

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **Д.В. Голуб**, доц., канд. техн. наук
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*
e-mail: AulinVV@gmail.com, Dimchik529@gmail.com

Обґрунтування механізму функціонування мехатронної системи склоочищення автомобіля

В статті обґрунтовано чотириохланковий механізм мехатронної системи склоочищення автомобіля на основі аналізу параметрів закономірності руху щітки по склу і визначення можливості управління ними через мехатронні інтерфейси даної системи. Представлено математичну модель механізму склоочищення в середовищі Matlab/Simulink та проведений його кінематичний синтез.
мехатронна система, моделювання, механізм склоочищення, автомобіль, щітки, гумовий елемент, передатний механізм, кут відхилення

Постановка проблеми. Зі збільшенням швидкостей та щільності руху автомобілів на дорогах нерідко виникають ситуації, коли ручне управління режимом роботи склоочисників значно підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій транспортного процесу відволікаючи водія [1]. Режими роботи даних пристроїв жорстко регламентовані, що є не зовсім економічно ефективним і призводить до передчасного зносу частин механізмів, зокрема гумових елементів склоочисника. В зв'язку з цим і були розроблені мікропроцесорні системи автоматичного управління склоочисником, в яких роль сенсора виконував датчик дощу, яким на сьогоднішній день обладнані практично всі автомобілі середнього і вищого цінового класу.

Більшість подібного роду систем, засновані на використанні як датчиків оптичних систем, практично не здатні відрізнити сухий бруд на склі від забрудненої води, що призводить до перевантаження склоочисників у разі попадання на скло усохлого важкорозчинного бруду [2]. Зазначимо, що практично усі оптичні системи контролюють обмежену площу вітрового скла, що призводить до неадекватної роботи системи у разі локального забруднення, збільшення ж числа датчиків на склі погіршує огляд водієві і ускладнює систему регулювання, що збільшує її вартість. Саме ці чинники роблять актуальними дослідження в області дослідження автомобільних мехатронних систем склоочищення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз відомостей з літератури і публікацій як по проблемах створення систем склоочищення, так і по загальних проблемах моделювання і проектування автомобільних мехатронних систем [3-6], показав, що такий підхід до підбору джерел визначається тим, що дана система, безумовно маючи усі ознаки мехатронної, ніколи не описувалася в термінах мехатроніки.

Оскільки в якості виконавчого механізму системи управління склоочисником використовуються різноманітні щітки, то основні функції щітки полягають в рівномірному розподілі сили притискання до скла через систему важелів і опорі спливанню при русі по склу [7]. Важливу роль в забезпеченні чистоти скла і комфорту руху відіграє структура і властивості матеріалу гумового елемента щітки склоочисника.

Датчиками включення для цієї системи можуть виступати оптичні або ємнісні датчики дощу. Зважаючи на вузькість робочих частот регулювання коливань щіток склоочисника можливості їх використання для інтелектуального управління системою обмежені. Також в системі використовуються кінцеві датчики положення щітки і сенсори контролю режиму роботи двигуна [8].

Протягом останніх 10 років було опубліковано велику кількість праць, в яких у якості основних напрямів підвищення ефективності функціонування мехатронної системи склоочиснення автомобілів розглядається вдосконалення системи управління і алгоритмів її роботи, а також поліпшення властивостей гумового елемента щітки склоочисника [9, 10]. Набагато менша увага приділяється дослідженню впливу на якість роботи системи передатного механізму. Дослідження в цій області направлені, в основному, на зміну геометрії області очищення вітрового скла [11]. Питання ж впливу конструктивних параметрів передатного механізму на якість очищення скла практично не розглядалися. В той же час саме передатний механізм визначає закон руху щітки по скла, що робить прямий вплив на процеси напіврідного тертя щітки по скла, а відповідно і на якість очищення скла і знос елементів щіток.

Постановка завдання. Метою даної роботи є обґрунтування механізму склоочиснення автомобілів на основі аналізу параметрів закономірності руху щітки по скла і визначення можливості управління ними через мехатронні інтерфейси даної системи.

Виклад основного матеріалу. Зв'язок структури мехатронної системи управління склоочисниками із суміжними підсистемами забезпечення комфорту і безпеки автомобіля представлено на рис. 1.



