

УДК 636.085.55.4

## ПРО НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ХОДОВОЇ СИСТЕМИ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ

**В. О. Артемов**, канд.. техн. наук, **С. В. Конев**, канд.. техн. наук,  
**О. Я. Савченко**, канд. техн. наук

*Одеський аграрний державний університет*

*Узагальнені статистичні дані з експлуатаційної завантаженості ходової системи трактора МТЗ-80.*

**Ключові слова:** трактор, завантаженість, елементи ходової системи, коливання

**Вступ.** Світовий досвід [1] показує, що проблеми оптимального проектування машин і устаткування можуть вирішуватися швидше і якісно у тому випадку, коли теоретичні передумови підтверджуються або коректуються на базі експериментального дослідження і натурних випробувань машин, а результати випробувань у свою чергу аналізуються і узагальнюються на підставі теоретичних положень. У цьому і полягає свого роду «метод човника», що дозволяє прискорювати розробку високопродуктивного машинного устаткування, збагачувати і знаходити нове застосування теоретичних досліджень, удосконалювати методи випробувань.

**Проблема.** Важливою складовою прискорення розробки високопродуктивного машинного устаткування і транспортних засобів, знаходження нових застосувань теоретичних досліджень, удосконалювання методів випробувань є дослідження динамічних навантажень в реальних умовах експлуатації. Але на етапі розробки ці дані відсутні. Тому важливо мати достатню кількість результатів досліджень динамічних навантажень в реальних умовах експлуатації прототипів устаткування і транспортних засобів, що розробляються.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Результати досліджень динамічних навантажень в реальних умовах експлуатації є основою вдосконалення конструкцій деталей, підвищення точності розрахунків і вибору методів прискорених випробувань. При дослідженні коливань транспортних засобів (отже, і змінної завантаженості) включно методами статистичної динаміки машину можливо розглядати як динамічну систему з кількома входами (колеса та причіпний пристрій), на які надходять зовнішні впливи (нерівності мікропрофілю шляху, зусилля на гаку і т.і.) і одним виходом. В якості виходу можуть прийматися прискорення, переміщення підресорених і не підресорених мас, напруги в окремих деталях, зусилля та інші параметри. При такому підході математичний опис зв'язків між параметрами машини на виході і впливом, що збурює виражається формулою:

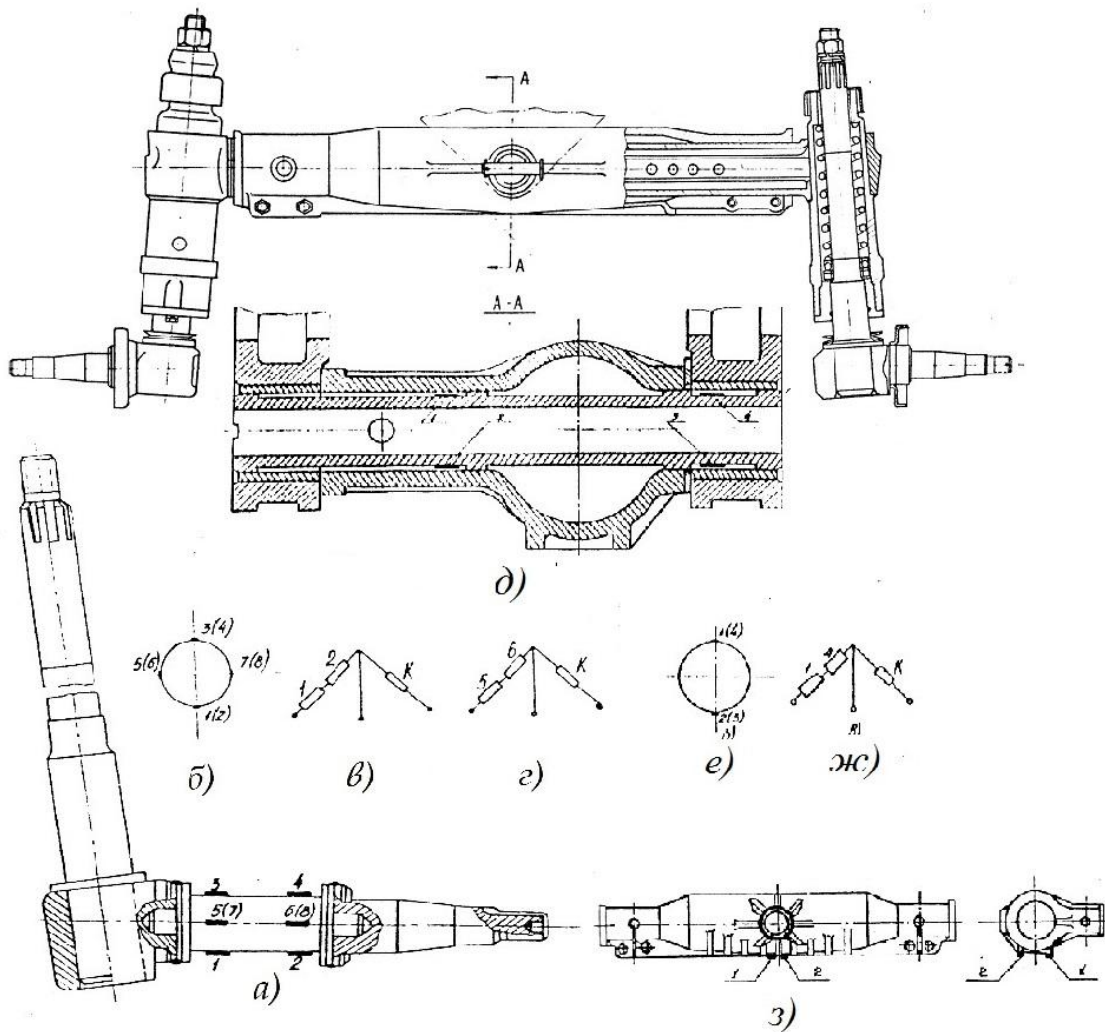
$$\Phi_{вих}(\omega) = |W(i\omega)|^2 \cdot \Phi_{вх}(\omega) \quad (1)$$

