

УДК 629.113

В.А.Макаров
Донецька академія автомобільного транспорту
ЩОДО ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМУ РОЗВИТКУ ПРОГНОЗУВАННЯ
СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ

В статті представлений підхід до обґрунтування напрямку розвитку прогнозування курсової стійкості руху автомобіля.

Запропонований загальний процес прогнозування, який містить декілька підготовчих стадій діагностування, що забезпечать необхідну точність та достовірність наукового передбачення якісних та кількісних оцінок характеристик стійкості руху.

Особливу увагу приділено оцінюванню параметрів конструкції та технічного стану еластичних рушіїв автомобіля.

Ключові слова: *автомобіль, рух, курсова стійкість, прогнозування, шина.*

Рис 5. Літ 10.

В.А.Макаров
К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

В статье представлен подход к обоснованию направления развития прогнозирования курсовой устойчивости движения автомобиля.

Предложен общий процесс прогнозирования, который включает несколько подготовительных стадий диагностирования для точного и достоверного научного предсказания качественных и количественных характеристик устойчивости движения.

Особое внимание уделено оцениванию параметров конструкции и технического состояния эластичных движителей автомобиля.

Ключевые слова: *автомобиль, движение, курсовая устойчивость, прогнозирование, шина.*

V.Makarov
TO QUESTION OF RATIONALES DIRECTION OF THE DEVELOPMENT OF
PREDICTING THE SUSTAINABILITY MOTION OF CARS

One of the main setting forces of the modern socio-economic development of the countries are intelligent traffic flows, including automotive. They must meet the high level of safety motion problem solving about motion stability.

In the article it is reflected the unsolved scientific and practical task of forecasting creating of automobile stability.

The purpose of the article is to ground the direction of the rational development process of motion stability forecasting.

Resistance is examined by disconnected control scheme, it is estimated potential feature of the car providing with the necessary supplies course motion stability (CMS) of the "driver - car" system. The number of CMS indicators is selected, namely, the deviation from the desired trajectory of sustainable control of steady rectilinear or curvilinear unsteady motion; withdrawal of the car mass center; diagram of bifurcation set; phase portrait; Hurwitz criterion; turning ability curve. A number of mandatory preliminary stages of forecasting are proposed, which enable the detection of CMS specific performance values. In detail the first stage is considered examining the characteristics totality of elastic car powers, which significantly affect the motion stability.

The examples of using the CMS forecasting of different types of bifurcation set diagrams (BSD) and the associated with them phase planes (FP) for different points of BSD are given. Description of FP completes proving of the one of the possible directions of sustainable process development of CMS forecasting.

Analytical study reflected the existence of significant influence on the elastic powers on bifurcation set diagram and phase portrait.

Further development of the forecasting process of car course motion stability should include other indicators of vehicle motion stability and detailed assessment of the previous stages impact on the final results of the car behavior forecasting.

Keywords: *car, motion, course stability, forecasting, tyre.*

Натепер, однією з головних рушійних сил в соціально – економічному розвитку країн є транспорт. Завдяки інтеграції та глобалізації світової економіки, більшість сучасних інноваційних рішень на транспорті обумовлені формуванням єдиної транспортної мережі планети, за якою мають рухатися інтелектуальні транспортні потоки. Розвиток суспільства та

господарства неможливий без докорінного поліпшення якості перевезень вантажів і пасажирів транспортними потоками автомобілів (ТПА).

Постановка проблеми. Потоки автотранспортних засобів (АТЗ) повинні відповідати необхідним високим рівням безпечності й економічності руху та характеризуватись мінімально можливим негативним впливом на навколишнє середовище[10]. Створення інтелектуальних ТПА потребує вдалого вирішення великої низки науково – прикладних проблем, однією з яких є поліпшення курсової стійкості руху (КСР) автомобіля, особливо в потокових режимах його роботи.

Аналіз останніх публікацій і вирішення частин загальної проблеми.