Рисунок 1 – Зв'язок системи склоочиснення з підсистемами забезпечення комфорту і безпеки автомобіля

Джерело: розроблено авторами

Система управління склоочисниками є мехатронною по своїй структурі і принципам функціонування. Її структура показана на рис. 2.

ІС – силовий (енергетичний) інтерфейс, який перетворює програму управління в сигнали, необхідні і зрозумілі приводу;

ІМ – механічний інтерфейс, який перетворює силову інформацію з приводу в механічний рух виконавчого механізму;

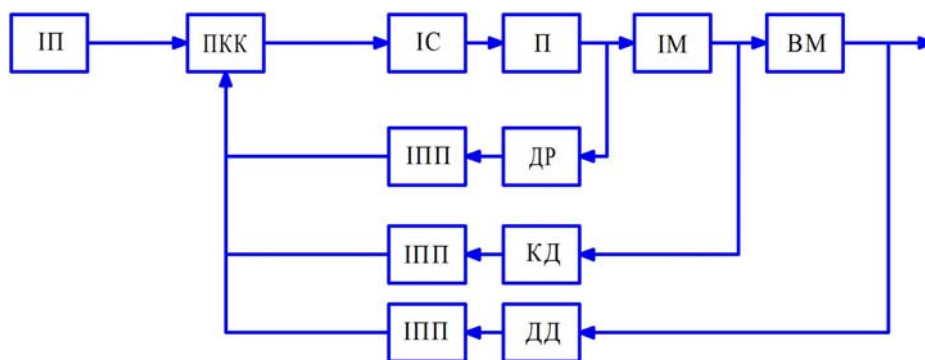


Рисунок 2 – Структура мехатронної системи склоочиснення автомобіля

Джерело: розроблено авторами

ІПП – інформаційно-програмний перетворювач, за допомогою якого здійснюється корекція програми управління для необхідної корекції закону руху;

ПКК – пристрій комп'ютерного керування, за допомогою програми якого здійснюється визначення сигналів керування для приводу склоочисника і візуалізації режиму роботи для водія;

ВМ – виконавчий механізм;

П – привід;

ДР – датчик руху;

ДД – датчик дощу;

КД – контроль двигуна.

Можна бачити, що передатний механізм склоочисника є чотириланковим. Проведений аналіз і синтез чотириланкового передатного механізму склоочисника автомобіля, каже, що він відіграє визначальну роль у формуванні закону руху щітки по склу. Унікальною особливістю роботи цього механізму є фактична відсутність режиму холостого ходу. Вона є значно важливою при оптимізації кінематичних і динамічних параметрів механізму, в першу чергу коефіцієнта середньої швидкості прямого (зворотного) ходу.

Основою для розробки механізму склоочисника є чотириланковий механізм. Кінематичний аналіз механізму полягає у визначенні руху ланок механізму по заданому руху їх початкових положень. Основними завданнями кінематичного аналізу є визначення положень ланок, включаючи і визначення траєкторій точок ланок, а також визначення швидкостей і прискорень. При вирішенні цих завдань вважаються відомими закономірності руху початкових ланок та кінематична структура механізму, тобто візуальна структурна схема механізму із зазначенням розмірів, необхідних для кінематичного аналізу.

Основною метою дослідження є обґрунтування відповідності передбачуваних кінематичних характеристик чотириланкових механізмів, заданих при їх синтезі, і при моделюванні, а також отримання динамічних характеристик механізму, які використовуються при моделюванні коливальних процесів гумового елемента щітки при русі її по склу. Середовищем моделювання вибрано пакет Matlab/Simulink розширення системи для фізичного моделювання. В результаті моделювання визначалися періоди повних коливань для прямого (зворотного) ходу, по яких визначали відношення середніх швидкостей механізмів. Результат, отриманий для системи з меншим кутом розмаху забезпечує велику точність коливання і краще співвідношення середньої швидкості прямого (зворотного) ходу. Крім того, такий механізм у меншій мірі залежить від технологічних похибок виготовлення деталей. В

той же час механізм з великим кутом розмаху має найпривабливіші кінематичні характеристики, мінімізуючи періоди руху з малою швидкістю, що знижує небезпеку виникнення автоколивальних процесів.