де  $\Phi_{вх}(\omega)$  і  $\Phi_{вих}(\omega)$  спектральні густини зовнішнього впливу (процесу на вході) і параметра машини (процесу на виході);  $|W(i\omega)|^2$  - квадрат модуля передатної функції коливальної системи від шуканого параметру. При дослідженні завантаженості елементів металоконструкцій несучої і ходової систем колісного трактора прийнято припущення, що між зусиллям і деформацією, деформацією та напругою існує лінійна залежність. Це припущення дозволяє розглядати формування змінних зусиль і напруг при коливаннях від впливу нерівностей дороги як формування динамічних деформацій пружного елемента. Для цього необхідно знайти передатну функцію еквівалентної коливальної системи для виходу у вигляді динамічного прогину пружного елемента підвіски. Отже, з використанням формули (1) можливо отримати оцінки параметрів випадкових процесів навантаження.

**Мета досліджень:** узагальнення статистичних даних про експлуатаційну завантаженість елементів ходової системи трактора МТЗ-80.

**Результати досліджень.** Для тензометрування за досвідом досліджень [1] прийняті режими транспортного руху трактора розбитим ґрунтовим з усохлими коліями шляхом і полем з борознами від старої оранки; ці режими характеризуються найбільшим навантаженням при швидкостях руху до 5,0 м/с. Виміряні вертикальні  $P_{вл}$ ,  $P_{вл}$  і горизонтальні  $P_{гп}$ ,  $P_{гл}$  зусилля на півосях правої і лівої поворотних цапф керованих коліс, зусилля на осі гойдання переднього моста  $P_{ок}$ , напруга у балці переднього мосту  $\sigma_{пб}$  і рукавах правої  $\sigma_{рп}$  і лівої  $\sigma_{рл}$  півосі заднього мосту. Для виміру використовані спеціальні цапфи і вісь гойдання [2]. Конструкції тензовузлів, схеми наклейки і з'єднання тензорезисторів приведені на рис. 1. Результати статистичного аналізу реалізацій випадкових процесів навантаження представлені на рис. 2 - 5. Встановлено, що час руху трактора розбитим ґрунтовим з засохлими коліями шляхом зі швидкістю 5,0 м/с з вантажами на передньому брусі максимальні і середні значення вертикальних зусиль на півосях  $P_{вmax}$ ,  $P_{всер}$  можуть досягати відповідно 25,6 і 18,7 кН, а максимальні і середні зусилля на осі хитання  $P_{окmax}$ ,  $P_{оксер}$  - 35,1 і 22,0 кН. Під час руху трактора з плугом полем з борознами від старої оранки при швидкості руху 2,4 м/с  $P_{вmax} = 21,9$  кН і  $P_{всер} = 13,7$  кН, а при русі трактора з плугом розбитим ґрунтовим шляхом зі швидкістю 5 м/с і  $P_{вmax} = 19,5$  кН і  $P_{всер} = 11,6$  кН. Під час руху трактора без начіпних і причіпних машин-знарядь і додаткових вантажів по тих же дільницях і з тією ж швидкістю величини  $P_{вmax}$ ,  $P_{всер}$  складають відповідно 21,5 і 15,9 кН (поле) і 18,7 і 12,8 кН (розбитий ґрунтовий шлях) і з максимальним значенням на 2 - 4 % менше, а за середнім на 9 - 15% більше аналогічних параметрів, отриманих для режиму руху з навісним плугом. Вплив плуга на завантаженість елементів ходової системи підтверджується і значеннями вертикальних зусиль заміряних на осі гойдання  $P_{ок}$ : у трактора з плугом  $P_{окmax}$ ,  $P_{оксер}$  досягають 29,7 і 16,4 кН під час руху полем поперек