Можна навести перелік наукових робіт[1,2,3,8], в яких розглядалися питання покращення КСР. Одним з дієвих шляхів поліпшення стійкості переміщення є прогнозування її очікуваного рівня. Низка питань з дослідження прогнозування КСР зустрічається в статтях [3,5,9], але в них не вирішене науково – прикладне завдання урахування усіх етапів процесу зазначеного прогнозування та комплексного підходу до нього.

Мета роботи

Обґрунтування можливого напряму раціонального розвитку процесу прогнозування курсової стійкості руху автомобіля.

Основні результати дослідження

Технічна служба підприємств автомобільного транспорту або автосервісу в змозі виконати підтримку необхідного технічного стану АТЗ тільки шляхом забезпечення високого рівня процесів діагностування та прогнозування.

Для здійснення діагностування КСР слід вибрати ефективні та інформативні параметри, які дозволять з достатніми достовірністю і точністю однозначно оцінити якісні і кількісні характеристики цієї експлуатаційної властивості. Далі, забезпечують процес оцінювання необхідною приборно – комп'ютерною підтримкою та слушною методикою. Після системного здійснення визначених діагностичних операцій з прийнятною точністю вимірювань та вивчення закономірностей змінювання за часом параметрів, що контролюються, можна створити умови для прогнозування КСР автомобіля з еластичними шинами щодо наукового виявлення можливих шляхів і результатів майбутнього розвитку процесів руху АТЗ.

У викладеному нижче матеріалі дослідження розрізняють два види переміщення АТЗ, а саме: неусталений або усталений рух. Стійкість руху розглянута за розімкненою схемою керування – оцінюється потенційна стійкість переміщення самого автомобіля, що з необхідним запасом забезпечить КСР системи «водій - АТЗ». Зазначена схема дозволяє використовувати сучасні методи моделювання та пошук рішень для прогнозування КСР за допомогою якісних і кількісних оцінок.

Стисло розглянута низка показників КСР[4,5], які можуть бути використані для її прогнозування, а саме:

- відхилення траєкторії від заданого управлінням прямолінійного руху (ВІР) автомобіля за горизонтальною площинною поверхнею на відстані 1 км;
- відведення центру мас (ВЦМ) автомобіля;
- діаграма біфуркаційної множини (ДБМ);
- фазовий портрет (ФП);
- відхилення траєкторії центру мас АТЗ від програмної кривої: в процесі неусталеного керованого криволінійного руху (ВКР) автомобіля [1,9];
- критерій Гурвіца (КГ);
- крива повороткості (КП).

Виявлення значень конкретних показників КСР уможливується даними, які отримуються на попередніх стадіях прогнозування, загальна схема якого візуалізована на рис. 1.

Пропонується наступна послідовність попереднього діагностування. Після візуального огляду кожного з коліс автомобіля, виконують оціночні вимірювальні роботи величин тиску повітря, зносу, дисбалансу, деформації тощо (стадія 1). На зазначеній стадії оцінюють також правильність наступних дій: розміщення шин за осями та бортами АТЗ, а також монтажу шин.

Тільки після завершення операцій цієї попередньої першої стадії, має сенс виконувати стадії 2,3,4 і 5, а також проводити заключне визначення діагностичних параметрів, які дозволяють прогнозувати КСР автомобіля.

