**Колот Олександр Володимирович. Наукові основи підвищення ефективності системи приводів шляхом врахування стохастичності їх характеристик : дис... д-ра техн. наук: 05.02.03 / Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". - Х., 2005**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Колот Олександр Володимирович. Наукові основи підвищення ефективності системи приводів шляхом врахування стохастичності їх характеристик - Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.03 – "Системи приводів". – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – Харків, 2005.  Створено наукові основи підвищення ефективності системи приводів. Підвищення ефективності здійснено шляхом врахування наявності випадкових змін характеристики гідроприводу, як складової частини системи приводів.  Виконано обґрунтування стохастичних змін характеристики приводу. Доведено, що причиною випадкових змін характеристики є особливості робочих процесів, зокрема це деформативні процеси робочої рідини, в якій присутнє нерозчинене повітря у вигляді дрібнодисперсної газової фази. Стохастичними гідродинамічними процесами є турбулізація, відривні і кавітаційні явища в рідині та інші.  Встановлено наявність випадкових змін стохастичних динамічних характеристик окремих гідросистем та системи приводів.  Випадкові зміни характеру системи приводів розглянуті на конкретних прикладах приводів стендового обладнання для діагностичних випробувань гідравлічних амортизаторів.  Виконано детальний аналіз об’єкта випробувань. Розглянуто ряд конструкцій амортизаторів залізничних вагонів та вагонів метрополітену. Обґрунтовано вибір типового гідравлічного амортизатора і розроблена його імітаційна модель. Виконано імітаційне математичне моделювання процесу стендових діагностичних випробувань гідравлічних амортизаторів. При цьому враховано стохастичні зміни статичних і динамічних характеристик системи електро- та гідроприводів стендового обладнання та гідравлічного амортизатора. Врахування випадкових змін характеристики дало можливість суттєво збільшити обсяг інформації, одержаної в результаті діагностичних випробувань амортизаторів та підвищити її достовірність. Для цього розроблені спеціальні методи спектрального аналізу результатів діагностичних випробувань амортизаторів. | |
| |  | | --- | | 1. Розроблені та адаптовані для опису стохастичних параметрів системи приводів методи аналізу і синтезу випадкових процесів, які дозволяють описати його специфічні характеристики, а саме: 1) показники стабільності роботи, 2) параметри точності при випадкових збуреннях, 3) випадкові зміни його дисипативних і жорсткісних параметрів при циклічному русі виконавчого механізму (штока гідроциліндра). 2. Встановлено, що причинами випадкових змін параметрів гідропривода, як складової частки системи приводів, є специфічні робочі процеси, які визначають закономірності перетворення і дисипації енергії. Головними процесами, які вносять вклад у формування стохастичних змін параметрів є: 1) процеси деформації робочого середовища по причині включень нерозчиненого повітря, 2) забруднення рідини і пов'язані з цим явища облітерації малорозмірних каналів, 3) вихрові та відривні явища в проточній частині гідропривода, 4) кавітаційні та хвильові процеси, зокрема гідроударні. Основними процесами, які визначають стохастичні характеристики гідропривода, є турбулентність та динамічні перехідні явища, які супроводжують зміни режимів руху рідини. Обґрунтовано наявність суттєвих випадкових змін дисипативних параметрів гідроcистем, що обумовлено зокрема турбулентним рухом рідини в трубопроводах та перехідними режимами в агрегатах гідропривода. Для експериментального визначення випадкових змін дисипативних параметрів гідроcистем доцільно використати експериментальні методи. При цьому гідроcистемa оснащається спеціальною апаратурою, що включає диференціальний манометр і пристрої виміру витрати на даній ділянці гідросистеми. Встановлено, що випадкові зміни перепаду тиску на гідролінії знаходяться в діапазоні близько 0,07 МПа при номінальних перепадах тиску на гідролінії 0,1..0,4 МПа. 3. Системи приводів та його елементи мають випадкові зміни своїх характеристик. Статичні характеристики змінюються як випадкові величини. Закони розподілу випадкових змін статичних характеристик визначаються особливостями елемента приводу. В більшості випадків закон розподілу можна вважати