднего навесного механизма энергетического модуля позволяет получить желаемые амплитудно-частотные и корреляционно-спектральные характеристики и уменьшение в 3 – 4 раза дисперсий вертикальных колебаний агрегата. Рациональная жесткость соединения двух модулей энергетического средства класса 1,4-3 в составе пахотного агрегата достигается сужением проходного диаметра гидромагистрали основного гидроцилиндра гидросистемы заднего навесного механизма энергетического модуля на 78%, т.к. дальнейшее уменьшение дисперсий вертикальных колебаний сохраняется не значительным.

Дисперсия колебаний тягового сопротивления сельскохозяйственного орудия не зависит от жесткости соединения технологического и энергетического модулей энергетического средства в агрегате. А дисперсия колебаний крутящего момента на валу отбора мощности энергетического модуля, наоборот - в 10 раз уменьшается с увеличением жесткости, что желательно, поскольку позволяет повысить энергетические показатели работы агрегатов.

Эксплуатационно-технологическими испытаниями установлено, что повышение плавности хода пахотного агрегата на основе модульного энергетического

средства класса 1,4-3 обеспечивает прирост производительности его работы на 6% и снижение на 12,4% погектарного расхода топлива. Это позволяет уменьшить прямые эксплуатационные затраты как минимум на 9,4%.

Работа пахотного машинно-тракторного агрегата на основе модульного энергетического средства, у которого модули соединены вязкоупругой связью, практически не отображается на качестве обработки почвы. С доверительной вероятностью 95% можно утверждать, что разность между средними величинами, а также дисперсиями показателей качества обработки почвы носят исключительно случайный характер.

Разработанные рекомендации по повышению плавности хода и обеспечению устойчивой проходимости блочно-модульных машинно-тракторных агрегатов позволяют улучшить условия труда тракториста, повысить производительность, экономичность и долговечность работы агрегатов, что на каждом гектаре обработанной площади позволяет сэкономить не меньше 11,3 грн.

Ключевые слова: модульное энергетическое средство, машинно-тракторный агрегат, плавность хода, вертикальные колебания, гидронавесной механизм, дроселирование, жесткость.

Kuvachov V.P. Increase of smoothness a course of machine-tractor units on the basis of modular power means class 1,4-3. - Manuscript.

Dissertation for the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences in 05.05.11 speciality - Machines and Means of Mechanization for Agricultural Production. – Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, 2009.

The dissertation to the decision of a problem reduction of a dispersion vertical fluctuations of units on the basis modular power means (MPM) without additional constructive changes of their system of springs, due to a rational choice of rigidity of connection of two modules that is reached by the certain reduction of through passage section of a hydrohighway of the basic hydrocylinder of hydrosystem of the back hinged mechanism of the power module is devoted. It is developed and proved the mathematical model, permitting to research a course of machine -tractor units on the basis of MPM at a longitudinal-vertical plane, as components of uniform dynamic system with a rational choice of rigidity connection of two modules. It is established the result of rational reduction of through passage section of a hydrohighway of the basic hydrocylinder of hydrosystem of the back hinged mechanism of the power module allows to receive desired peak-frequency and correlation-spectral characteristics of vertical fluctuations units on their basis. The developed recommendations at the choice of rational rigidity of connection of block-modular machine-tractor units and maintenance of their steady passableness thus allow to provide safe working conditions of the tractor operator, to increase productivity, profitability and durability of work of units, that on each hectare of the processed area allows to save not less than 11,3 gr.

Keywords: modular power means, smoothness of a course, vertical fluctuations, the hydraulic hinged mechanism, amortization, rigidity.

Підписано до друку 05 травня 2009 р. Зам. № 98
Формат 60х84х 1/16. Умовн. друк. арк. 1,1. Тираж 100 прим.
Надруковано у Таврійському державному агротехнологічному університеті.
Адреса: 72312, Запорізька обл., м. Мелітополь,
пр-т Б.Хмельницького, 18