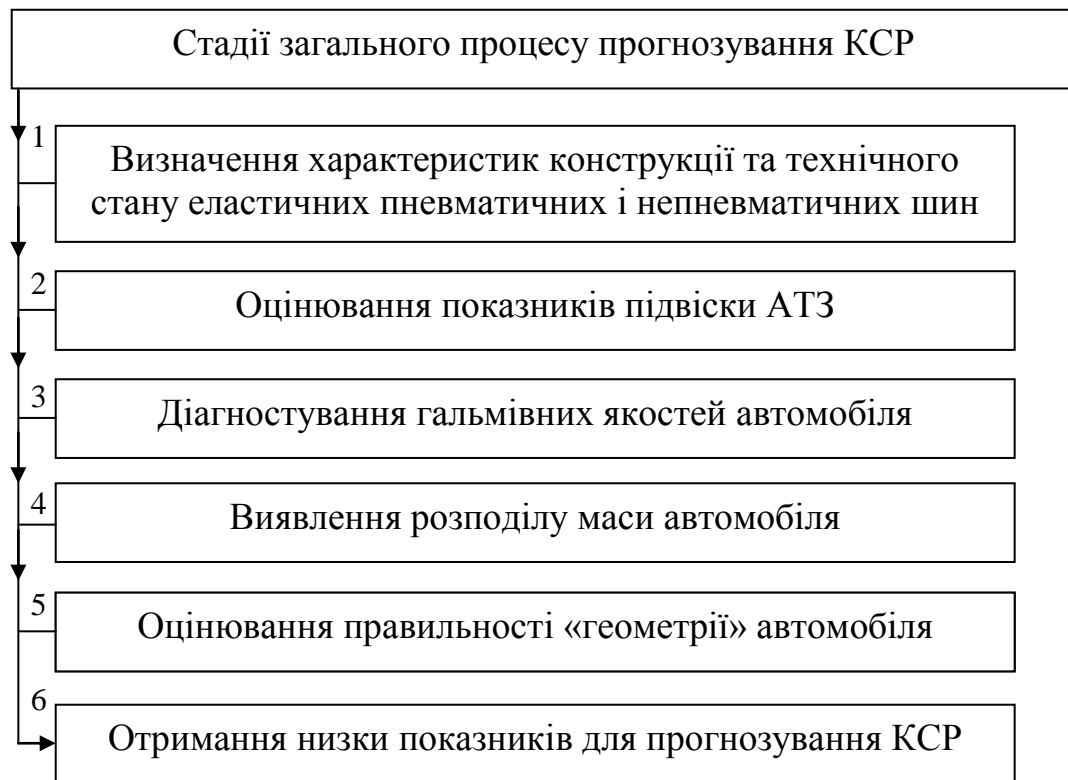


Рис. 1. Мнемосхема щодо візуалізації стадій загального процесу прогнозування КСР

В даній роботі детально розглянуті дві стадії щодо забезпечення прогнозування КСР: перша (1) та остання (6). Вибраний підхід пояснюється тим, що вплив еластичних рушіїв на КСР автомобіля є великим та багатостороннім, що потребує окремого аналітичного дослідження.

Діагностичні параметри, які запропоновані вище для прогнозування КСР автомобіля, що оснащений еластичними пневматичними рушіями, корелюють з характеристиками конструкції й технічного стану (ТС) шин, а саме:

- внутрішнім тиском повітря в шинах;
- рисунком [10] та зносом протектора;
- дисбалансом коліс;
- руйнуванням протектора, боковини, каркаса тощо;
- зволоженням матеріалу шини;
- набуханням матеріалу рушія;
- деформуванням, що остаточно змінює форму шини.

Слід визначити важливі особливості та недоліки діагностування ТС й експлуатаційного стану автомобільного еластичного рушія тільки по внутрішньому тиску повітря. Контроль внутрішнього тиску проводять, зазвичай, двома способами (рис. 2).

Перший спосіб - безпосередній вимір тиску повітря в шині, другий - заснований на вимірі різних зовнішніх (опосередкованих) параметрів, що дають оцінку величини тиску повітря в шині з певною точністю й вірогідністю. Однак, і в першому й у другому випадках, при контролі стану шин по тиску повітря в них зовсім не враховуються неоднорідності матеріалу шин, як корисні (наприклад несиметричний протектор, що запроєктований виробником) так і

недосконалості самого виробу, які не можна виявити візуально: розшарування, розриви, розрідження ниток корду, зсув кілець борта тощо. Реальні шини часто мають неоднорідність жорсткості, у тому числі обумовлену дефектами й ушкодженнями покришок, які можуть привести до невиконання шиною основних функцій, навіть при нормативному внутрішньому тиску. Тому для прогнозування стійкості руху АТЗ із шинами, що мають неоднорідну жорсткість по колу і ширині профілю, спосіб контролю стану шин тільки по тиску повітря в них неприйнятний.



