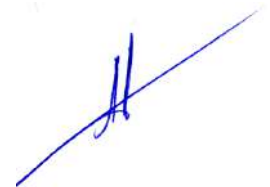


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ЛИХОДІЙ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ



УДК 629.3:629.06

**ПІДВИЩЕННЯ МАНЕВРНОСТІ ДВОЛАНКОВОГО СІДЕЛЬНОГО
АВТОПОЇЗДА З АКТИВНИМ КЕРУВАННЯМ ПОВОРОТОМ
ПРИЧІПНОЇ ЛАНКИ**

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

Автореферат

дисертації на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Леонтєв Дмитро Миколайович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри автомобілів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дущенко Владислав Васильович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин імені О. О. Морозова;

кандидат технічних наук, доцент,
Поляков Віктор Михайлович,
Національний транспортний університет, професор кафедри автомобілів.

Захист відбудеться «23» травня 2018 р. о «12⁰⁰» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Автореферат розісланий «20» квітня 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О. П. Смирнов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження пов'язане з необхідністю підвищення безпеки експлуатації дволанкового сидельного автопоїзда за рахунок використання керованої причіпної ланки, що дозволяє комплексно вирішувати питання покращення маневреності автопоїзда завдяки наступним експлуатаційним перевагам: підвищення стабільності руху шляхом зменшення впливу неконтрольованих сил, що виникають при поперечному ковзанні шин напівпричепа; зменшення витрат потужності силової установки на подолання опору повороту; зменшення майже вдвічі необхідної дії водія на кермо; суттєве зменшення необхідного габаритного коридору при повороті та русі по колу; збільшення безпеки щодо інших учасників дорожнього руху на значно криволінійних ділянках дороги за рахунок зменшення часу перехідного процесу до моменту встановлення сталого руху колісного транспортного засобу по колу; можливість реалізації різних алгоритмів для автоматичного або дистанційного керування поворотом коліс причіпної ланки окремо для кожного з мостів; організація безпеки руху заднім ходом за рахунок повороту керованих коліс причіпної ланки у необхідний бік. Зазначені переваги у повному обсязі можливо забезпечити за рахунок використання системи активного керування поворотом непрямої дії.

Відсутність системного підходу при вирішенні задач щодо підвищення маневреності сидельного автопоїзда шляхом використання системи активного керування поворотом (САКП) причіпної ланки не дозволяє на етапі проектування здійснити вибір раціональних параметрів її елементів, що, в свою чергу, спонукає українських автовиробників причіпної техніки комплектувати свої вироби імпортними САКП разом з функціонально пов'язаними вузлами ходової частини та гальмівного керування. Тому, застосування системного підходу при проектуванні системи активного керування поворотом причіпної ланки сидельного автопоїзда з використанням засобів імітаційного моделювання, який полягає у поєднанні масових, геометричних та кінематичних параметрів ланок сидельного автопоїзда з робочими процесами, що відбуваються в апаратах гідравлічного приводу та елементах електричної й електронної складової САКП, є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Роботу виконано в рамках одного з розділів держбюджетної тематики кафедри експлуатації та ремонту машин ДВНЗ Придніпровської державної академії будівництва та архітектури за темами: «Моделювання криволінійного руху автопоїзда з керованими осями причіпних ланок» №0114U003954 за напрямком «Дослідження і розробка шляхів поліпшення показників транспортних засобів», та «Поліпшення експлуатаційних параметрів транспортних засобів та вантажопіднімальних кранів» №0116U006045 за напрямком «Поліпшення експлуатаційних властивостей автомобілів та автопоїздів». Крім того, робота є складовою частиною наукової роботи Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, що виконувалась відповідно до Наказу Міністерства транспорту та зв'язку України №82 від 10 лютого 2004 р. на кафедрі автомобілів, та

відноситься до комплексної теми: «Системне проектування та конструювання транспортних засобів, які забезпечують необхідну активну безпеку дорожнього руху».

Мета і завдання дослідження. За мету дисертаційної роботи прийнято підвищення маневреності дволанкового сидельного автопоїзда з активним керуванням поворотом причіпної ланки за рахунок узагальнення методології інженерних розробок системи активного керування поворотом.

У відповідності до сформульованої мети визначимо наступні завдання:

1. Розробити математичну модель криволінійного руху дволанкового сидельного автопоїзда з можливістю інтегрування до неї математичних моделей елементів системи активного керування поворотом причіпної ланки.

2. Виконати експериментальні дослідження криволінійного руху сидельного автопоїзда з некерованим напівпричепом для перевірки адекватності розробленої імітаційної моделі динаміки руху автопоїзда.

3. Удосконалити методику проектування системи активного керування поворотом причіпної ланки сидельного автопоїзда, використовуючи засоби імітаційного моделювання.

4. Розробити алгоритм керування роботою елементів приводу системи активного керування поворотом напівпричепа автопоїзда та виконати теоретичні дослідження.

Об'єкт дослідження – робочі процеси, що відбуваються в системі активного керування поворотом причіпної ланки сидельного автопоїзда.

Предмет дослідження – функціональні зв'язки в системі активного керування поворотом причіпної ланки під час маневрування сидельного автопоїзда.

Методи дослідження засновані на математичному (аналітичному та імітаційному) моделюванні криволінійного руху сидельного автопоїзда та системи активного керування поворотом його напівпричепа на підставі фундаментальних законів теоретичної механіки, теорії автомобілів, векторного аналізу та матричного числення з подальшою реалізацією у вигляді комп'ютерних програм, розроблених у середовищі математичного пакету MatLab; доведення адекватності розробленої математичної моделі виконано шляхом проведення натурних експериментальних досліджень сидельного автопоїзда з подальшою обробкою результатів методами теорії ймовірності та математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

вперше:

– отримано взаємозв'язок між кутами складання автопоїзда та кутами повороту коліс його причіпної ланки за критеріями маневреності, який відрізняється від відомих координатами розташування точки задавання траєкторії руху та точки слідування цією траєкторією (а. с. 68730);

– встановлено взаємозв'язок між параметрами робочих процесів, що відбуваються у системі активного керування поворотом напівпричепа та параметрами криволінійного руху дволанкового сидельного автопоїзда, який відрізняється від відомих тим, що враховано особливості роботи електронних складових автоматизованої системи керування (а. с. 73938);

набули подальшого розвитку:

– концепція проектування керованих мостів причіпної ланки сидельного автопоїзда за рахунок уніфікації окремих частин балок мостів та з урахуванням особливостей керування поворотом їх коліс. (пат. на корисні моделі UA 99269 та UA 114382, а. с. 73938).

Практичне значення отриманих результатів. Результати теоретичних досліджень доповнюють загально відому теорію автомобілів новою концепцією математичного моделювання криволінійного руху зчленованих транспортних засобів, а також, освітній курс «Спеціалізований рухомий склад» – рекомендаціями щодо вибору способів підвищення маневреності зчленованих КТЗ, аналізом складових систем активного керування поворотом напівпричепів та визначенням їх основних параметрів.

