

## Література

1. Бумага О. Д., Горбаха М. М. До визначення передаточних відношень коробки передач автобуса ЛАЗ-695, що працює на газоподібному паливі. *Вісник Національного транспортного університету та Транспортної академії України*. Київ, 2002. Вип. 7. С. 340–344.
2. Сахно В. П., Бумага О. Д. До визначення показників тягово-швидкісних властивостей автобуса ПАЗ-3205, що працює на газоподібному паливі. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Наукові праці КДПУ*. Кременчук: КДПУ, 2003. Вип. 4 (21). С. 86–88.
3. Сахно В. П., Павленко О. В., Горбаха М. М. Аналіз ефективності оптимізації передаточних чисел трансмісії автомобілів КрАЗ за різними критеріями оптимальності. *Вісник Північного наукового центру транспортної академії України*, 2002. №5. С. 73–75.
4. Криворот А. І. Визначення зовнішньої швидкісної характеристики двигуна ЗМЗ-4063 при роботі на генераторному газі. *Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні: наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції, 15–18 жовтня 2019 р.* Харків: ХНАДУ, 2019. С. 190–193.

Міщенко Ігор Вікторович, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Купцова Анастасія Вікторівна, студентка, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ВИПАДКОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Для великої кількості транспортних засобів характерною особливістю є робота в умовах випадкового кінематичного навантаження, яке викликано як природними причинами, так і причинами штучного походження. Нерівності профілю доріг, наявність певних пошкоджень, віковий вплив на стан доріг, відсутність доріг як таких (наприклад, під час пересування техніки сільськогосподарчого призначення по полях) є джерелом випадкового навантаження, причому ефект дії випадкових навантажень грає істотну, а іноді і визначальну роль. Існуючі компенсаторні механізми, різні демпфери зменшують вказаний вплив, але повністю подолати проблему неможливо. Транспортні засоби відрізняються за призначенням, масогабаритними характеристиками, жорсткістю конструкції, умовами експлуатації як за швидкістю, так і навантаженням. Розуміння випадкового характеру зовнішнього навантаження призводить до необхідності вирішення задачі статистичної динаміки для визначення характеристик напружено-деформованого стану в елементах конструкцій транспортних засобів.

Отримані результати представляють самостійний інтерес, одночасно є початковою інформацією для вирішення задач надійності при поступових відмовах, на долю яких припадає близько 80% усіх відмов машин, апаратів і конструкцій. У елементах транспортного засобу відбувається накопичення в них різного роду пошкоджень (втома, зростання тріщин, знос тощо), аналіз яких і визначення їх рівня є необхідним для визначення можливості подальшої експлуатації. Розрахунок транспортних засобів на вібрацію при русі з урахуванням нерівностей дороги розглянуто в роботах [1-3], вирішення задачі надійності для елементів конструкцій при циклічному навантаженні і різних фізичних моделях відмов на основі двовимірних марковських моделей розглянуто в роботі [4].

При русі з урахуванням зовнішньої випадкової кінематичної дії передбачається, що остання представляє стаціонарний нормальний випадковий процес із спектральною щільністю в діапазоні 0...50 Гц (рис. 1) і відомим розподілом ударних прискорень при перевезеннях по дорогах різної якості.

Аналіз відомих гістограм прискорень при визначенні навантаженості вузлів, що несуть, і деталей автомобіля (рух по ґрунтовій дорозі, старому засипаному щебнем шосе, бетонованій автостраді) показує (рис. 2) діапазон зміни прискорень від  $a_{max} = 8 \text{ м/с}^2$  до  $a_{min} = -8 \text{ м/с}^2$ . Спектральна щільність в інтервалі 0...20 Гц на один-два порядку перевищує рівень спектральної щільності за межами вказаного діапазону.

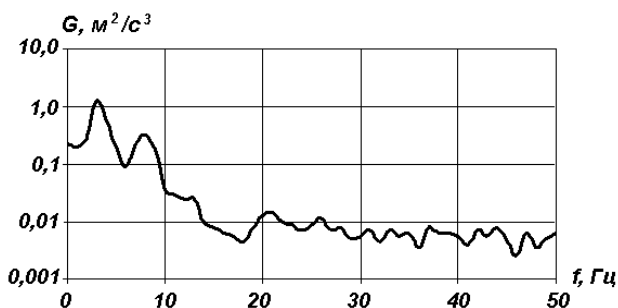


Рисунок 1 – Спектральна щільність

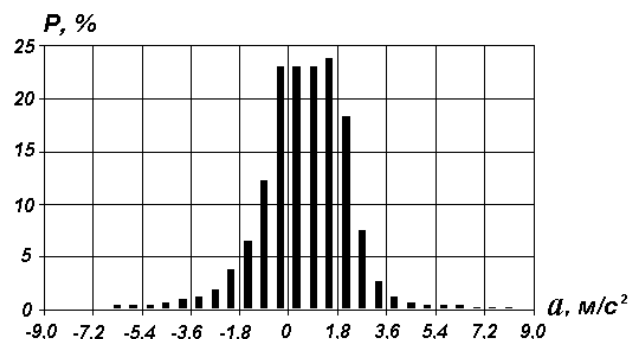


Рисунок 2 – Гістограма прискорень

Транспортний засіб є конструкцією, що складається з елементів різної жорсткості, власні частоти яких знаходяться в діапазоні від одиниць до декількох сотень герц. Вузли транспортного засобу сприймають як бічні, так і вертикальні вібрації, причому це відбувається при русі як з відносно невеликими швидкостями, так і при швидкості більше 50 км/год. При цьому вертикальні вібрації є домінуючими, що в 2-3 рази перевищують бічні. Після вирішення задачі визначення переміщень елементів конструкції визначаються імовірнісні характеристики деформацій, з виділенням переважаючих - розтягування-стискування або вигин, і компонент напружень.