Для двох систем, працюючих на один кут розмаху щітки менше навантаження на опори здійснює механізм із співвідношенням середніх швидкостей прямого (зворотного) ходу ближчим до 1. Окрім переваг, пов'язаних з роботою механізму, режим роботи із співвідношенням середніх швидкостей близьким до 1 є більш вигідний з точки зору зносу робочих кромek гумового елемента склоочисника.

Проведений аналіз процесу руху щітки по склу показав, що окрім кінематичних характеристик механізму на якість роботи системи склоочиснення здійснюють значний вплив автоколивальні процеси гумового елемента щітки склоочисника. В якості спрощень для розрахунку прийняті наступні положення: верхня частина гумового елемента склоочисника і його губка вважаються абсолютно твердими тілами; шийка склоочисника вважається шарніром, на який закріплена губка гумового елемента склоочисника.

Пружність шийки враховується введенням кутової пружини, пружність якої прямо пропорційна куту повороту губки гумового елемента склоочисника. Через затиск на верхню частину гумового елемента і через неї на шарнір діє сила притиснення щітки склоочисника. У загальному випадку вона залежить від конструкції щітки склоочисника, наявності спойлера та інших факторів.

При русі з невеликою швидкістю ця сила визначається пружними властивостями притискної пружини щітки. В процесі розгону зі швидкістю більшою за 100 км/год починає великий вплив здійснювати сила аеродинамічного опору руху. Через затиск на верхню частину гумового елемента склоочисника і шарнір діє рушійна сила, яка визначається крутним моментом на вихідному валу мотор-редуктора склоочисника. У точці дотику губки із склом на неї діє сила опору скла, яку можна розкласти на дві складові: силу нормальної реакції, що чинить опір тиску притиснення, спрямовану вертикально і рівну по модулю силі притиснення щітки до скла і силу тертя, в загальному випадку залежну від властивостей скла і швидкості переміщення щітки по склу.

Диференціальне рівняння кутових коливань губки склоочисника відносно шарніра, отримане згідно з рівнянням Лагранжа, має вигляд.

$$J \cdot \ddot{\varphi} = -\mu_e \cdot \dot{\varphi} - c_e \cdot \varphi + F_{mp} \cdot (H \cdot \cos \varphi + h) + N \cdot H \cdot \sin \varphi + F_{ру} \cdot L_M, \quad (1)$$

де J – момент інерції губки склоочисника;

φ – кут відхилення губки гумового елемента від вертикалі;

c_e – еквівалентна пружність шийки склоочисника;

μ_e – еквівалентна в'язка пружність шийки склоочисника;

H, h – висота губки і шийки відповідно;

L_M – висота закріпленої в утримувачі частини гумового елемента;

$F_{ру}$ – рушійна сила;

F_{mp} – сила тертя;

N – сила нормальної реакції опори при русі.

Сила тертя гумового елемента по склу включає як сухе, так і вологе тертя і в першому наближенні дорівнює:

$$F_{mp} = \mu \cdot \omega + F_{cmp} \cdot \text{sign}(\omega), \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт вологого тертя щітки по склу;

F_{cmp} – модуль сухого тертя;

ω – кутова швидкість руху щітки по склу.

Найважливішим чинником фактором, що визначає якість очищення скла є жорсткісні і демпфуючі властивості матеріалу гумового елемента склоочисника. У диференціальному рівнянні (1) вони визначають коефіцієнти зворотних зв'язків по куту і кутовій швидкості переміщення гумового елемента, причому абсолютна величина відхилення визначається жорсткісними параметрами матеріалу гумового елемента, а вид перехідного процесу – демпфуючими. Відмітимо, що підвищення демпфуючого коефіцієнта дозволяє добитися зникнення коливальних перехідних процесів. Подальше збільшення цього відношення призводить до згладжування графіку, зниження піків перерегулювання, пов'язаних з кінематичними властивостями передатного чотириланкового механізму.

При роботі щітки з малим зносом автоколивальні процеси можуть виникати через вплив надмірної сили притиснення і при роботі в режимі сухого тертя. Мала сила притиснення щітки до скла також недопустима завдяки нездатності обмежувати амплітуду гідродинамічних збурень при роботі щітки зі значним шаром води на склі. Надмірне притискання щітки до скла призводить до підвищення зносу гумового елемента і при великих значеннях жорсткості пружини може привести до виникнення візуально помітних автоколивальних.