борозен (зі швидкістю 2,4 м/с) і 23,2 і 14,3 кН під час руху розбитим ґрунтовим шляхом (зі швидкістю 5 м/с), у той час як у трактора без плуга  $R_{ок\max}$ ,  $R_{ок\text{сер}}$  складають 28,9 і 19,1 кН під час руху полем поперек борозен (зі швидкістю 2,4 м/с) і 24,7 і 16,6 кН під час руху розбитим ґрунтовим шляхом (зі швидкістю 5,0 м/с). Порівняння отриманих значень  $R_{ок\max}$ ,  $R_{ок\text{сер}}$  для цих агрегатів показує, що в залежності від типу ділянки і швидкості руху вони відрізняються не більше ніж на 15 %, хоча статична завантаженість осі гойдання переднього мосту трактора з плугом в транспортному положенні менше, ніж у трактора без знарядь і додаткових вантажів, в 1,6 рази. Цю обставину можна пояснити збільшенням зусиль на передній міст через поздовжньо – кутові коливання трактора.

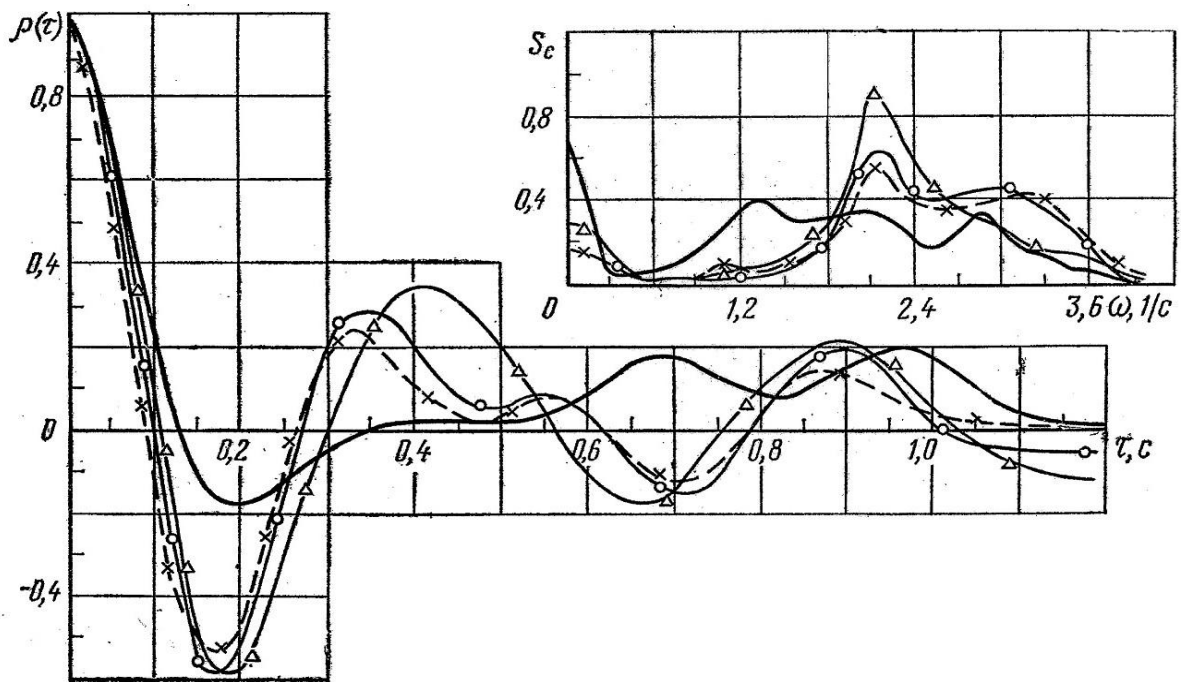


**Рис. 1.** Конструкції тензовузлів (а, д, з), схеми наклейки і з'єднання тензорезисторів (б, в, г, е, ж).

Транспортний рух трактора розбитим ґрунтовим шляхом з причепом ГКБ-817 (маса навантаженого причепа - 6340 кг) при збільшенні швидкості супроводжується більш різким підвищенням завантаженості, ніж за тих же умов без причепа. Так, у трактора з причепом завантаженість елементів переднього мосту при  $v = 2,9$  м/с в 1,02 - 1,54 рази менше, ніж у трактора без

причепи, а при  $v = 4,2$  м/с - в 1,02 - 1,29 рази більше. Горизонтальні зусилля на півосях поворотних цапф  $R_{Г_{\max}}$  і  $R_{Г_{\text{сер}}}$  залежно від складу машино-тракторного агрегату (МТА), типу ділянки і швидкості руху змінюються відповідно в діапазоні 3,94 - 9,25 кН і 2,01 - 7,18 кН, тобто в 2,34 і 3,57 рази. Максимальні значення горизонтальних зусиль відповідають руху трактора без знарядь і додаткових вантажів полем поперек борозен ( $v = 2,4$  м/с), а мінімальні - руху розбитим ґрунтовим шляхом з вантажами на передньому брусі ( $v = 2,9$  м/с). При збільшенні швидкості руху по розбитій ґрунтовій дорозі трактора без знарядь і додаткових вантажів і з плугом  $R_{Г_{\max}}$  і  $R_{Г_{\text{сер}}}$  зменшуються в 1,04 - 1,19 і 1,16 - 1,30 рази. Коефіцієнти динамічності  $K_{д_{\max}}$  і  $K_{д_{\text{сер}}}$ , підраховані по максимальним і середнім зусиллям, знаходяться відповідно в діапазоні 2,33 - 7,38 і 1,73 - 4,62 для півосей поворотних цапф і 1,88 - 5,75 і 1,39 - 3,17 для осі гойдання. Найбільші значення коефіцієнтів динамічності відповідають руху трактора з плугом