

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ З ВРАХУВАННЯМ СКЛАДНИХ ДОРОЖНІХ УМОВ

Наземні роботизовані комплекси (НРК) мають незначну масу та габарити. НРК працюють без участі людини в складних і невизначених дорожніх умовах. Дія дорожніх умов впливає на працездатність та функціональні можливості комплексу. Тому дослідження динамічних процесів у рухомих НРК є актуальним.

В останніх дослідженнях і публікаціях значну увагу приділено питанням динамічних переміщень в мобільних роботах. Досліджені процеси в шасі та динамічні процеси в маніпуляторах. Однак в літературних джерелах відсутні дослідження впливу складних дорожніх умов на динамічні переміщення основних вузлів НРК. Тому метою досліджень поставлено узагальнення видів складних дорожніх умов, їх математичний опис та встановлення статистичних характеристик динамічних переміщень НРК. Основним методом дослідження впливу дорожніх умов на роботизований комплекс прийнято математичне моделювання.

Здійснено аналіз дорожніх умов для побудови математичних моделей. Виділені типові дороги різного виду, пересічена поверхня, бездоріжжя, міська забудова та робота комплексу в середині приміщень. Дорожні умови розділені на дві групи. До першої віднесені квазістаціонарні умови, при яких дорожнє покриття має плавно змінні в часі характеристики. До другої групи віднесені умови бездоріжжя із різко змінними нестационарними змінами параметрів. Зокрема, це долання перешкод у вигляді виступів, траншей, сходинок, тощо. Виділено характерні перешкоди одиничного виду та перешкоди у вигляді сходинок (рис. 1).

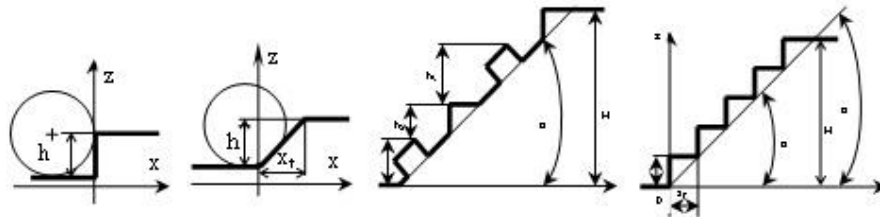


Рис. 1. Характерні види ступінчастих нерівностей по яким рухається комплекс

Математичний опис ізольованих нерівностей описано сумою одиничних ступінчастих функцій:

$$z(x) = \sum_{i=1}^N z_{mi} 1(x - x_i)$$

Для раціоналізації процесу математичного моделювання запропоновані математичні моделі профілів у вигляді рядів складених із кусково-постійних ортогональних функцій Уолша:

$$z(x) = k = 1 \sum_{k=1}^N a_k^* \text{cal}\left(k, \frac{t}{T}\right) + b_k^* \text{sal}\left(k, \frac{t}{T}\right)$$

Опис профіля колії ортогональними функціями Уолша оптимізує процедуру обчислень при забезпеченні необхідної точності розрахунків.

Проведено моделювання другої групи дорожніх умов характерних для бездоріжжя. Побудовані математичні моделі ізольованих та періодичних нелінійних профілів колії. Ізольовані гладкі виступи описані косинусоїдою та кривою Гауса:

$$z(x) = \pm \left[1 - \cos\left(2\pi \frac{x}{x_T}\right) \right] h_m, \quad z(x) = \pm h_m e^{-\frac{(x-x_T)^2}{2\sigma_x^2}}$$

де h_m – амплітуда нерівності; x_T , σ_x – характерні розміри ізольованої нерівності.

Опис нелінійних періодичних та квазіперіодичних ізольованих нерівностей також здійснено полігармонічними функціями. Для цього використані ряди Фур'є. При описі ступінчастого профіля колії рядом Фур'є враховано явище Гібса, що полягає у штучному введенні високочастотних осциляцій процесу. При цьому некоректно поставлена задача стосовно нескінченного ряду Фур'є регуляризується. Математичний опис однієї колії узагальнено на математичний опис двох взаємопов'язаних колій. Розглянуті особливості взаємодії двох паралельних колій дороги по яким рухається роботизований комплекс (рис. 2).

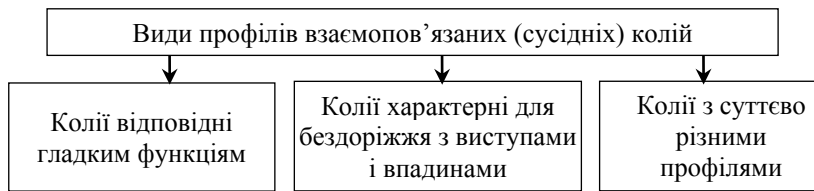


Рис. 2. Елементи класифікації пар колій по яким рухається НРК

Розглянуті особливі випадки поєднання профілів взаємопов'язаних сусідніх колій. Зокрема, коли одна із колій є прямолінійною. Досліджено поєднання колій, які забезпечують резонансні коливання комплексу у поздовжньому та поперечному напрямках. Проведено взаємний кореляційний аналіз випадкових профілів двох колій. Встановлено умови виникнення статистичних резонансних режимів руху комплексу.

При моделюванні дії дорожніх умов враховано взаємодію колісного або гусеничного шасі НРК із дорожнім покриттям (рис. 3).

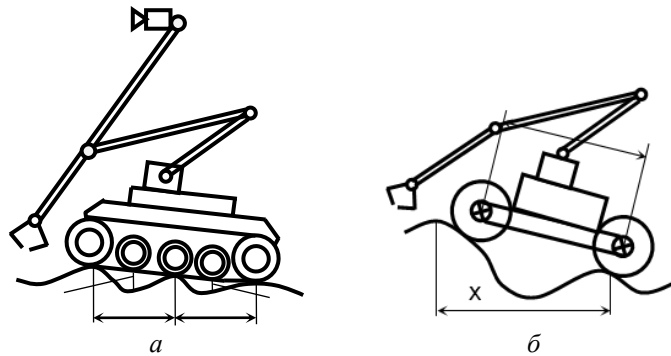


Рис. 3. Схема постійного контакту (а) шасі із дорожнім покриттям та періодичного контакту (б)

В процесі досліджень визначено статистичні характеристики випадкового вібропришвидшення шасі. Встановлено особливості випадкових вібропереміщень комплексу. Знайдено осереднений спектр потужності випадкових коливань (рис. 4).

Встановлено, що випадкові коливання шасі мають височастотну та низькочастотну і резонансні області відповідні власним частотам динамічної системи шасі НРК.

В результаті математичного моделювання визначена динамічна дія різноманітних дорожніх умов на наземний роботизований комплекс.

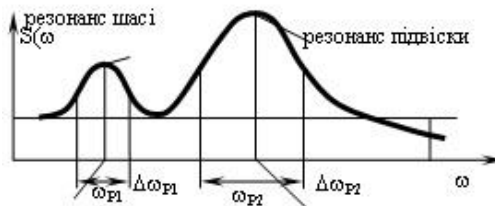


Рис. 4. Розрахункова спектральна щільність вібропришвидшень шасі наземного роботизованого комплексу