Режим сухого тертя найбільш несприятливий для системи склоочищення, проте виникнення близьких до нього за характеристиками режимів неминує при роботі в умовах низьких температурах і попаданні на скло бруду і пилу, або при роботі в переривчастому режимі при слабкому дощі. На підставі аналізу моделі щітки при невеликому шарі води на склі можна зробити висновки про те, що незношена щітка за рахунок демпфуючих властивостей матеріалу здатна згладжувати фрикційні автоколивання, забезпечуючи прийнятну якість очищення. Візуально помітні смуги можуть утворюватися в режимі сухого тертя на краях скла. З погіршенням властивостей гумового елемента при зносі ширина можливих областей автоколивальних розширюється. В процесі розгляду впливу гідродинамічного опору на закон руху щітки по склу, виявлено, що губка гумового елемента щітки склоочисника, спрямована під кутом 45° до скла утворює силу лобового опору її руху, яка матиме як горизонтальну, так і вертикальну складові, залежні від кута атаки губки гумового елемента щітки склоочисника.

Розглянувши сили, що діють на сектор гумового елемента, при русі його по склу, для одиничного відрізка гумового елемента отримано наступні рівняння руху, зв'язані з траєкторією руху по склу (x) і вертикаллю до неї (y):

$$m \cdot \ddot{x} = F_{px} - F_{on} \cdot \cos \alpha = m \cdot l \cdot \ddot{\varphi} - C_x \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot l^2 \cdot \varphi^2}{2} \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

$$m \cdot \ddot{y} = F_{py} - F_{on} \cdot \sin \alpha = -c \cdot y \cdot \frac{1}{l} + C_x \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot l^2 \cdot \varphi^2}{2} \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

де m – маса одиничного елемента гумової частини щітки;

α – кут атаки щітки;

l – відстань від опори склоочисника до даного елемента;

S – міделевий переріз гумового елемента;

F_{np} – сила притискання щіток склоочисників;

F_{on} – сила аеродинамічного опору руху;

φ – кутове переміщення коромисла чотириланкового механізму;

ρ – щільність рідини на склі;

c – пружність притискної пружини.

Отримані рівняння дозволяють розглянути процеси спливання гумового елемента щітки при русі по склу, з можливими відхиленнями і затримкою в русі щітки. Зазначене викликано гідродинамічним опором різних шарів води при русі щітки по склу.

Аналіз результатів досліджень свідчить, що в нормальному режимі роботи гідроопір робить незначний вплив на роботу системи. За наявності на склі значної маси води при русі щітки по склу виникають області, на яких миттєві значення параметрів руху визначаються значною мірою саме дією гідроопору. При цьому критичні зони розташовані в областях низьких швидкостей, а саме старт - зупинка системи, і мають тенденцію до розширення у міру збільшення шару води на склі.

Розгляд процесу руху щітки по склу з урахуванням регенераційного ефекту показав, що режим роботи по сліду є однією з головних причин втрати системою стійкості, зниження якості очищення і підвищеного зносу гумового елемента щітки. Проведені дослідження показали, що робота системи здійснюється по сліду, що залишається попереднім робочим ходом і наявність такого зворотного зв'язку значно знижує вібростійку системи. Для різкого підвищення вібростійкої системи склоочисника і забезпечення її надійності на усіх режимах роботи можна досягти, розриваючи зворотний зв'язок по сліду.

Здійснити умовний розрив додаткового зворотного зв'язку із запізнюванням можна двома способами. Перший ґрунтується на закономірності руху щітки по склу, щоб зрушення по фазі між слідом і коливаннями гумового елемента щітки склоочисника, дорівнював нулю. Інший пропонується спосіб підвищення вібростійкої динамічної системи склоочисника заснований на частотному зміщенні спектру сліду відносно спектру коливань гумового елемента щітки склоочисника, що обумовлює його. Розглядаючи коливання, що виникають при русі щітки по склу, як суму незалежних гармонійних складових, отримаємо, що кожна гармонійна складова спектру коливань породжує одну гармонійну складову спектру сліду з довжиною хвилі l , що визначається співвідношенням між частотою коливань і швидкістю руху щітки по склу.