полем поперек борозен і розбитим ґрунтовим шляхом. Для трактора з причепом при збільшенні швидкості руху значення  $K_d$  вище, ніж у трактора без причепа (наприклад, при  $v = 4,2$  м/с - в 1,02 - 1,17 рази). Для всіх режимів випробувань відзначені пробої підвіски, особливо при збільшенні швидкості руху. Це свідчить про доцільність збільшення динамічного прогину ресор. Величини напруг в балці переднього мосту і рукавах заднього мосту, як правило, відображають аналогічний вплив режиму руху на їх завантаженість. Зі збільшенням швидкості напруги у всіх випадках збільшуються. Максимальні значення  $\sigma_{\text{пб}_{\max}}$  і  $\sigma_{\text{пб}_{\text{сер}}}$  відповідають руху трактора з додатковими вантажами на передньому брусі і становлять відповідно 113 і 76,2 МПа. Найбільш високий рівень напруги відзначений під час руху полем поперек борозн від старої оранки без знарядь і додаткових вантажів  $\sigma_{\text{пб}_{\max}}$  і  $\sigma_{\text{пб}_{\text{сер}}}$  досягають 108 і 69 МПа, а з плугом - 102 і 58,1 МПа. Ці дані, як і за зусиллям, відрізняються не більш ніж на 18 %. Під час руху трактора з плугом полем поперек борозен і розбитим ґрунтовим шляхом максимальні коефіцієнти  $K_{д_{\max}}$ , підраховані за  $\sigma_{\text{пб}_{\max}}$ , складають відповідно 6,49 і 5,12. Під час руху трактора з причепом при  $v = 4,2$  м/с максимальні і середні напруги в передній балці зростають відповідно до 82 і 63 МПа, що більше, ніж у трактора без причепа за тих же умов, в 1,14 - 1,16 рази. Вплив причепа на завантаженість рукавів півосей при  $v = 4,2$  м/с характеризується коефіцієнтами динамічності по  $\sigma_{\text{р}_{\max}}$  та  $\sigma_{\text{р}_{\text{сер}}}$ , що дорівнюють 4,03 і 2,6, у той час як у трактора без знарядь і додаткових вантажів при  $v = 5$  м/с  $K_d$  дорівнюють 3,84 і 2,09. Навішення на трактор додаткових вантажів призводить до значного підвищення навантаженості елементів не тільки переднього мосту трактора, але і рукавів півосей заднього мосту. Так, величини  $\sigma_{\text{р}_{\max}}$  та  $\sigma_{\text{р}_{\text{сер}}}$  для цього складу МТА майже у всіх випадках більше, ніж для трактора без знарядь і додаткових вантажів, у 1,14-1,23 рази, і тільки при  $v = 5$  м/с значення  $\sigma_{\text{р}_{\max}}$  практично близькі. Оцінка завантаженості деталей трактора також виконана за допомогою методів теорії випадкових функцій. В результаті розрахунку отримані оцінки

