

УДК 78.21.49.03

Моделювання впливу дорожніх умов на функціонування наземного роботизованого комплексу

Струтинський¹ В.Б., Гусяков² О.М., Юрчишин¹ О.Я.

1-КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

2- ЦНДІ ОВТ ЗС України, Київ, Україна

Анотація: Запропоновано метод моделювання дії дорожніх умов на наземний роботизований комплекс спеціального призначення. Проведено аналіз дорожніх умов різного виду та їх вплив на прохідність, плавність руху та курсову стійкість руху наземного роботизованого комплексу. Дорожні умови розбиті на дві групи: дорожні покриття із плавно змінним профілем та різко змінні профілі дороги. Встановлено особливості дорожніх умов по групам. Для доріг першої групи розглянуті питання зміни дорожніх умов внаслідок силових факторів та погодних умов. Розглянута взаємодія колісного та гусеничного шасі комплексу із дорожніми покриттями. Враховано наявність періодичного контакту коліс або гусениць із нерівностями дороги. Побудовані математичні моделі профіля дороги у вигляді детермінованих та випадкових функцій. Опис дорожнього полотна доріг першої групи здійснено за допомогою полігармонічних функцій із детермінованими або випадковими амплітудами, частотами та початковими фазами. Запропоновані раціональні методи моделювання дорожніх умов кусково-постійними процесами, складеними із ортогональних кусково-постійних функцій Уолша. Розроблені математичні моделі суттєво нелінійних видів дорожніх умов типу сходинок.

Ключові слова: наземний роботизований комплекс; дорожні умови; моделювання; профіль дороги; шасі

Наземні роботизовані комплекси (НРК) спеціального і військового призначення. Легкого класу мають незначну масу (до 100 кг) та габарити (до 1 м), при цьому повинні діяти на пересіченій місцевості і в місті без участі людини. Переміщення і позиціонування мобільних НРК відбувається в складних і невизначених дорожніх умовах. Ці дорожні умови впливають на мобільність, працездатність та функціональні можливості НРК. Для дослідження впливу дорожніх умов на ефективність НРК застосовуються теоретичні та експериментальні методи [1, 2]. Математичне моделювання є доцільним методом дослідження впливу дорожніх умов на особливості функціонування НРК в жорстких умовах навколишнього середовища. Спроможність мобільних НРК рухатись по різних типах доріг та поверхні землі характеризується їх прохідністю [3, 4]. Сукупність властивостей місцевості, які сприяють переміщенню по ній НРК або обмежуючих можливості їх переміщення називають прохідністю місцевості. Прокідність місцевості залежить від її рельєфу, рослинності, гідрографічної мережі, характеру ґрунтів, а також від пори року та метеорологічних умов.

Аналіз характеристик відомих НРК легкого класу вказує на існуючі недоліки конструкцій шасі та не відповідність цих НРК тактико-технічним вимогам, що висуваються до них у сучасних умовах. Тому дослідження щодо моделювання дії дорожніх умов на рух НРК та щодо раціонального вибору типу рушія перспективних НРК є актуальними.

Для побудови математичних моделей переміщення НРК проведено аналіз дорожніх умов. Здатність переміщення мобільного НРК у визначених ґрунтових умовах оцінюється виразом [1]:

$$P = \varphi - f > \operatorname{tg} \alpha,$$

де P – критерій прохідності; φ – коефіцієнт зчеплення коліс з ґрунтом; f – коефіцієнт опору руху, α – кут підйому.

В роботі розглянуті дороги різного виду. Особливу увагу приділено впливу складних дорожніх умов на динамічні процеси у різних системах та елементах НРК. Виділені типові дороги різного виду, пересічена поверхня, бездоріжжя, міська забудова та робота НРК 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 НРК у вигляді виступів, траншей, ескарпів, сходинок, схилів тощо.

Для дорожніх умов першої групи виконано аналіз видів дорожнього покриття колій по яким рухається комплекс. Визначено характеристики змін дорожнього покриття в часі (рис. 1).