Якщо змінювати при кожному ході щітки миттєві значення кутової швидкості щітки склоочисника, то виявиться, що коливання гумового елемента щітки залишають на склі «слід» з довжиною хвилі l_i , відмінної від початкової довжини хвилі, залишеної на склі попереднім робочим ходом щітки.

Відомо, що в динамічній системі існує два види збурень: зміна налаштування $y(t)$ або зовнішня дія $f(t)$. Передатні функції замкнутої системи по зовнішній дії дорівнюють:

$$W_f = \frac{x(t)}{f(t)} = \frac{W_{enc}}{1 + W_{pc}}, \quad (5)$$

де $x(t)$ – вихідна величина (амплітуда коливань гумового елемента);

$f(t)$ – кінематична або силова зовнішня дія;

W_{enc} – передатна функція еквівалентної пружної системи;

W_{pc} – передатна функція розімкненої системи.

По зміні налаштування маємо:

$$W_y = \frac{x(t)}{y(t)} = \frac{W_{pc}}{1 + W_{pc}}, \quad (6)$$

де $y(t)$ – вхідна координата (параметри налаштування руху).

$$W_{pc} = W_{enc} W_{np} (1 - W_t), \quad (7)$$

де W_{np} – передатна функція процесу руху щітки по склу;

W_t – передатна функція ланки додаткового зворотного зв'язку із запізнюванням.

В динамічній системі процес поділяється на два робочих ходи:

$$A \cdot \sin(\omega t) \Rightarrow A_1 \cdot \sin(\omega t + F_1) - 1\text{-й робочий хід};$$

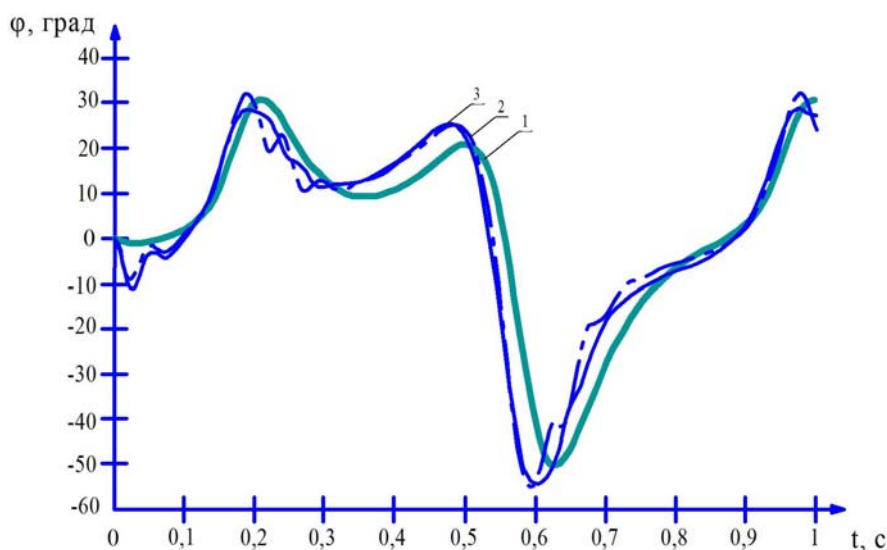
$$A \cdot \sin(\omega t) + A_1 \cdot \sin(\omega_1 t + F_1) - A_1 \cdot \sin(\omega_1 t + F_1) - 2\text{-й робочий хід}.$$

Виявлено, що відмінність частот гармонійної складової і сліду невелика, тому сумарне коливання вже на другому робочому ході можна розглядати як квазігармонійне з несучою частотою ω і повільно змінними в часі амплітудою і фазою:

$$x(t) = A(t) \cdot \sin(\omega t + \varphi(t)). \quad (9)$$

Такі коливання мають характер биття, їх амплітуда періодично стає рівною нулю. Замкнута система ніби розмикається і втрата нею стійкості вимикається. Описане розмикання є умовним. Головною перевагою способу підвищення вібростійкої системи управління склоочисником є його універсальність. Він застосовується при будь-яких динамічних збуреннях: як високочастотних, так і при низькочастотних, розмикаючи замкнену динамічну систему, робить непотрібними попередні динамічні випробування з метою виявлення «небезпечних» частот.