середніх квадратичних відхилень, дисперсій, нормованих кореляційних функцій  $\rho(\tau)$ , нормованих спектральних густин  $S_c$ , а також розподілу ймовірностей амплітуд параметрів процесів. На рис. 2 і 3 як приклад представлені  $\rho(\tau)$  та  $S_c$  зусиль, що діють, на півосях поворотних цапф, а на рис. 4 і 5 - напруг в балці переднього мосту і рукавах півосей заднього мосту в залежності від складу МТА та умов руху. Ці характеристики дозволяють провести амплітудний і частотний аналіз процесів навантаження. Так, з графіків  $\rho(\tau)$  та  $S_c$  вертикальних зусиль на півосях поворотних цапф залежно від складу МТА (рис. 2) видно, що під час руху трактора без знарядь і вантажів, а також з вантажами і причепом характер протікання  $\rho(\tau)$  та  $S_c$  однаковий, однак амплітудний склад процесів різний. Транспортний рух з плугом характеризується збільшенням часу кореляційного зв'язку  $\rho(\tau)$  і зсувом максимуму спектральної густини  $S_c$  в зону низькочастотних коливань. Максимальні значення  $S_c$  в порядку послідовності, що убуває відповідають руху трактора з вантажами на передньому брусі, плугом, причепом і без знарядь.

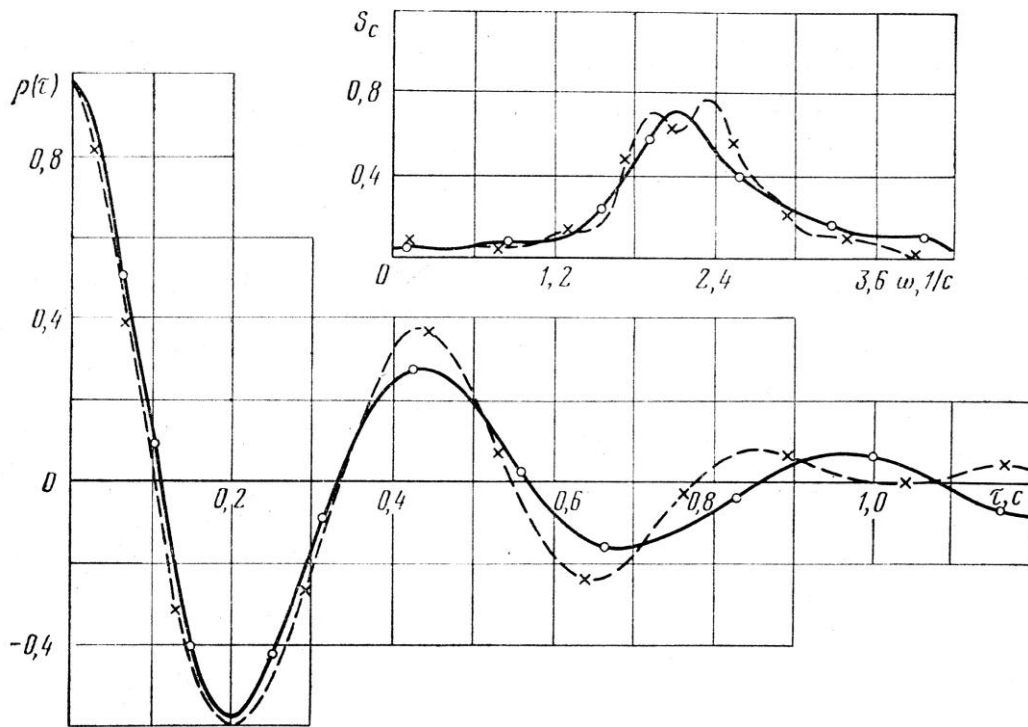


**Рис. 2.** Нормовані кореляційні функції і спектральні густини процесів вертикальних зусиль на півосях поворотних цапф при русі трактора розбитим ґрунтовим шляхом ( $v = 4,2$  м/с):