Рис. 2 Схема щодо візуалізації методів оцінювання ТС й експлуатаційного стану шин

До методів діагностування технічного стану еластичних пневматичних шин можна віднести також контроль за зміною внутрішньої структури шини. Для цього застосовуються (в основному на шинних і шиноремонтних заводах) теплові й рентгенівські установки, а також ультразвукова і звукова діагностика.

Для прогнозування стійкості руху АТЗ на еластичних шинах (пневматичних і непневматичних) з неоднорідною жорсткістю по їх колу і поперечному перетину профілю, в якості можливого перспективного діагностичного параметру досліджувався тиск у контакті колеса з опорною поверхнею. Цей параметр необхідно надалі розглядати в режимі кочення колеса, вивчати залежність бічних сил та відведення шини від розподілу тиску в її контакті з дорогою[6].

В подальшому матеріалі статті розглянутий один із можливих шляхів здійснення стадії 6 (див. рис.1) - безпосереднього виявлення важливих показників КСР, а саме: діаграми біфуркаційної множини та фазового портрету для легкового автомобіля (ЛА). Задачами наведеного прикладу прогнозування стійкості руху є визначення можливих видів стійкості або нестійкості стаціонарних режимів руху (СРР) та оцінювання їх кількісних показників.

За умов одержання при діагностуванні характеристик бічного відведення шин можливе отримання показників КСР автомобіля: діаграм біфуркаційних множин, приклади яких наведені на рис. 3а - з трьома, а на рис. 3б - з чотирма зонами.

Діаграма біфуркаційної множини має дві числові осі, що характеризують керуючі параметри: лінійну швидкість автомобіля (v) та кут повороту колеса θ відносно вертикальної вісі.

Вигляд біфуркаційної множини для конкретного ЛА обумовлений дією бічних сил, що, в свою чергу, визначаються відведеннями кожного з чотирьох еластичних коліс автомобіля. Згідно рис. 3а, можна прогнозувати наявність трьох стаціонарних режимів руху автомобіля в зоні 3 (точка C_1), причому один з них може бути стійким, а два інші - нестійкими. Для множини

режимів руху, що характеризуються сукупністю точок B_n у зоні 1 (вище графіка) існує тільки один стаціонарний режим, але дія певних збурюючих впливів при будь-яких значеннях параметрів швидкості v або кута повороту колеса θ (із цієї області), викликають втрату КСР автомобіля - це зона нестійких режимів руху.