На основі моделі руху щітки по склу було здійснено моделювання впливу накладення мікроколивань на якість очищення скла. На рис. 3 приведені графіки зміни кута відхилення гумового елемента щітки від вертикалі в режимах без дії сухого тертя (1), з сухим тертям без накладення мікроколивань на закон руху щітки по склу (2), з сухим тертям при накладенні мікроколивань на закономірність руху щітки по склу (3).



1 – без дії сил сухого тертя; 2 – з дією сил сухого тертя; 3 – з дією сил сухого тертя при накладенні мікроколивань на закономірність руху

Рисунок 3 – Графік кута відхилення від вертикалі гумового елемента щітки склоочисника в різних режимах роботи

Джерело: розроблено авторами

Визначено, що накладення мікроколивань на закономірність руху щітки по склу підвищує стійкість досліджуваної системи, зменшуючи амплітуду автоколивань в 5...8 разів. Використання накладення мікроколивань на закономірність руху щітки по склу сприятиме зменшенню зносу гумового елемента щітки склоочисника та підвищенню

якості очищення скла і комфорту водія. Розгляд електронного інтерфейсу передачі сигналів від контролера до приводу системи склоочищення для двигунів з електромагнітним збудженням і зі збудженням від постійних магнітів показав, що вихідними сигналами для управління рухом щітки по склу можуть служити широтно-імпульсна модуляція (ШИМ) - сигнали контролера, відповідним чином посилені блоком силової комутації.

Визначені параметри, необхідні для генерації ШИМ - сигналу і обмеження на їх використання. Показано, що в якості вихідної величини регулятора системи склоочищення може бути використана відсоткова вихідна потужність, в подальшому апаратно перетворювана контролером в шпаруватість ШИМ - сигналу за допомогою стандартних вбудованих алгоритмів. Можливість реалізації алгоритму управління з використанням однієї із стандартних мов програмування програмованого логічного контролю (ПЛК) або їх комбінації відбувається на основі стандарту ІЕК 61131-3, а також суміщення із спеціалізованими контролерами для автомобільної промисловості.

Висновки:

1. З'ясовано зв'язок системи склоочищення з підсистемами забезпечення комфорту і безпеки автомобілів та запропоновано модель чотирьохланкового механізму мехатронної системисистеми склоочищення автомобіля в середовищі Matlab/Simulink з використанням різних співвідношень ланок і аналіз їх кінематичних і динамічних характеристик.

2. Отримано математичну модель руху щітки по склу для випадку близького до рівномірного розподілу тиску по довжині щітки з урахуванням нерівномірності руху щітки по склу, що пов'язана з роботою чотирьохланкового механізму мехатронної системисистеми склоочищення автомобіля.

3. Розглянуто вплив властивостей матеріалу гумового елемента щіток автомобіля на якість очищення скла та отримані значення величин, що характеризують пружні і дисипативні властивості шийки елемента в граничних для роботи системи режимах. Показана можливість виникнення регенераційних автоколивань при зниженні дисипативних властивостей шийки елемента внаслідок зносу або агресивного впливу середовища.

4. Виявлена наявність в системі можливості виникнення регенераційних автоколивань в критичних режимах роботи, що вимагає введення в закон руху щітки по склу мікроколивань, здатних ефективно понизити амплітуди вказаних автоколивань.

5. Запропоновані аналітичні залежності розрахунку параметрів програмного забезпечення для реалізації управління динамічними характеристиками мехатронної системи склоочищення автомобіля шляхом накладення на закономірність руху мікроколивань.