Розроблені методики та програмний продукт сприяють повноцінному, швидкому та зручному проектуванню систем активного керування поворотом коліс причіпних ланок сидельних автопоїздів, що значно підвищує їх маневрені властивості.

Також, запропонований програмний продукт дозволяє досліджувати параметри маневреності будь-якого дволанкового сидельного автопоїзда в залежності від параметрів компоновки його ланок та розташування центра мас вантажу вздовж кузова напівпричепа.

Матеріали дисертаційної роботи прийняті до використання у конструкторському відділі ТОВ «Верхньодніпровський авторемонтний завод» та на приватному підприємстві «Харківський центр післяаварійного захисту «ЕКСПРЕС-СЕРВІС».

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи одержані самостійно. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать такі результати: аналіз існуючих методик щодо визначення теоретично необхідних кутів повороту коліс напівпричепів, розрахункова схема та механізм визначення координат розташування точки задавання траєкторії та точки слідування траєкторією [1], математична модель руху зчленованого двохланкового транспортного засобу [2], 3D-моделі пристосувань для вимірювання кутів розташування сошки та поворотних цапф тягача, аналіз експериментальних досліджень [3], концепція визначення раціональних параметрів механічної частини рульового керування напівпричепа з використанням сучасних програмних комплексів [7], структурна схема системи активного керування поворотом напівпричепа та функціональні зв'язки між її елементами [9], загальні положення щодо складання алгоритму керування поворотом коліс напівпричепа [10], конструкція пристосування для отримання значень кутів складання автопоїзда експериментальним шляхом та механізм обробки отриманих даних [14], конструкція балки комбінованого керованого моста напівпричепа [16], аналіз стану питань щодо рівня складності моделювання при дослідженні криволінійного руху транспортних засобів [17], взаємозв'язок між кутами повороту рухомого елемента датчика RTU-360 та кутами складання автопоїзда [18].

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на: науково-технічних семінарах кафедри експлуатації та ремонту машин ДВНЗ «ПДАБА» (Дніпропетровськ, ПДАБА, 6 грудня 2012, форма участі – очна, 23 грудня 2015, форма участі – очна, 28 грудня 2016, форма участі – очна); всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі» (Донецьк, СВЦ «ЕКСПОДОНБАС», 23-24 листопада 2011, форма участі – очна); XV, XVI-тій міжнародних науково-технічних конференціях «Автомобільний транспорт: проблеми та перспективи» (Севастополь, СевНТУ, 10-17 вересня 2012, форма участі – очна, 16-21 вересня 2013, форма участі – очна); всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні (до 50-річчя інституту Укравтобуспром/ВКЕІ Автобуспром)», (Львів, НУ «Львівська політехніка», 24-25 вересня 2015, форма участі – очна); VIII міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», (Вінниця, ВНТУ, 19-21 жовтня 2015, форма участі – заочна); всеукраїнській науково-технічній конференції «Механіка машин – основна складова прикладної механіки (до 110-річчя з дня народження члена-кореспондента АН України, професора, доктора технічних наук Кожевнікова Сергія Миколайовича)» (Дніпро, НМетАУ, 11-13 квітня 2017, форма участі – очна); 81-й науково-технічній та науково-методичній конференції Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (Харків, ХНАДУ, 10-12 травня 2017, форма участі – очна).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи викладено у 18-ти наукових працях, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях України (3 без співавторства, 2 з яких у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз). За темою дисертаційної роботи отримано 3 авторських свідоцтва на твір та 3 патенти на корисну модель, які видано Державним департаментом інтелектуальної власності України.

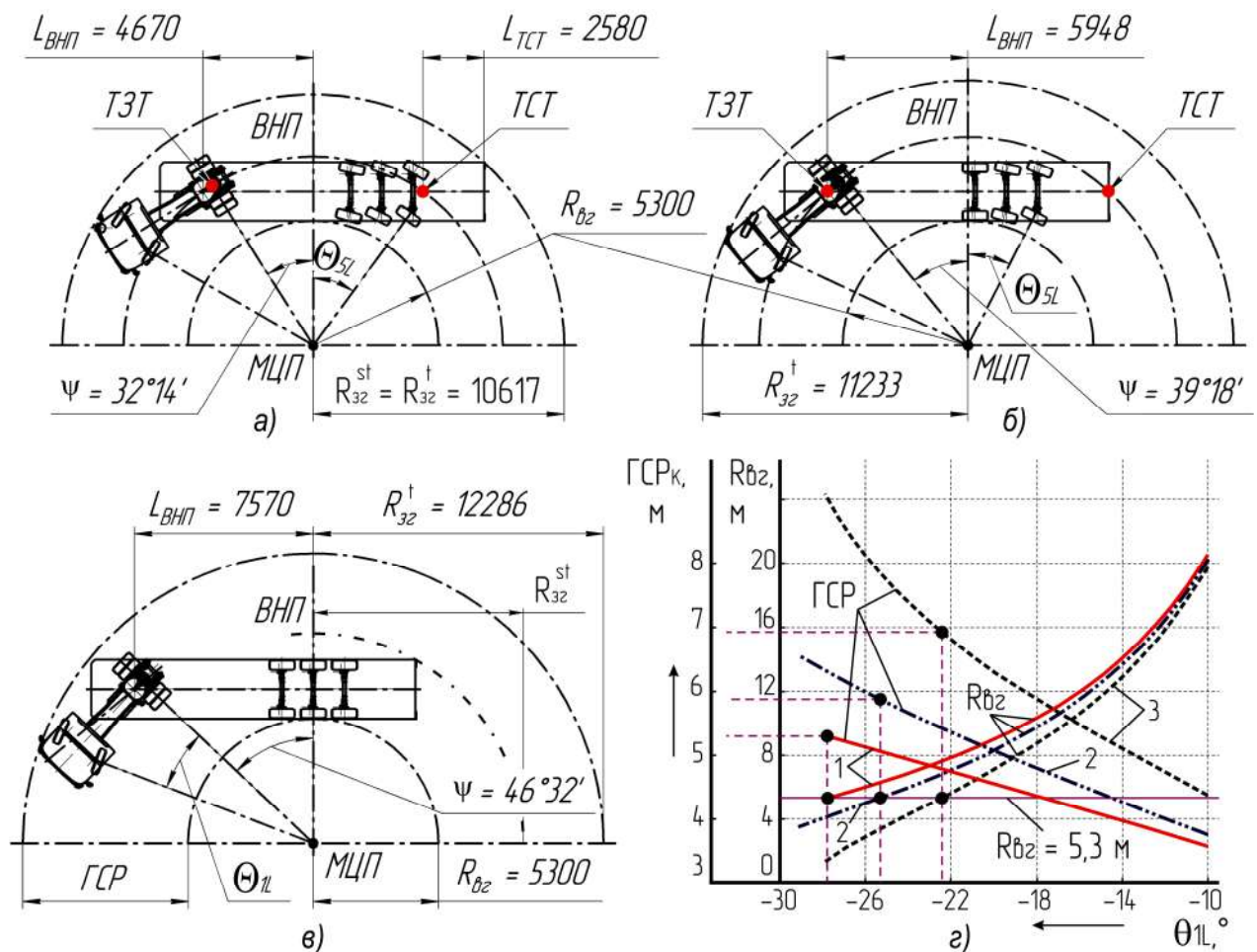
Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 276 сторінок, у тому числі 8 додатків на 109 сторінках. Обсяг основного тексту – 167 сторінок, у тому числі, 61 рисуноків, 6 таблиць. Список використаних джерел нараховує 162 найменувань на 18 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи. Сформульовано предмет, об'єкт, мету і завдання дослідження. Визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Надано відомості щодо публікацій та апробації основних положень роботи.