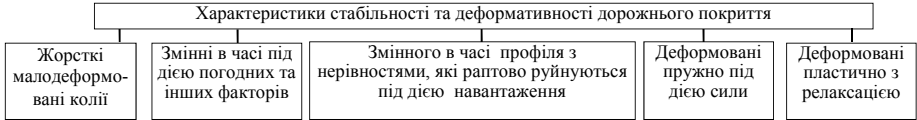


Рис. 1. Якісні характеристики окремих видів квазістационарних дорожніх умов

Взаємодія колісного або гусеничного рушія базового шасі з нерівностями колії залежить від співвідношення елементів характерних розмірів рушія базового шасі та нерівностей дороги. При цьому має місце неперервний або періодичний контакт колес чи гусениць з нерівностями дороги (рис. 2).

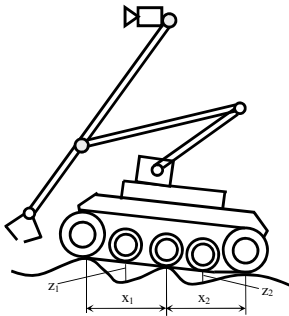


Рис. 2. Періодичний контакт гусениці із виступами колії при переміщенні НРК по нерівній дорозі

Періодичний контакт гусениці по нерівній дорозі має місце в окремих точках на виступах колії і здійснюється періодично із кроком x_1, x_2 . При цьому впадини профіля z_1, z_2 мало впливають на шасі мобільного НРК.

Для мобільного НРК із колісним рушієм має місце як точковий, так і неперервний контакт колеса із поверхнею дороги. Точковий контакт спостерігається у випадку, коли період нерівностей дороги x_A порівняний із діаметром колеса d (рис. 3а).

Неперервний контакт колеса із дорожнім покриттям характерний для випадків, коли розміри колеса набагато менші періода нерівностей дороги x_b із врахуванням форми області контакту деформованої поверхні колеса НРК та поверхні колії.

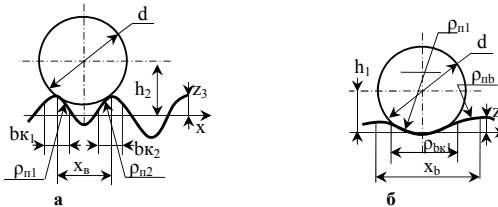


Рис. 3. Точковий (а) та неперервний (б) контакт колеса з нерівностями дороги (б) при переміщенні колісного НРК

Для моделювання дії дорожніх умов першої групи профілі окремої колії описані детермінованими або випадковими функціями. Для детермінованих дорожніх умов здійснено опис профіля колії відрізком ряду Фур'є:

$$z(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega_0 x) + b_k \sin(k\omega_0 x).$$

де z – поточна висота дорожнього полотна в точці з координатою x ; a_0, a_k, b_k – коефіцієнти ряду Фур'є; ω_0 – параметр, що визначає характерний період зміни висоти профіля дороги.

Коефіцієнти ряду, пов'язані із профілем дороги $z(x)$:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T z(\tau) \cos(k\omega_0\tau) d\tau, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_0^T z(\tau) \sin(k\omega_0\tau) d\tau.$$

В загальному вигляді опис профіля дороги здійснено полігармонічною функціональною залежністю:

$$z(x) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \sin(k\omega_0x + \psi_{0k}),$$

де A_k та ψ_{0k} – амплітуди і початкові фази окремих гармонічних складових профіля дороги.

Дані параметри визначаються через коефіцієнти ряду Фур'є:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \psi_{0k} = \arctg b_k/a_k.$$

Для моделювання дорожнього покриття випадкового виду запропоновано визначити профіль колії гармонічним рядом з випадковими коефіцієнтами:

$$x^*(t) = c_0^* + \sum_{k=1}^{\infty} a_k^* \cos k\omega_0t + b_k^* \sin k\omega_0t.$$

Коефіцієнти c_0^* , a_k^* та b_k^* в процесі математичного моделювання задаються генераторами випадкових чисел із відповідними законами розподілу.

З метою спрощення математичного моделювання стохастичні профілі описані кусочно-постійними випадковими процесами. При цьому застосовані ряди складені із одиничних ступінчастих функцій:

$$x^*(t) = \sum_{k=0}^N a_k^* 1(t - k\Delta t).$$

де a_k^* - випадкові зміни нерівностей дороги; Δt – характерний проміжок часу, який визначає зміни дорожнього полотна.

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

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

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. Розглянуті виступи сідчастого виду.

Математичний опис ізольованих нерівностей описано сумою ступінчастих функцій.

Опис нелінійних періодичних та квазіперіодичних ізольованих нерівностей також здійснено полігармонічними функціями. Для цього використані ряди Фур'є.