Список літератури

1. Konrad Reif. Automotive mechatronics. Automotive networking, driving stability systems, electronics. Wiesbaden : Springer Fachmedien, 2015. 549 p.
2. Fijalkowski B.T. Automotive mechatronics: operational and practical issues. Heidelberg : Springer, 2011. Volume I. 612 p.
3. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія. / Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В. та ін. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
4. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методи оцінки і аналізу надійності автомобільних транспортних систем. Міжнародна наук.-техн. конф. молодих учених та студентів: зб. тез доповідей, 16-17 листопада 2017 р. Том III. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С.14-15.
5. Панков А.О., Аулін В.В., Голуб Д.В. та ін. Розробка інтелектуального мехатронного модуля для системи управління дозуванням. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-*

- 2019)": зб. тез Дванадцятій міжнар. наук.-практ. конф., 21-22 травня 2019 року, Київ, Україна. К.: НАУ, 2019. 173-175.
6. Аулін В.В., Голуб Д.В., Агапоненко М.І. Розробка критерію вдосконалення системи технічної експлуатації засобів транспорту з врахуванням необхідної діагностичної інформації. *Наукові нотатки* : міжвуз. зб. 2018. №62. С.17-20.
 7. Голобородько О.О., Коробочка О.О. Мехатронні системи автомобільного транспорту: навч. посіб. Харків: ТОВ «СМІТ», 2006. 300 с.
 8. Levent Güvenc, Bilin Aksun Güvenc, Burak Demirel. Control of mechatronic systems. London : The Institution of Engineering and Technology, 2017. 217 p.
 9. William Bolton. Mechatronics: electronic control systems in mechanical and electrical engineering. Harlow : Pearson, 2015. 663 p.
 10. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle. Berlin : Springer-Verlag, 2005. 521 p.
 11. Robert H. Bishop. Mechatronic Systems, Sensors, And Actuators. Boca Raton: CRC Press, 2007. 656 p.

References

1. Konrad Reif (2015). *Automotive mechatronics. Automotive networking, driving stability systems, electronics*. Wiesbaden : Springer Fachmedien [in English].
2. Fijalkowski, B.T. (2011). *Automotive mechatronics: operational and practical issues*. Heidelberg : Springer. Volume I. [in English].
3. Aulin, V.V., Golub, D.V. & Grinkiv, A.V. (2017). *Metodologichni i teoretichni osnovi zabezpechennya ta pidvishennya nadijnosti funkcionuvannya avtomobilnih transportnih sistem: monografiya [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]*. Kropivnickij: Vidavnicтво TOV "KOD" [in Ukrainian].
4. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2017). Metody otsinky i analizu nadijnosti avtomobil'nykh transportnykh system [Methods of evaluating and analyzing the reliability of automobile transport systems]. *Mizhnarodna nauk.-tekhn. konf. molodykh uchenykh ta studentiv (16-17 lystopada 2017 r.) – International Scientific and Technical conf. young scientists and students (p.14-15)*. Vol. III.. Ternopil': Ternopil's'kyj natsional'nyj tekhnichnyj universytet imeni Ivana Puliuiua [in Ukrainian].
5. Pankov A.O., Aulin V.V., Golub D.V. ta in. (2019). Rozrobka intelektualnogo mehatronnogo modulya dlya sistemi upravlinnya dozuvannyam [Development of an intelligent mechatronic module for the dosing control system]. *Integrated intelligent robotic complexes (IIRTK-2019)": Dvanadcyata mizhnarodna naukovopraktichna konferencija (21-22 travnya 2019 roku, Kiyiv) – 12 international scientific and practical conference (p. 173-175)*. Kyiv: NAU [in Ukrainian].
6. Aulin, V.V., Golub, D.V. & Agaponenko, M.I. (2018). Rozrobka kryteriiu vdoskonalennia systemy tekhnichnoi ekspluatatsii zasobiv transportu z vrakhuvanniam neobkhidnoi diahnostychnoi informatsii. [Development of criteria for improving the system of technical operation of means of transport, taking into account the necessary diagnostic information]. *Naukovi notatky : mizhvuz. zb. – Scientific notes: an interuniversity collection, 62*, 17-20 [in Ukrainian].
7. Goloborodko, O.O. & Korobochka, O.O. (2006). *Mehatronni sistemi avtomobilnogo transportu: navch. posib [Mechatronic systems of road transport]*. Harkiv: TOV «СМІТ» [in Ukrainian].
8. Levent Güvenc, Bilin Aksun Güvenc, Burak Demirel (2017). *Control of mechatronic systems*. London : The Institution of Engineering and Technology [in English].
9. William Bolton (2015). *Mechatronics: electronic control systems in mechanical and electrical engineering*. Harlow : Pearson [in English].
10. Uwe Kiencke & Lars Nielsen (2005). *Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle*. Berlin : Springer-Verlag [in English].
11. Robert, H. Bishop (2007). *Mechatronic Systems, Sensors, And Actuators*. Boca Raton: CRC Press [in English].