У першому розділі завдяки аналізу науково-технічних джерел запропоновані основні положення щодо визначення типу та місця розташування елементів САКП причіпної ланки дволанкового сидельного автопоїзда. На основі

цих положень, для типового сидельного автопоїзда (САП), що складається з двовісного тягача та тривісного некерованого напівпричепа, з урахуванням виконання запропонованих вимог, сформульовані рекомендації щодо використання САКП напівпричепа, яка складається з наступних складових частин: елементу задавання похідного параметру, який розміщено у точці зчипки ланок автопоїзда, виконуючого елементу, в якості якого прийнято керовані колеса, електрогідромеханічного приводу та елементу блокування, функції якого виконують два гідроциліндри, що діють на рульову трапецію. За уточненою методикою (рис. 1, а), яка наведена у другому розділі, визначені максимальні значення кутів повороту коліс напівпричепа (табл. 1), що у порівнянні з існуючими методиками (рис. 1, б) дозволяють значно підвищити маневреність автопоїзда (у середньому до 7,5 %), а у порівнянні з варіантом розташування осі нейтральної поворотності (ВНП) на відстані 7,57 м від шворня напівпричепа (рис. 1, в) – у середньому до 22 %.



а) за розробленою методикою (на графіку – лінії 1); б) за рекомендаціями David Sebon (на графіку – лінії 2); в) із заблокованими колесами напівпричепа (на графіку – лінії 3); г) графік залежності параметрів маневреності автопоїзда від кутів повороту лівого колеса тягача ліворуч від нейтрального положення; ТЗТ – точка задавання траєкторії; ТСТ – точка слідування траєкторією; МЦП – миттєвий центр повороту автопоїзда; ВНП – вісь нейтральної поворотності;
Рисунок 1 – Варіанти розміщення осі нейтральної поворотності для автопоїзда

На рис. 1, 2 кути повороту внутрішнього до МЦП колеса тягача обмежені значеннями $\Theta_{lmax}^{SBW} = 27^{\circ}45'$ відповідно для варіантів розміщення ВВП на відстані 4,67 і 7,57 м від шворня напівпричепа, та $\Theta_{lmax}^{SBW} = 29^{\circ}$ для варіанту розміщення ВВП на відстані – 5,95 м. Це пов'язано з конструктивними обмеженнями попередньо скомпонованих керованих мостів для напівпричепа, згідно з якими, максимальне значення кутів повороту його коліс становить $\Theta_{5max} = 36^{\circ}15'$.

Таблиця 1 – Максимальні значення кутів повороту керма, коліс САП від нейтрального положення ліворуч та кутів складання його ланок при роботі САКП

Методика	повороту керма	1-го моста тягача	складання ланок САП	мостів напівпричепа		
				1-го (3)	2-го (4)	3-го (5)
	Θ_{kkmax}^{SBW}	Θ_{lmax}^{SBW}	ψ_{max}^{SBW}	Θ_{3max}	Θ_{4max}	Θ_{5max}
D. Cebon	553°	29°	$47^{\circ}45'$	0°	$21^{\circ}56'$	$36^{\circ}15'$
запропонована	526°	$27^{\circ}45'$	$32^{\circ}14'$	$15^{\circ}17'$	$26^{\circ}42'$	$36^{\circ}15'$

Подальший поворот керма тягача від Θ_{kkmax}^{SBW} (табл. 1) у напрямку його збільшення до $\Theta_{kkmax} = 816^{\circ}$ здійснюється за умови фіксованих максимальних значень кутів повороту коліс напівпричепа.

Крім того, проведений аналіз існуючих розрахункових моделей виявив відсутність системного підходу при моделюванні динаміки руху сидельних автопоїздів та процесів, які відбуваються в елементах системи активного керування поворотом напівпричепів, що, в цілому, впливає на якість і собівартість їх проектування. Завдяки створенню комплексної імітаційної моделі, описаної у другому розділі, яка дозволяє досліджувати вплив на динаміку руху сидельного автопоїзда (Simulink-модель) системи активного керування поворотом напівпричепа (Simscape-модель) з безпосереднім дослідженням варіацій алгоритму керування елементами системи (StateFlow-модель), можна вирішувати безліч задач технічного характеру, навіть до рівня виготовлення електронних плат системи керування. Такий підхід до моделювання системи «САП – САКП напівпричепа» може бути реалізований на основі сучасного методу «Model Based Design».

За результатами проведеного аналізу щодо відповідності рівня наукових досліджень маневреності сидельного автопоїзда, до складу якого входить сучасна керована причіпна ланка, сформульовані завдання для подальших досліджень.

У другому розділі запропоновано загальний підхід щодо створення комплексної розрахункової імітаційної моделі системи «САП – САКП напівпричепа» (рис. 2), завдяки якій уперше встановлено функціональні взаємозв'язки між параметрами робочих процесів, що відбуваються у системі активного керування поворотом напівпричепа та параметрами криволінійного руху сидельного автопоїзда. Основу комплексної моделі (рис. 2) складають блок №1 (Simulink-модель двовимірної динаміки автопоїзда) та блок №2 (Simscape-модель САКП напівпричепа).