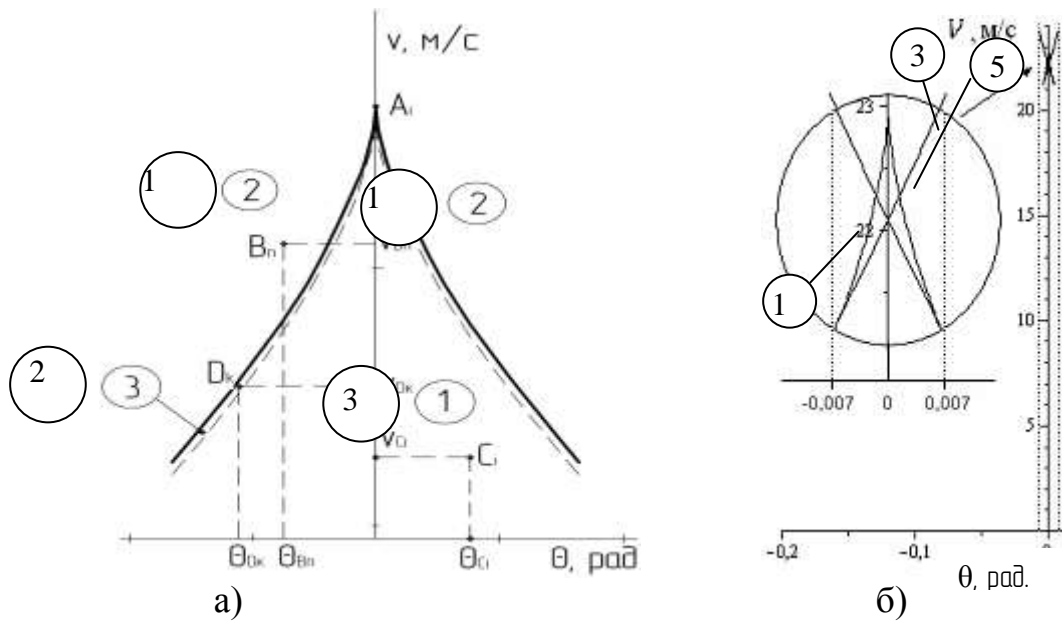


Рис. 3. Діаграми біфуркаційних множин

Точка А характеризує умови втрати стійкості стаціонарного прямолінійного режиму руху автомобіля і визначає максимальну критичну швидкість руху. На рис. 3а зазначена втрата стійкості є небезпечною, а на рис. 3б – умови втрати стійкості більш сприятливі (поряд є зони 3 і 5, де може бути стійкий рух). Діапазон $\pm 0,007$ рад є допустимим для експлуатаційних значень кута відведення. Особливої уваги (рис. 3а) заслуговує зона 2, що перебуває в безпосередньому околі кривих на всій їхній протяжності, і де відбувається зміна показників курсової стійкості стаціонарного режиму руху[7]. Запас стійкості в цій зоні практично нульовий, характеризується сукупністю точок D_k в зоні 2.

Таким чином, використовуючи результати вимірювання бічної сили як функції кута відведення та математичне моделювання, можна прогнозувати раціональні або небезпечні зони для керуючих параметрів, а також можливість відносно сприятливої втрати стійкості руху.

ДБМ стаціонарних режимів руху може містити декілька областей з різною кількістю парних СРР кожна, наприклад: 2 або 4, або 0 (рис. 4а).