Для повного опису процесу руйнування необхідно мати в розпорядженні два різні рівняння пошкоджень, одно з яких відноситься до першої стадії розсіяних пошкоджень, друге – до другої стадії локальних пошкоджень. Крім того, необхідно ще встановити умови завершення першої і початку другої стадії, що закінчується повним руйнуванням конструкції при досягненні тріщинами їх критичних розмірів. Проте в переважній більшості випадків ресурс роботи оцінюють на основі розгляду тільки однієї з названих стадій.

При поступових відмовах в якості компонент вектору параметрів працездатності  $z(t)$  зручно узяти міри пошкоджень в заданих точках конструкції, що відповідають різним моделям поступових відмов. Причому, кожна міра пошкоджень  $z(t)$ , як правило, нормується  $0 \leq z(t) \leq 1$ . У початковий момент часу  $z(0) = 0$ , а у момент руйнування  $t = t_*$   $z(t_*) = 1$ . Кінетичні рівняння пошкоджень, що описують процес накопичення пошкоджень при поступових відмовах механічного походження, в найзагальнішому вигляді можна представити у вигляді [4]

$$dz(t)/dt = F[z(t), \lambda(t), \mathbf{R}(t), \mathbf{C}(t)],$$

(1)

де  $z(t)$  – міра пошкоджень;  $F[\cdot]$  – детермінована невід’ємна для кумулятивних моделей відмов скалярна лінійна або нелінійна функція;  $\lambda(t)$  – амплітудне значення параметра напружено-деформованого стану при простому гармонійному навантаженні;  $\mathbf{R}(t)$  – вектор параметрів базових залежностей;  $\mathbf{C}(t)$  – вектор параметрів, що характеризують вплив зовнішнього середовища.

Кінетичні рівняння (1) можна класифікувати залежно від закладеної в них моделі: лінійної, нелінійної, автотельної тощо. При розгляді другої стадії процесу руйнування при поступових відмовах, на якій відбувається зростання одній або ряду магістральних тріщин, використовуються підходи механіки руйнування, що дозволяють в часі описувати поширення тріщин від втомленості.

Для класу поступових відмов, що відбуваються в елементах конструкцій внаслідок порушення втомної міцності, процес накопичення пошкоджень від  $z_0$  до 1 знаходиться в інтервалі  $10^2$ - $10^7$  циклів, що охоплює області мало- і багатоциклової втоми. Такий значний часовий діапазон є наслідком малої швидкості зміни  $z(t)$  в одиницю часу. Можна стверджувати [4], що  $[z(t), \lambda(t)]$  представлятиме двовимірний марковський процес, одновимірна щільність вірогідності якого  $f(z, \lambda, t)$  задовольняє рівнянню Фоккера-Планка-Колмогорова

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial \lambda} [A_1(\lambda)f] - \frac{\partial}{\partial z} [A_2(\lambda, z)f] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} [B(\lambda)f]$$

(2)

з граничними і початковими умовами, які формулюються виходячи з фізичної суті задачі.

Таким чином, з рішення рівняння (2), яке базується на методі характеристичних функцій, можна визначити одновимірну щільність вірогідності міри пошкоджень  $f(z, t)$ , за якою визначаються усі основні показники надійності для кумулятивних моделей накопичення пошкоджень: вірогідність безвідмовної роботи  $P(t)$  і щільність вірогідності відмов  $q(t)$

$$P(t) = \int_0^1 f(z, t) dz ; \quad q(t) = -dP(t)/dt = -\int_0^1 df(z, t)/dt dz, \quad (3)$$

а також середній час  $m_T$  і дисперсія часу  $\sigma_T^2$  до руйнування

$$m_T = \int_0^\infty tq(t)dt ; \quad \sigma_T^2 = \int_0^\infty t^2q(t)dt - m_T^2. \quad (4)$$

### Література

1. Николаенко, Н.А. Статистическая динамика машиностроительных конструкций [Текст] / Н.А. Николаенко, С.В. Ульянов. – М.: Машиностроение, 1977. – 368 с.
2. Федоров, Д.И. Надежность рабочего оборудования землеройных машин [Текст] / Д.И. Федоров, Б.А. Бондарович. – М.: Машиностроение, 1981. – 280 с.
3. Гусев, А.С. Расчет конструкций при случайных воздействиях [Текст] / А.С. Гусев, В.А. Светлицкий. – М.: Машиностроение, 1984. – 240 с.
4. Жовдак, В.А. Прогнозирование надежности элементов конструкций с учетом технологических и эксплуатационных факторов [Текст] / В.А. Жовдак, И.В. Мищенко. – Харьков: ХГПУ, 1999. – 120 с.

Осетров Александр Александрович, к.т.н., доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», [osetrov2010@gmail.com](mailto:osetrov2010@gmail.com)  
Чучуменко Богдан Сергійович, молодший науковий співробітник, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», [potia1925@gmail.com](mailto:potia1925@gmail.com)

### МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА ПРОЦЕС ЙОГО РОЗГОНУ

Одним з важливих показників якості руху транспортного засобу є його прийомистість, яка характеризується часом розгону автомобіля до 100 км/год. Від прийомистості залежать комфортність керування автомобілем, його комерційні якості, отже, поліпшення динамічних властивостей є однією з ключових завдань розробників транспортної техніки.

Прийомистість залежить від багатьох параметрів - максимальної потужності двигуна внутрішнього згорання, маси автомобіля, параметрів