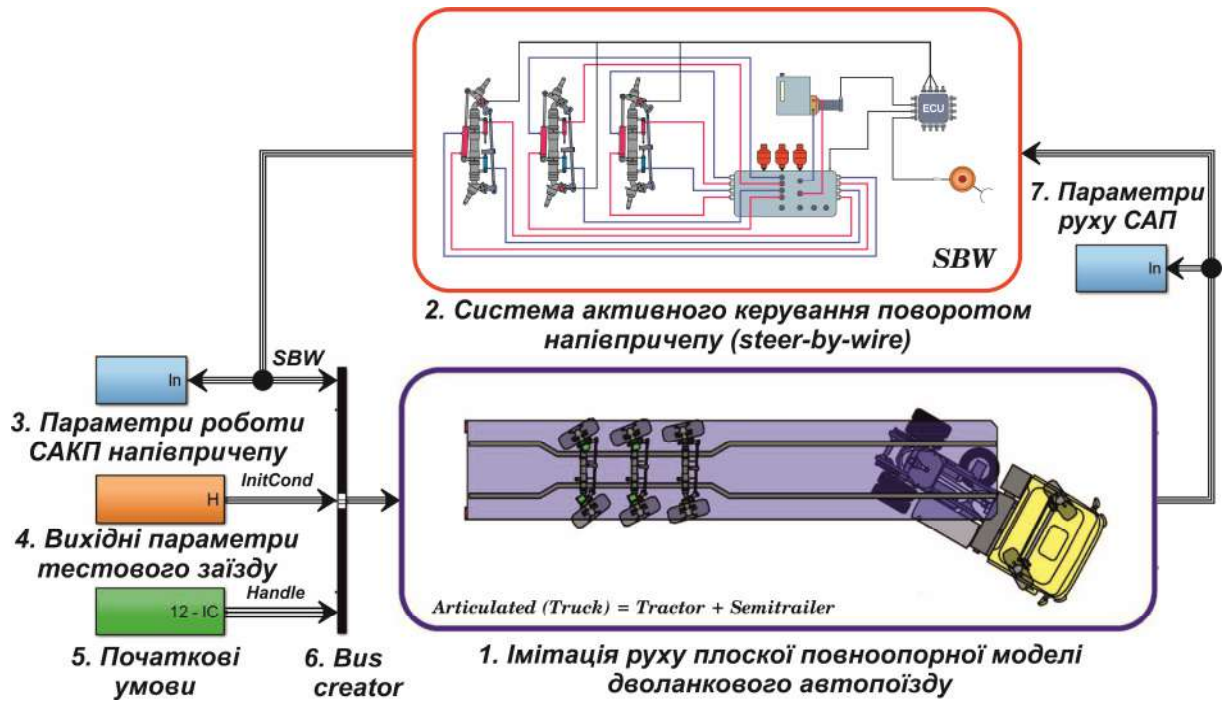


Рисунок 2 –Simulink/Simscape модель автопоїзда, оснащеного системою активного керування поворотом напівпричепи

При моделюванні використані: повноопорна розрахункова модель дволанкового сидельного автопоїзда (рис. 3), яка має 4 ступені свободи, унікальна методика, що базується на основних положеннях теоретичної механіки таких, як теорема кількості руху та моменту кількості руху, векторне числення та матрична форма представлення аналітичних виразів.

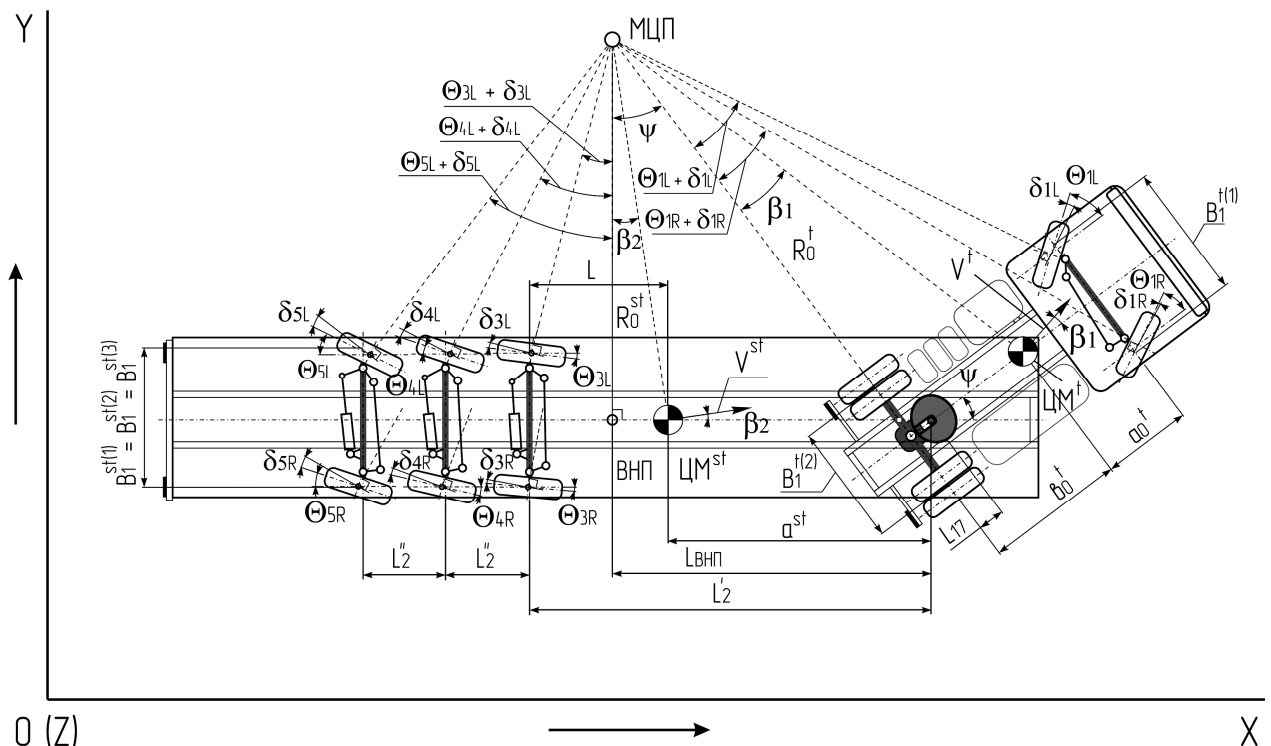


Рисунок 3 – Схема визначення кінематичних параметрів сидельного автопоїзда

Кути відведення шин САП пропонується визначати за виразом:

$$\delta = \arctg \left(\frac{L \cdot \omega_z + V_y}{V_x - \omega_z \cdot (B_l - r_0)} \right) - \Theta . \quad (1)$$

де V_y – проекція вектора швидкості центра мас ланки САП на вісь « OY »;

V_x – проекція вектора швидкості центра мас ланки САП на вісь « OX »;

ω_z – кутова швидкість ланки САП відносно осі « OZ »;

L – відстань від центра мас до осі керованого моста;

B_l – колія коліс відповідної ланки САП;

r_0 – плече обкатування коліс;

Θ – кут повороту коліс відповідної ланки САП.

Взаємозв'язок між кутами повороту коліс напівпричепа (Θ) та кутами складання ланок автопоїзда (ψ) за умови мінімізації габаритної смуги руху автопоїзда пропонується визначати за наступною формулою:

$$\begin{aligned} \Theta = \arcsin \left(\frac{L'_2 + L''_2 \cdot (i - 1) - L_{BHP} - L_{KP}}{\sqrt{(R_0^{st} \pm B_{KP} / 2)^2 + (L'_2 + L''_2 \cdot (i - 1) - L_{BHP} - L_{KP})^2}} \right) - \\ - \arcsin \left(\frac{L_{KP}}{\sqrt{(R_0^{st} \pm B_{KP} / 2)^2 + (L'_2 + L''_2 \cdot (i - 1) - L_{BHP} - L_{KP})^2}} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

де i – номер моста напівпричепа (1, 2 або 3);

знак «+» – для коліс лівого борта, «-» – для коліс правого борта.