нормальним. При цьому математичне сподівання випадкових змін характеристики в точці відповідає номінальному значенню характеристики, а середньо квадратичне відхилення (стандарт) складає 1..2% від номінального значення характеристики. Динамічні характеристики змінюються як системи взаємозалежних (корельованих) випадкових величин та системи випадкових процесів. Вони характеризуються двомірними і багатомірними законами розподілу. За виключенням особливих випадків має місце двомірний нормальний закон розподілу. При цьому динамічні характеристики системи приводів (перехідні і частотні) утворюють смуги своїх ймовірних значень із відповідними розсіяннями і математичними сподіваннями. Діапазони випадкових змін їх динамічних характеристик складають 4..10%. 4. Для розрахунку випадкових змін статичних і динамічних характеристик складових частин системи приводів рекомендовано використати спеціальні методи, які полягають в синтезі базових випадкових параметрів гідропривода і електропривода у вигляді масивів випадкових величин або випадкових процесів і подальшому визначенні випадкового поля вихідних параметрів гідропривода і електропривода шляхом математичного моделювання. В результаті знаходяться діапазони випадкових змін вихідних параметрів та їх статистичні характеристики. Застосування запропонованих методів дозволяє суттєво підвищити точність і надійність визначення вихідних параметрів гідропривода і є основою для суттєвого підвищення ефективності його застосування, зокрема у гідрофікованих випробувальних машинах циклічної дії, якими є стендове обладнання для діагностичних випробувань гідравлічних амортизаторів.   Для визначення впливу статичних і динамічних характеристик електропривода гідро розподільника на характеристики стендового обладнання для діагностичних випробувань гідравлічних амортизаторів, розроблена динамічна модель системи кроковий електродвигун – гідро розподільник, на підставі якої описані динамічні процеси в електроприводі. Шляхом математичного моделювання обчислені випадкові елементи опору електропривода та враховані випадкові зміни його параметрів, що дозволило зменшити високочастотні коливання ротора крокового двигуна за рахунок зміни маси інерційного демпфера.   1. В результаті детального аналізу конструктивних особливостей гами гідравлічних амортизаторів встановлено, що зниження їх ефективності в процесі експлуатації є наслідком дії багаточисельних факторів випадкового характеру. Вони проявляються як раптовими (різко змінними) порушеннями регламентованих режимів роботи основних вузлів амортизаторів, так і постійними, порівняно невеликими, випадковими змінами їх характеристик. Визначено вплив випадкових змін параметрів гідравлічної системи амортизаторів на загальні показники ефективної їх роботи. Встановлено якісний і кількісний зв’язок паспортних параметрів амортизатора із випадковими змінами характеристик окремих гідроагрегатів. 2. Встановлено, що основними деталями амортизатора, які зношуються в процесі експлуатації шток, гільза циліндра і напрямна втулка. Зношені поверхні деталей амортизатора можуть бути описані полігармонічними випадковими процесами, які допускають математичний опис у вигляді канонічного розкладу по системі ортогональних гармонічних функцій. Знос деталей амортизатора в основному впливає на витрату рідини в зазорі між штоком гідроциліндра і напрямною втулкою. При цьому витрата рідини може змінитися в 10 і більше раз. Зношення отвору напрямної втулки відбувається нерівномірно. Зношена ділянка має протяжність по куту 270…300. Загальний лінійний знос по діаметру знаходиться в межах 0,4 мм. При цьому середній діаметральний зазор від номінального значення (0,02…0,04 мм) збільшується до 0,5 мм і вище. Встановлено, що знос поверхні спричиняє виникнення конусності отвору, причому більший діаметр конуса знаходиться з боку поршня амортизатора. Величина різниці діаметрів отвору на вході і виході змінюється в межах 0,05…0,3 мм. 3. Розроблена замкнена стохастична математична модель автоколивальної дисипативної гідросистеми амортизатора враховує випадкові зміни характеристик його основних вузлів і дозволяє визначити основні стохастичні параметри, які характеризують процеси дисипації енергії, а також здійснити імітацію різноманітних режимів випробувань амортизатора. При цьому враховується весь комплекс факторів, зокрема умови роботи амортизатора, які пов’язані із зміною його експлуатаційних характеристик. Математична модель силової частини стенда враховує випадкові зміни параметрів привода і дозволяє розрахувати закон переміщення поршня амортизатора та його робоче зусилля в функції часу. Розрахунки відповідають експериментальним даним з точністю 5..7%. 