--x-- - начіпних і причіпних машин-знарядь і додаткових вантажів,  
 — - з плугом, —Δ— - з грузом на переднем брусі, —o— - з причепом.

З рис. 3 випливає, що найбільш небезпечним ушкодженням за руйнівним впливом є поле з борознами від старої оранки. Протікання  $\rho(\tau)$  та  $S_c$  процесів змінних напруг  $\sigma$  в балці переднього мосту і рукавах півосей заднього мосту в залежності від складу МТА та умов руху (рис. 4 і 5) аналогічний. Найбільш напруженим є рух по полю поперек борозен; навішення плуга призводить до

повільного загасання  $\rho(\tau)$  і збільшення максимуму спектральної густини  $S_c$  з одночасним його зсувом у зону низьких частот; максимум  $S_c$  для трактора з плугом вище, ніж без плуга.

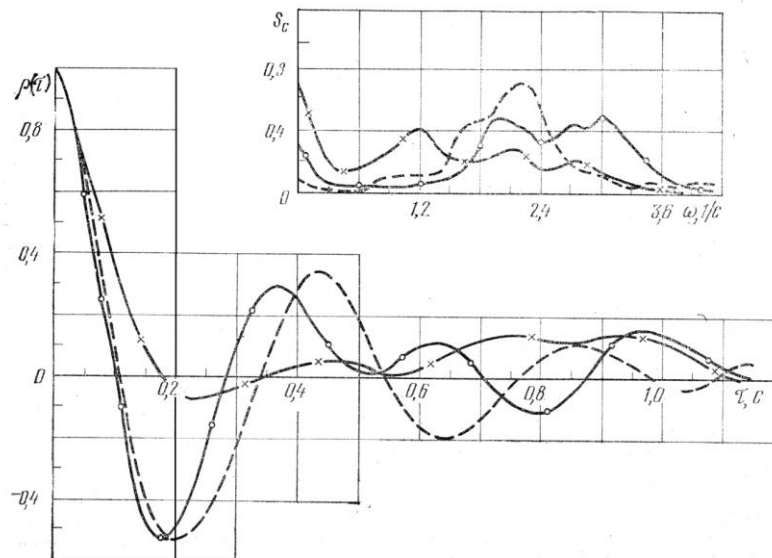


**Рис. 3.** Нормовані кореляційні функції і спектральні густини процесів вертикальних зусиль на півосях поворотних цапф при русі трактора без начіпних і причіпних машин-знарядь і додаткових вантажів:

—○— - розбитим ґрунтовим шляхом ( $v = 5$  м/с), —х— - полем поперек борозн від старої оранки ( $v = 2,4$  м/с).