Складові формули (3) L_{BHP} та R_0^{st} визначаються наступним чином:

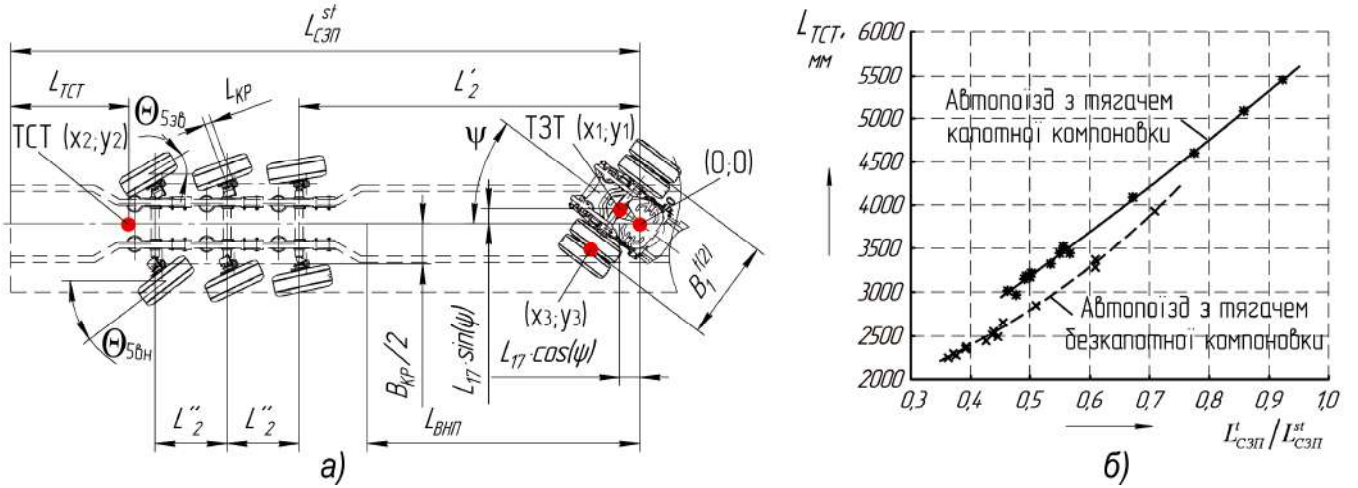
$$L_{BHP} = \left(\frac{x_1^2 - x_2^2}{2 \cdot y_1} - \frac{y_1}{2} + \frac{x_1 \cdot (y_1 - y_3)}{x_1 - x_3} \right) \cdot \frac{y_1 \cdot (x_3 - x_1)}{(x_1 - x_3) \cdot (x_2 - x_1) + y_1 \cdot (y_3 - y_1)}, \quad (3)$$

$$R_0^{st} = y_1 + (L_{BHP} - x_1) \cdot (y_3 - y_1) / (x_3 - x_1); \quad (4)$$

де координати точок визначаються з виразів:

$$\begin{aligned} x_1 &= L_{17} \cdot \cos(\psi); \quad y_1 = L_{17} \cdot \sin(\psi); \quad x_2 = L_{C3П}^{st} - L_{TCT}; \quad y_2 = 0; \\ x_3 &= \sqrt{(B_l^{(2)})^2 / 4 + L_{17}^2} \cdot \cos \left(\arcsin \left(L_{17} / \sqrt{(B_l^{(2)})^2 / 4 + L_{17}^2} \right) + 270 + \psi \right); \\ y_3 &= \sqrt{(B_l^{(2)})^2 / 4 + L_{17}^2} \cdot \sin \left(\arcsin \left(L_{17} / \sqrt{(B_l^{(2)})^2 / 4 + L_{17}^2} \right) + 270 + \psi \right). \end{aligned}$$

Складові формул (2) – (4) позначені на рис. 4, а. Попередньо L_{TCT} визначається з рис. 4, б, надалі, приймається з подальшим уточненням, забезпечуючи мінімізацію різниці зовнішніх габаритних радіусів (рис. 1, а) – $R_{32}^t - R_{32}^{st} \rightarrow \min$ (рис. 1, а).



а) до визначення кутів повороту коліс напівпричепа; б) координати розташування ТСТ в залежності від геометричних параметрів ланок САП

Рисунок 4 – До визначення взаємозв'язку між теоретично необхідними кутами повороту коліс напівпричепа та кутами складання автопоїзда

У результаті відповідних перетворень, враховуючи припущення, що колеса заднього некерованого моста тягача рухаються без відведення, отримана наступна система диференціальних рівнянь:

$$\begin{bmatrix} (m_t + m_{st}) & 0 & 0 & (m_{st} \cdot a^{st} \cdot \sin(\psi)) \\ 0 & (m_t + m_{st}) & (m_t \cdot (b_0^t - L_{17})) & (-m_{st} \cdot a^{st} \cdot \cos(\psi)) \\ 0 & (-m_{st} \cdot (b_0^t - L_{17})) & (I_t) & (m_{st} \cdot a^{st} \cdot (b_0^t - L_{17}) \cdot \cos(\psi)) \\ (m_{st} \cdot a^{st} \cdot \sin(\psi)) & (-m_{st} \cdot a^{st} \cdot \cos(\psi)) & 0 & (I_{st} + m_{st} \cdot (a^{st})^2) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \dot{V}_x^t \\ \dot{V}_y^t \\ \dot{\omega}_z^t \\ \dot{\omega}_z^{st} \end{bmatrix} = \quad (5)$$

$$= \begin{bmatrix} F_x + \omega_z^t \cdot V_y^t \cdot (m_t + m_{st}) - m_{st} \cdot \left((\omega_z^t)^2 \cdot (b_0^t - L_{17}) + (\omega_z^{st})^2 \cdot a^{st} \cdot \cos(\psi) \right) \\ F_y - \omega_z^t \cdot V_x^t \cdot (m_t + m_{st}) - (\omega_z^{st})^2 \cdot m_{st} \cdot a^{st} \cdot \sin(\psi) \\ M_{kp}^{st} - V_x^t \cdot \omega_z^t \cdot m_t \cdot (b_0^t - L_{17}) \\ M_{kp}^{st} - \omega_z^t \cdot m_{st} \cdot a^{st} \cdot \left((\omega_z^t \cdot (b_0^t - L_{17}) - V_y^t) \cdot \sin(\psi) - V_x^t \cdot \cos(\psi) \right) \end{bmatrix}$$

де m – маса відповідної ланки автопоїзда;

a^{st} та $(b_0^t - L_{17})$ – відстань від центра мас відповідної ланки САП до центра зчипки;

I – момент інерції відповідної ланки САП;

ψ – кут складання САП;

F та M – вектор зовнішніх сил та моментів, що утворюються від цих сил відносно центру зчипки.