4. В результаті математичного моделювання та експериментальних досліджень встановлено, що дисипація енергії суттєвим чином змінює характеристики амортизатора внаслідок зміни температурного режиму роботи основних гідравлічних пристроїв амортизатора. Різке підвищення температури на перших циклах роботи амортизатора пояснюється інтенсивним тепловиділенням і нерівномірністю розподілу температур по об’єму амортизатора. Стабілізація температури пояснюється зменшенням дисипативних сил по причині зменшення в’язкості рідини і збільшенням тепловіддачі від корпусних деталей амортизатора. Загалом термічний режим амортизатора характеризується циклічними змінами температури, причому цикли відповідають середнім періодам переміщень штока амортизатора. 5. Розроблене стендове обладнання дозволяє здійснити діагностичні випробування амортизаторів із визначенням інтегральних показників їх якості та визначити відповідність характеристик амортизаторів паспортним даним. Стендове обладнання оснащене гідроприводом та системою керування. Воно забезпечує режими випробування амортизатора, які відповідають реальним умовам експлуатації. Навантаження формуються із детермінованих плавнозмінних та різкозмінних складових із доповненням стохастичними збуреннями, які відповідають натурним. 6. Застосування методів спектрального аналізу для дослідження експериментально визначених залежностей зусилля і переміщення штока амортизатора часто дає низьку точність або приводить до збою обчислювальної процедури, внаслідок неточного визначення циклічного процесу на межах інтервалу періодичності. Основною причиною збою процедур спектрального аналізу є штучно введені в процес розриви першого роду на межах інтервалу періодичності, які є наслідком неточного визначення періоду процесу. Це приводить до високочастотних осциляцій (явища Гібса), часткових сум ряду Фур’є на межах інтервалу періодичності процесу і необхідності врахування значного числа гармонік в частковій сумі ряду. Відповідно, коефіцієнти розкладу з високими номерами мають незначні абсолютні величини, які порівняні із похибками обчислення коефіцієнтів. Внаслідок некоректності постановки задачі, стосовно нескінченного ряду Фур’є, наявність високочастотних складових, з неточно визначеними коефіцієнтами, обумовлює виникнення грубих похибок часткових сум ряду Фур’є, а в багатьох випадках приводить до розходження часткової суми ряду і збою обчислювальної процедури. З метою забезпечення надійної роботи алгоритмів спектрального аналізу запропоновано сформувати дискретну модель процесу для одного періоду (циклу) переміщення штока амортизатора. Потім узагальнити розроблену модель на два сусідніх періоди. Після цього згладити одержану дискретну модель за допомогою процедури сплайн-інтерполяції і, використавши одержану символьну модель для одного (центрального) періоду, знайти коефіцієнти розкладу циклічного процесу в ряд Фур’є і здійснити повний комплекс спектрального аналізу процесу. 7. В результаті спектрального аналізу експериментально визначених залежностей зусилля і переміщення штока амортизатора встановлено, що суттєвими є гармоніки з номерами 3..5. Врахування такого числа гармонік дозволило з достатньою точністю описати окремо зміну зусилля і переміщення штока в часі. Основними гармоніками даних залежностей є перші. На перших гармоніках зосереджена основна потужність (середній квадрат значення) циклічних процесів зусилля і переміщення штока. Для діагностики характеристик амортизатора встановлено, що найбільш доцільно використати полярну діаграму “сила-переміщення”, визначену експериментально, та використати розклад її складових (окремо сили і переміщення) в ряди Фур’є. врахування лише суттєвих складових розкладу є недостатнім Для забезпечення необхідної точності опису полярної діаграми врахування лише суттєвих складових розкладу є недостатнім. Для достатньо точного опису полярної діаграми необхідно врахувати 10..15 гармонік. Для виявлення особливих ділянок діаграми, зокрема точок зламу, високочастотних осциляцій та обмежень необхідно врахувати близько 100 гармонік розкладу. | |