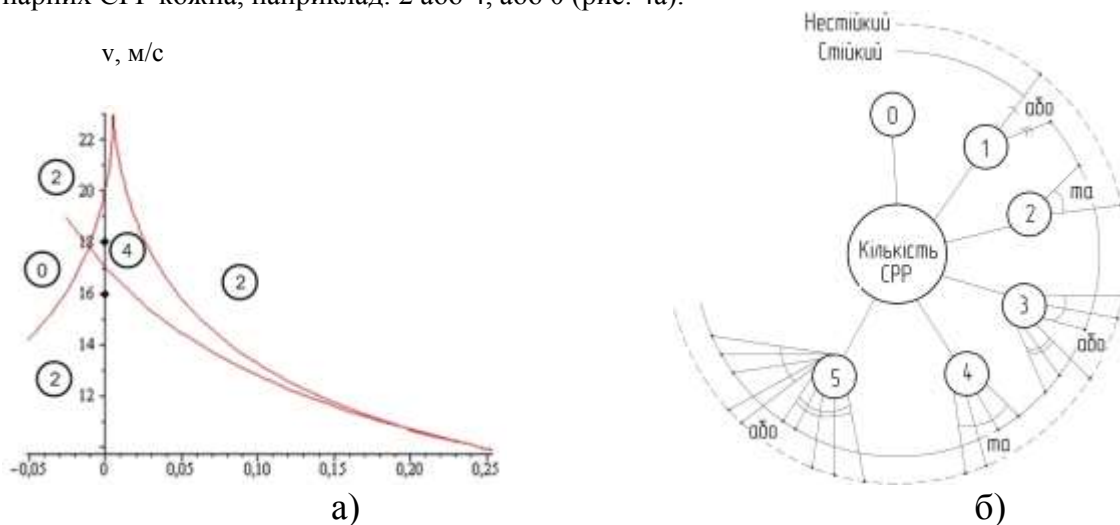


Рис. 4. Множини стійких і нестійких СРР

Різновиди трансформацій поверхні стаціонарних станів, які раціонально аналізувати, розглянуті на рис. 4б. В середині зображення розташоване велике коло, виносні лінії з якого спрямовані до малих кіл з цілими числами (0, 1, ..., 5), що символізують можливі кількості стаціонарних режимів руху (згідно досліджень математиків[4]) в окремих областях ДБМ. Области, що містять більш ніж 5 СРР, розглядати нераціонально у зв'язку з тим, що вони є нетиповими у випадку двох керованих параметрів θ і v . Можуть аналізуватися: симетричні автомобілі, що містять непарні кількості СРР, або альтернативні - асиметричні. Симетричні системи, що містять більш ніж 3 стаціонарні режими руху, підлягають впливу (окрім двох керованих параметрів θ і v) додаткових параметрів, які можуть обумовити зміну форми біфуркаційної поверхні, наприклад: коефіцієнту зчеплення, бічної складової сили опору повітря тощо. Вплив указаних параметрів на реалізацію більш складних особливостей форми на поверхні стаціонарних станів залежить від їх конкретного специфічного співвідношення (на момент дії параметрів), і тому кожний наступний конкретний результат по визначенню фазових змінних (наприклад, кутової швидкості обертання АТЗ відносно вертикальної вісі) є випадковим, з огляду випадковості дії самих керованих параметрів, і реалізується з дуже малою ймовірністю.

На мнемосхемі (рис. 4б) відображені особливості ДБМ: для непарної кількості СРР можуть існувати два варіанти стійких та нестійких множин СРР, але одночасно може діяти (реалізуватися) тільки одна з них; для парної кількості СРР існує тільки один варіант сукупності стійких та нестійких СРР.

Після аналізу зазначеного вище показника стійкості «в малому» (рис. 4а), можна зробити тільки один остаточний технічний висновок – про існування області керуючих параметрів «нуль», що зовсім не містить стаціонарних режимів руху. Для поліпшення стійкості руху легкового автомобіля, який має показник з «нульовою» областю, слід позбавитися її існування, наприклад, шляхом заміни еластичних колісних рушіїв АТЗ на інші - з більш сприятливими для конкретного автомобіля жорсткісними характеристиками. Щодо інших областей ДБМ, в яких існують 2 або 4 СРР, що можуть бути стійкими або нестійкими, то вони підлягають подальшому докладнішому дослідженню, з використанням другого основного показника, що характеризує стійкість руху «у великому» - це фазовий портрет.

У роботі використана наступна послідовність визначення та аналізу ДБМ й ФП: спочатку здійснюється побудова діаграми біфуркаційної множини (рис. 4а), а потім фазового портрету. В розглянутій ДБМ наявні 4 або 2 СРР, відповідно, в замкненій фігурі $A_2A_3A_4$, а також в околі означеної фігури, окрім зони, що розміщена ліворуч точки A_2 , де зовсім немає СРР. Для отримання більш докладнішої інформації про стійкість СРР, наприклад, у точці A_1 , для неї побудований фрагмент фазового портрету (рис. 5).

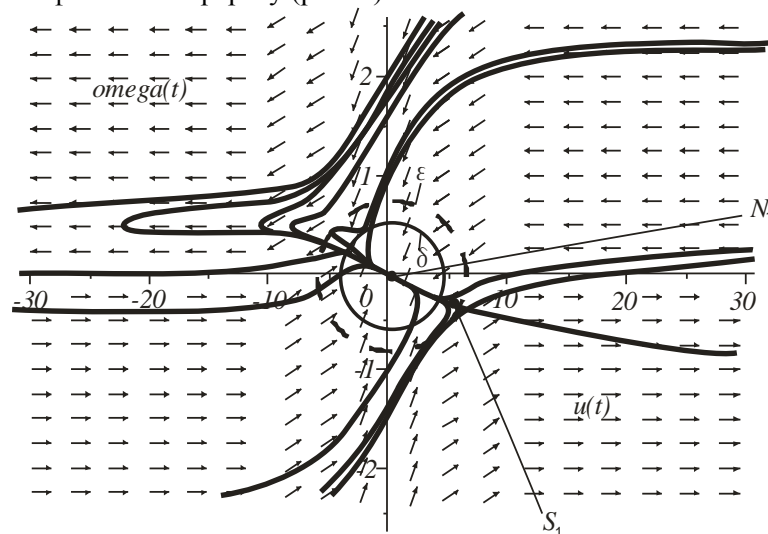


Рис. 5. Фрагмент фазової площини щодо точки A_1 ДБМ

За числовими осями змінюються: $u(t)$ – бічна лінійна швидкість центру мас АТЗ (м/с); $\omega(t)$ – кутова швидкість обертання АТЗ навколо вертикальної вісі, що проходить через його центр мас (1/с).