Система диференційних рівнянь (5) реалізована у блоці «Визначення кінематичних та динамічних параметрів руху САП», що є однією зі складових блоку №1 (рис. 2). Обернення матриці інерційних коефіцієнтів системи рівнянь задля скорочення часу розрахунків на 50 % виконується за допомогою методу Фробеніуса.

У третьому розділі приведені результати щодо отримання та обробки експериментальних даних задля доведення адекватності імітаційної моделі дволанкового сидельного автопоїзда DAF XF-95 + Fliegl SDS-350 (блок №1, рис. 2), основні положення щодо формування якої розглянуті у другому розділі. В якості критерію, за яким оцінювалась адекватність імітаційної моделі, прийнято кут складання автопоїзда, в якості вихідних параметрів імітаційної моделі прийняті швидкість руху автопоїзда та кут повороту керма. Отримання натуральної величини зазначених критеріїв здійснювалось за допомогою унікального вимірювального комплексу, що складається з наступних компонентів (рис. 5).

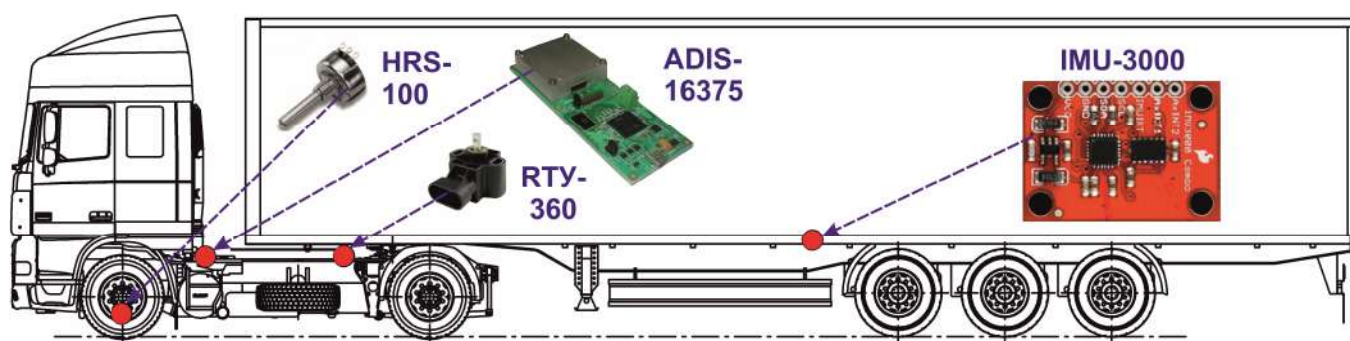


Рисунок 5 – Розміщення вимірювальної апаратури на САП

Для забезпечення роботи вимірювальної апаратури використані два ноутбуки. Це пов'язано з тим, що прилад ADIS-16375 постачався із заводськими налаштуваннями та своїм програмним забезпеченням, до того ж, зазначений прилад забезпечив калібрування комплексного датчику IMU-3000. Усім іншим датчикам перед початком кожного випробування виконувалось калібрування за допомогою унікальних пристосувань. З метою синхронізації даних, отриманих на різних ноутбуках, рух автопоїзда для кожного тесту починався зі швидкості $V = 0$ км/год.

Для проведення експериментальних досліджень використані наступні тести: поворот автопоїзда на 180° із незмінними швидкістю руху – 15 км/год та кутом повороту керма – 400° ; маневр «переставка $S_n = 25$ м» зі швидкістю руху – 30 км/год та максимальним кутом повороту керма – 118° ; поворот автопоїзда на 90° (статична маневреність) зі швидкістю руху – 10 км/год та кутом повороту керма – 350° . Результати дослідження за першим тестом представлені на рис. 6.

Для кожного з тестів випробування відтворювались до п'яти разів у зв'язку зі складністю реалізації обмеження програми випробувань. Для обробки даних обрані по одному заїзду кожного з випробувань, які найбільш повно відтворили вихідні умови програми. Усі залежності, які отримані експериментальним шляхом мають деякий шум, прибрати який вдалось завдяки методу ковзного середнього, реалізованого у середовищі MatLab функцією «smooth».

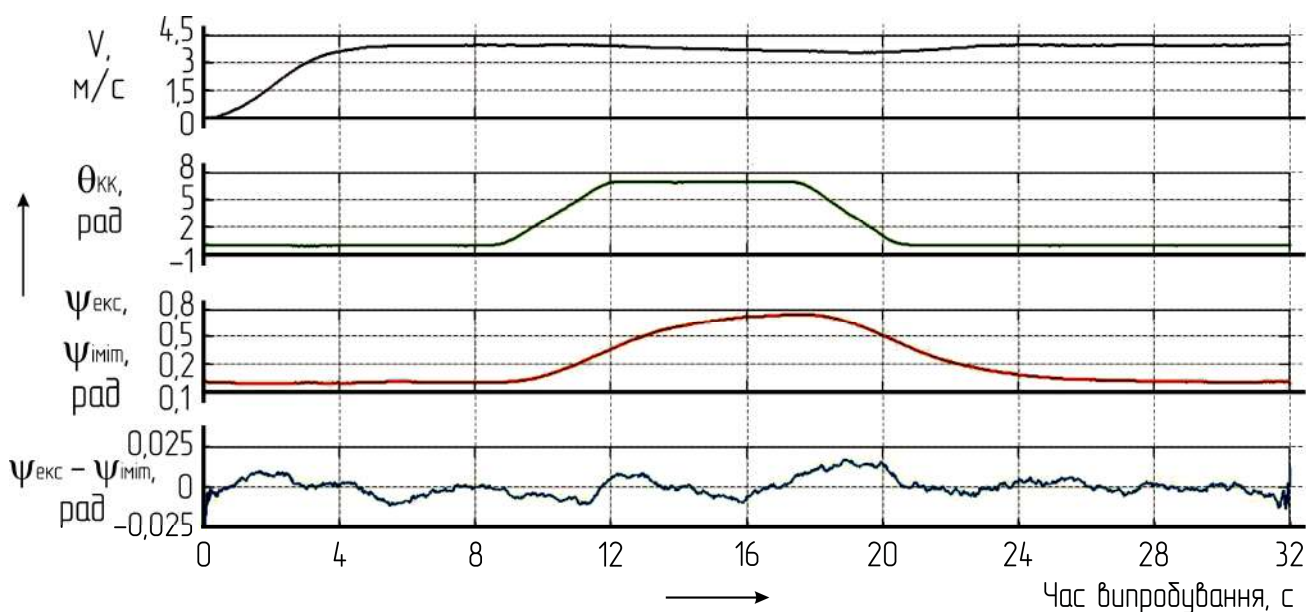


Рисунок 6 – Порівняння результатів експериментальних та теоретичних досліджень руху сідельного автопоїзда (поворот на 180°)

Відносна похибка при визначенні кутів складання автопоїзда теоретичним та експериментальним шляхами не перевищила 5 %.