Проведений аналіз дозволяє обґрунтувати попередні пропозиції щодо конструктивних особливостей базового шасі та вибору типу рушія (колісний, гусенічний або комбінований) перспективних мобільних НРК високої прохідності.

Встановлено, що випадкові коливання шасі мобільного НРК легкого класу у вертикальній та горизонтальній площині мають високочастотну та низькочастотну резонансні області відповідні власним частотам динамічної системи роботизованого комплексу.

В результаті математичного моделювання визначений вплив динамічної дії різноманітних дорожніх умов на шасі НРК що є необхідною передумовою до обґрунтування технічного обрису і вимог до шасі і рушія перспективних вітчизняних НРК військового і спеціального призначення.

Моделирование влияния дорожных условий на функционирование наземного роботизированного комплекса

Струтинский В.Б., Гуслияков О.М., Юрчишин О.Я.

Аннотация: Предложен метод моделирования действия дорожных условий на наземный роботизированный комплекс специального назначения. Проведен анализ дорожных условий различного вида и их влияние на проходимость, плавность движения и курсовую устойчивость движения наземного роботизированного комплекса. Дорожные условия разбиты на две группы: дорожные покрытия с плавно изменяемым профилем и резко переменные профили дороги. Установлены особенности дорожных условий по группам. Для дорог первой группы рассмотрены вопросы изменения дорожных условий в результате силовых факторов и погодных условий. Рассмотрено взаимодействие колесного и гусеничного шасси комплекса с дорожным покрытием. Учтено наличие периодического контакта колес или гусениц с неровностями дороги.

Построены математические модели профиля дороги в виде детерминированных и случайных функций. Описание дорожного полотна дорог первой группы осуществлено с помощью полигармонических функций с детерминированными или случайными амплитудами, частотами и начальными фазами. Предложены рациональные методы моделирования дорожных условий кусочно-постоянными процессами, сложенными из ортогональных кусочно-постоянных функций Уолша. Разработаны математические модели существенно нелинейных видов дорожных условий типа ступенек.

Ключевые слова: наземный роботизированный комплекс; дорожные условия; моделирование; профиль дороги; шасси

Simulation of road conditions on the ground robotic complex

Strutinsky V., Gusliakov O., Yurchyshyn O.

Abstract: A method for modeling the action of road conditions on a ground-based robotic complex for special purposes. An analysis of the road conditions of various types and their influence on the cross-country ability, smoothness of movement and directional stability of the movement of the ground-based robotic complex. Road conditions are divided into two groups: road surfaces with a continuously variable profile and sharply variable road profiles. The features of road conditions in groups are established.

For roads of the first group, the issues of changing road conditions as a result of power factors and weather conditions are considered. The interaction of the wheeled and tracked chassis of the complex with the road surface is considered. The presence of periodic contact of wheels or tracks with road irregularities has been taken into account.

Constructed mathematical models of the road profile in the form of deterministic and random functions. The road cloth of the roads of the first group was described using polyharmonic functions with deterministic or random amplitudes, frequencies, and initial phases. Rational methods for modeling road conditions by piecewise constant processes composed of orthogonal piecewise constant Walsh functions are proposed. Mathematical models of essentially nonlinear types of road conditions such as steps have been developed.

Key words: ground-based robotic complex; road conditions; modeling; road profile; chassis

Література:

1. Paul Ritzen, Erik Roebroek, Nathan van de Wouw, Zhong-Ping Jiang. Trailer Steering Control of a Tractor-Trailer Robot / *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (Volume:24, Issue:4), 2016.pp. 1240 – 1252.
2. Strutynskiy S., Kravchuk V., Semenchuk R., Mathematical modelling of a specialized vehicle caterpillar mover dynamic processes under condition of the distributing the parameters of the caterpillar / *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4/3) (2018), pp. 40-46.
3. Strutynskiy V.B., Hurzhi A.A., Kolot O.V., Polunichiev V.E. Determination of development grounds and characteristics of mobile multi-coordinate robotic machines for materials machining in field conditions / *Scientific Bulletin of the National Mining University*. – Dnipro, 2016. - №5 (155). - с.43-51.
4. Strutynskiy S. Defining the dynamic accuracy of positioning of spatial drive systems through consistent analysis of processes of different range of performance / *Scientific Bulletin of the National Mining University*. – Dnipro, 2018 -№3. – pp.. 64 – 73.