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Dmytro Holub**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Justification of the Mechanism of the Functioning of the Mechatronic System of Car Windshield Cleaning

The four-link mechanism of the car's mechatronic windshield cleaning system is substantiated using different ratios of links and analysis of their kinematic and dynamic characteristics. A mathematical model of the glass cleaning mechanism in the Matlab/Simulink environment is presented and its kinematic synthesis is carried out.

A mathematical model of the movement of the brush on the glass was developed for the case of close to uniform pressure distribution along the length of the brush, taking into account the unevenness of the law of movement associated with the operation of the transmission mechanism. The influence of the material properties of the rubber element on the quality of glass cleaning and the obtained values of the values characterizing the elastic and dissipative properties of the neck in the limit modes of the system are considered. The possibility of regeneration self-oscillations is shown when the dissipative properties of the neck are reduced as a result of wear or an aggressive environment.

The processes of dry friction and hydraulic movement resistance occurring in the system are clarified, the limits of possible visually noticeable self-oscillations depending on the parameters of the friction mode and system operation are shown. It was found that the presence in the system of the possibility of regenerative self-oscillations in critical operating modes requires the introduction of micro-oscillations into the law of movement of the brush on the glass, which can effectively reduce the amplitudes of these self-oscillations.

Analytical dependencies are proposed for calculating the parameters of the software, which implements the management of the dynamic characteristics of the system by superimposing the law of motion of micro-oscillations. The necessary hardware and software requirements for the controller are shown, as well as the possibility of saving the windshield wiper control unit as a functional unit of the mechatronic system for ensuring the comfort of movement.

mechatronic system, modeling, window cleaning mechanism, car, brushes, rubber element, transmission mechanism, deflection angle

Одержано (Received) 24.03.2023

Прорецензовано (Reviewed) 31.03.2023

Прийнято до друку (Approved) 03.04.2023

УДК 621.317

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.176-186](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.176-186)

Д.М. Квашук, доц., канд. екон. наук, докторант, **В.Ю. Ларін**, проф., д-р техн. наук, **С.Ф. Філоненко**, проф., д-р техн. наук, **А.П. Стахова**, доц., канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

e-mail: dmytro.kvashuk@npp.nau.edu.ua,

vitalii.larin@npp.nau.edu.ua,

serhii.filonenko@npp.nau.edu.ua, anzhelika.stakhova@npp.nau.edu.ua

Моделювання витрат та вимірювання електричної енергії електродвигунів

Діяльність з визначення енергоефективності електродвигунів включає кілька етапів робіт. До них належать моделювання експлуатації двигунів за допомогою спеціалізованих програмних продуктів, що дозволяє визначити необхідні параметри споживання електричної енергії, навантаження, та обертальні параметри у різних режимах роботи. Проте, найефективнішим є спосіб отримати реальні робочі характеристики електродвигуна на випробувальних стендах. Це зумовлено багатьма факторами, від механічних несправностей до невідповідності технічних характеристик заявлених виробником. Разом з тим, як для першого, так і іншого способу проблема полягає в оптимізації вимірювального обладнання, що потребує зменшення похибки, збільшення швидкодії та чутливості вимірювальних перетворювачів. До параметрів, які вимагають особливої уваги можна віднести витрати електричної енергії, які в окремих сферах промисловості є вирішальними під час проектування технологічних майданчиків, визначення промислової політики, обсягів виробництва, тощо. У даній статті запропоновано спосіб встановити залежність між цими параметрами, практичне значення якого, в різних режимах роботи електродвигуна дасть можливість оцінити як економічну ефективність електричної машини так і можливі ризики, що пов'язані із безпечною подальшою експлуатацією, строком експлуатації та можливостями створювати необхідні моменти прискорення при заданих навантаженнях.

вимірювання електричної енергії, обертальний момент, лічильник електричної енергії, вимірювання, математична модель, перетворювач, зворотній зв'язок

© Д.М. Квашук, В.Ю. Ларін, С.Ф. Філоненко, А.П. Стахова, 2023