За допомогою критерію Фішера доведено відтворення експерименту за трьома тестами, так як розрахований критерій виявився меншим за критичний, та вказує на адекватність запропонованої імітаційної моделі.

В якості одного з вихідних параметрів імітаційної моделі (блок №4, рис. 2) динаміки руху сідельного автопоїзда використовується кут повороту керма, але для математичного моделювання руху автопоїзда потрібні кути повороту коліс сідельного тягача. Тому, додатково, експериментальним шляхом визначені передаточні функції елементів рульового керування тягача, та представлені у вигляді поліноміальних залежностей (6) та (7). Для цього використані два датчики HRS-100, вбудованими в унікальні пристосування. На рис. 7, а представлена схема розміщення датчика HRS-100 для отримання даних кутів повороту цапфи. Результати покрокового визначення кутів повороту керма, лівої та правої поворотних цапф представлені у вигляді графіка (рис. 7, б).

Поліноміальні залежності кутів повороту цапф тягача у радіанах від кутів повороту керма мають наступний вигляд:

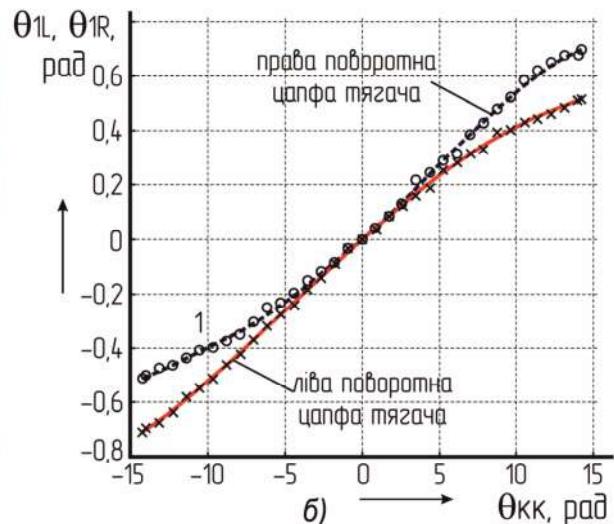
$$\Theta_{IL} = 6,7515 \cdot 10^{-7} \cdot \Theta_{kk}^4 - 3,9355 \cdot 10^{-5} \cdot \Theta_{kk}^3 - 0,00062529 \cdot \Theta_{kk}^2 + 0,050829 \cdot \Theta_{kk}, \quad (6)$$

$$\Theta_{IR} = -2,3174 \cdot 10^{-6} \cdot \Theta_{kk}^4 - 4,4988 \cdot 10^{-5} \cdot \Theta_{kk}^3 + 0,00091805 \cdot \Theta_{kk}^2 + 0,051646 \cdot \Theta_{kk}, \quad (7)$$

Поліноміальні залежності, які у подальшому будуть використані для формування вихідних даних при теоретичних дослідженнях руху сідельного автопоїзда, дозволяють визначати кути повороту лівої та правої поворотних цапф з відносною похибкою, враховуючи метод Корнфельда, не більше 4,5 %.



а)



б)

а) місце кріплення датчика HRS-100 до поворотної цапфи; б) графік залежності кутів повороту лівої Θ_{1L} та правої Θ_{1R} цапф тягача від кутів повороту керма $\Theta_{кк}$

Рисунок 7 – Визначення кутів повороту керма та поворотних цапф тягача

Експериментально доведено, що застосування статичних передаточних функцій рульового керування тягача достатньо для виконання імітаційного моделювання динаміки руху сідельного автопоїзда. Похибка розрахунків у порівнянні експериментальних досліджень не перевищує 3,5 %.

У четвертому розділі виконані теоретичні дослідження щодо визначення раціональних параметрів складових системи активного керування поворотом напівпричепа за допомогою засобів імітаційного моделювання (блок №2, рис. 2). Такий підхід до моделювання мехатронної системи надав можливість сформувати StateFlow-модель алгоритму керування її елементами.

Система активного керування поворотом напівпричепа складається із різних за фізичними властивостями елементів, тому, для більшого розуміння взаємодії між цими елементами систему представлено окремими автономними блоками: керований міст (рис. 8), гідравлічний блок та електронний блок керування. Блок «керований міст» складається з балки моста, датчика кута повороту цапфи, рульової трапеції та гідравлічних циліндрів, блок «гідроблок» складається з електричної частини, елементів гідрообладнання та гідроапаратури, за допомогою блоку «керуючий елемент» реалізовано керуючі дії щодо роботи системи в автоматичному та ручному режимах згідно із запропонованим алгоритмом. Аналогічний вигляд щодо представленого на рис. 8 блоку мають і інші блоки САКП напівпричепа.

Для формування блоку №21 (рис. 8) визначені геометричні параметри системи «балка моста - шворневий вузол - рульова трапеція». Параметри балки керованого моста визначені за умов збереження колії коліс, конструкції цапф та типу підвіски згідно з конструкцією моста підтримуючого типу. Але, для виконання цих умов необхідно змінити форму лонжеронів рами напівпричепа та взаємне розміщення гальмівних камер за рахунок зміни кутового положення кронштейнів гальмівних механізмів.