Зазначений фрагмент містить вузол N_1 (стійкий коловий режим) та сідло S_1 (нестійкий коловий режим). Область стійкості обмежують сепаратриси, що дозволяють позначити зону притягання стійкого СРР. В околі стійкого вузла N_1 можна побудувати коло, що обмежує δ -окіл означеної точки N_1 і містить фазові траєкторії, які (в якості початкових умов) не можуть покинути δ -окіл стійкого вузла N_1 . Формується область притягання точки N_1 , що визначає технічну стійкість СРР, з врахуванням перехідних процесів, які обумовлені конкретними технічними характеристиками легкового автомобіля та його еластичних колісних рушіїв. Для поліпшення КСР легкового автомобіля слід змінювати зазначені характеристики.

Опис фрагменту ФП завершує обґрунтування одного з можливих напрямів раціонального розвитку процесу прогнозування КСР.

Висновки. Для розвитку прогнозування курсової стійкості руху автомобіля обов'язково слід вирішити наступне:

- вибрати низку ефективних, інформативних та однозначних показників КСР з рекомендованої сукупності: ВПР, ВЦМ, ДБМ, ФП, ВКР, КГ, КП;
- визначити необхідні для передбачення поведінки АТЗ характеристики конструкції та технічного стану шин, підвіски, гальмівної системи, а також розподіл маси та «геометрію» автомобіля.

Аналітичне дослідження віддзеркалило існування значущого впливу еластичних рушіїв на діаграми біфуркаційної множини та фазовий портрет.

Подальший розвиток процесу прогнозування курсової стійкості руху автомобіля повинен містити напрями аналізу інших показників стійкості руху АТЗ та детального оцінювання впливу попередніх стадій на остаточні результати передбачення поведінки транспортного засобу.

1. Вербицкий В.Г. К вопросу реализации управляемого движения вдоль программной кривой/ Вербицкий В.Г., Банников В.А., Червякова Е.В.//Вісник Донецької академії автомобільного транспорту.№3-Донецьк.-2012.С.67-73.
2. Дугельный В.Н. Улучшение показателей курсовой устойчивости легкового автомобиля с учетом силовой неоднородности его шин : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02 / Дугельный Владимир Николаевич. – К., 2006. – 136 с.
3. Костенко А.В. Прогнозування показників курсової стійкості легкового автомобіля з урахуванням розкиду жорсткісних характеристик шин : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02 / Костенко Андрій Вікторович. – К., 2007. – 168 с.
4. Лобас Л.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л.Г. Лобас, В.Г. Вербицкий. – К. : Наукова думка, 1990. – 232 с.
5. Макаров В.А. Наукові основи поліпшення курсової стійкості руху легкового автомобіля: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.02 / Макаров Володимир Андрійович. - К., 2001. - 318 с.
6. Макаров В.А. Особливості експлуатації та випробування еластичної шини автомобіля: монографія/ В.А. Макаров.-Донецьк: Вид-во «Ноулідж».2010.-150 с.
7. Острейковский В.А. Анализ устойчивости и управляемости систем методами теории катастроф / В.А. Острейковский. – М. : Высш. шк., 2005. – 326 с.
8. Петров О.В. Поліпшення показників курсової стійкості руху транспортних засобів з урахуванням технічного стану їх шин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.02 «Автомобілі та трактори» / О.В. Петров. – Київ, 2008. – 20 с.
9. Сахно В.П. Прогнозування поведінки автомобіля за керуючими діями водія/Сахно В.П., Кузнецов Р.М., Павлюк В.І.// Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.№15[204] – Луганськ. – 2013.С.104-107.
10. Schubert J.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Reifen : Doktor-ingenieurs Dissertation : Fahrbahn-Rollgeräusch / J. Schubert. – Dresden, 2003. – 113 s.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2014.