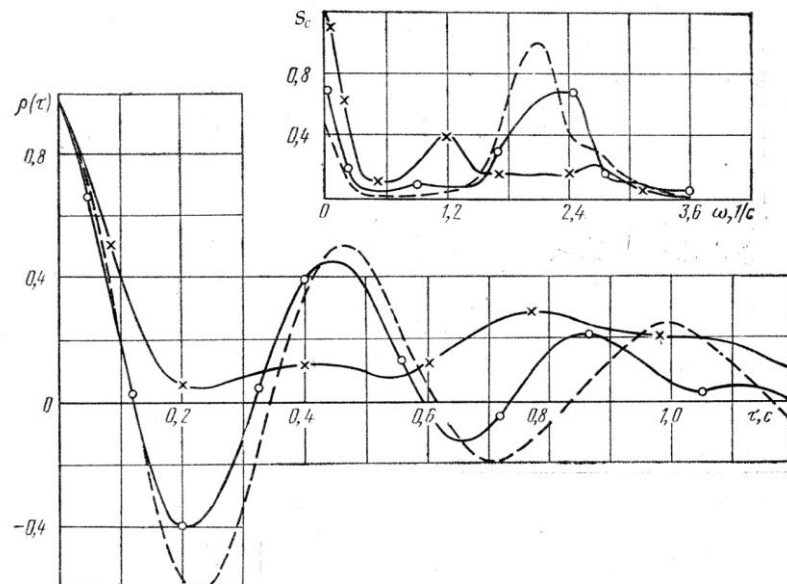
З графіків також видно, що в якісному відношенні  $\rho(\tau)$  та  $S_c$  процесів напруг в балці переднього мосту і рукавів заднього мосту досить близькі. Це підтверджує взаємозв'язок коливань передньої і задньої частин трактора. Основна частина енергій спектру процесів навантаження досліджуваних параметрів знаходиться в діапазоні 0 - 3,6 Гц, тобто, у діапазоні зміни нижчої частоти власних коливань підресорених мас трактора. Максимальні значення коефіцієнтів динамічності  $K_{д\max}$  для елементів переднього мосту отримані під час руху трактора з плугом полем поперек борозен і розбитим ґрунтовим шляхом і відповідно дорівнюють для зусиль на півосях поворотних цапф - 7,38 і 6,59; на осі гойдання - 5,75 і 4,78; для напруг в передній балці - 6,49 і 5,12. Для напруг в рукавах півосей заднього моста  $K_{д\max}$  отримані під час руху трактора розбитим ґрунтовим шляхом з причепом і дорівнюють 4,03. Характер графіків  $\rho(\tau)$  та  $S_c$  випадкових процесів зміни зусиль і напруг під час руху трактора без знарядь і вантажів, а також з вантажами і причепом в якісному відношенні однаковий, однак амплітудний складу випадкових процесів навантаження різний. Рух трактора з плугом характеризується збільшенням часу кореляційного зв'язку  $\rho(\tau)$  і зсувом максимуму

спектральної густини  $S_c$  в зону низьких частот (0 - 0,15 Гц) порівняно з іншими режимами.



**Рис. 4.** Нормовані кореляційні функції і спектральні густини процесів напруг в рукаві півосі заднього моста при русі трактора:

—○— - розбитим ґрунтовим шляхом без начіпних і причіпних машин-знарядь і додаткових вантажів ( $v = 4,2$  м/с); - - - - полем поперек борозен від старої оранки ( $v = 2,4$  м/с); —х— - розбитим ґрунтовим шляхом з плугом ( $v = 4,2$  м/с).



**Рис. 5.** Нормовані кореляційні функції і спектральні густини процесів напруг в рукаві півосі заднього моста при русі: —○— - розбитим ґрунтовим шляхом без начіпних і причіпних машин - знарядь і додаткових вантажів

( $v = 4,2$  м/с), - - - - - полем поперек борозен від старої оранки ( $v = 2,4$  м/с), —х—- розбитим ґрунтовим шляхом з плугом ( $v = 4,2$  м/с).

**Висновки.** Максимальні значення параметрів навантаженості елементів переднього мосту трактора зареєстровані під час руху розбитим ґрунтовим шляхом без навісного плуга з вантажами на передньому брусі при швидкості 5,0 м/с. Під час руху трактора з плугом і без плуга параметри навантаження відрізняються не більш ніж на 18 %, хоча статичне навантаження на передньому мосту трактора з плугом в 1,6 рази менше ніж без плуга.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дмитриченко С. С., Завьялов Ю. А., Артемов В. А. Оценка нагруженности ходовой системы колесного трактора. – Тракторы и сельхозмашины, 1985, №12, с. 9 – 13.
2. Завьялов Ю. А. Исследование нагруженности ходовой системы колесного трактора методами теории случайных функций. – Межвузов. Сб. научн. Тр. – М.: МАМИ, 1985, с. 74 – 89.

## О НАГРУЖЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ

Артемов В. А., Конев С. В., Савченко О. Я.

**Ключевые слова:** трактор, нагруженность, ходовая система, колебания/

### Резюме

*Обобщены статистические данные об эксплуатационной нагруженности ходовой системы трактора МТЗ-80.*

## ON LOAD SUSPENSION SYSTEMS ELEMENTS WHEELED TRACTORS

Artemov V. A. , Konev S. V., Savchenko O. Y

**Key words:** tractor, load, elements suspension systems, fluctuations.

### Summary

*Statistics from the operating system workload running tractor MTZ-80.*