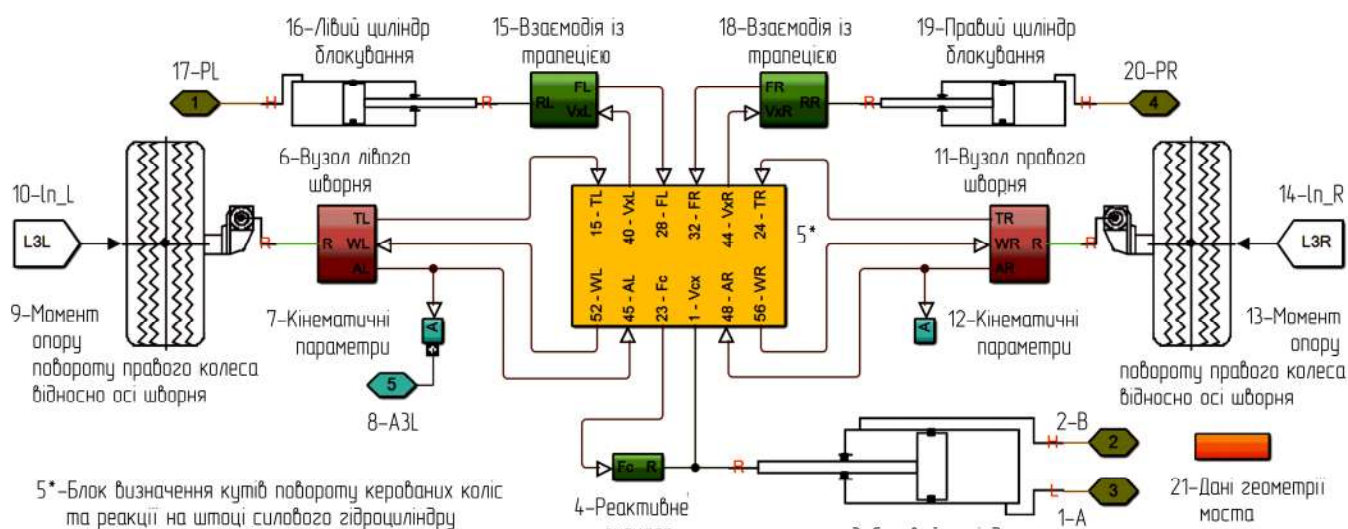
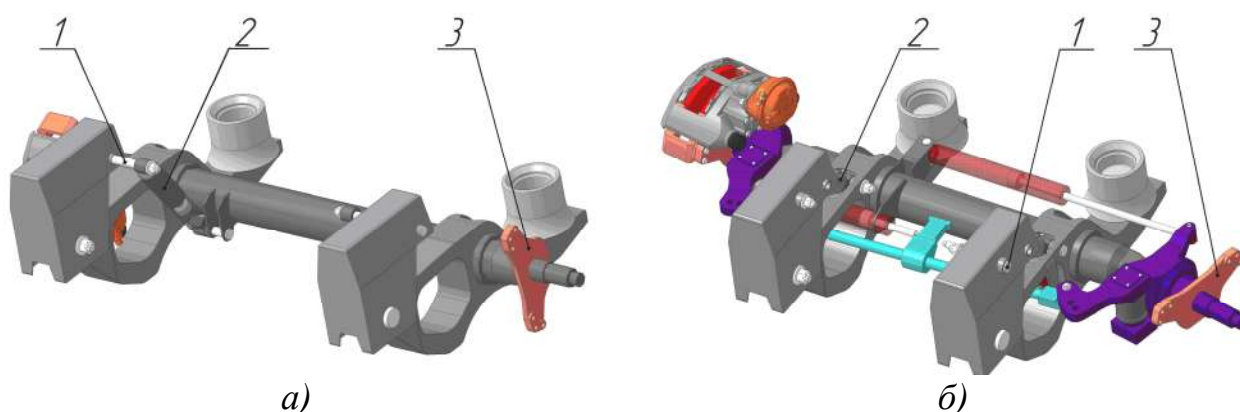


Рисунок 8 – Структура блоку «керований міст»

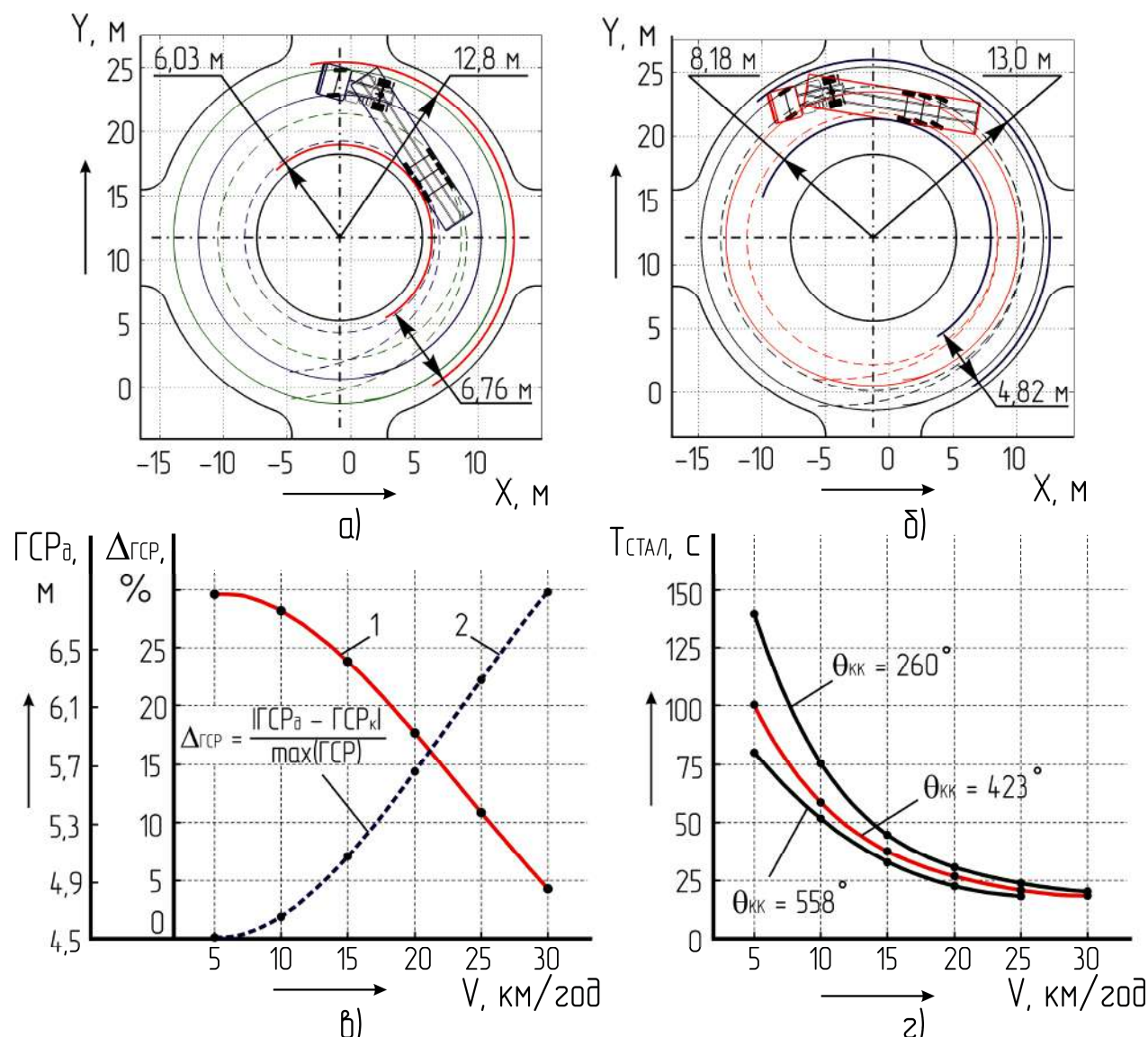
Раціоналізація параметрів $p = |\varphi_0 \quad m|$ рульової трапеції заснована на мінімізації функціоналу $\|\Theta_{\varphi_{зв}}(p, \Theta_{вн}) - \Theta_{T_{зв}}(\Theta_{вн})\| \rightarrow \min$ завдяки варіацій довжини m бокових важелів φ_0 трапеції та кутів початкового їх положення. При цьому, контролюється абсолютна похибка між фактичними Θ_{φ} та теоретично необхідними Θ_T (2) кутами повороту коліс напівпричепи, найбільше значення якої не перевищило $0,4^\circ$. Отриманні результати фактичних кутів повороту коліс напівпричепи відповідають наступним остаточно прийнятим геометричним параметрам рульової трапеції: довжина бокових важелів для усіх мостів однакова та складає 200 мм; кути початкового положення бокових важелів для трапеції першого моста – $50^\circ 48'$, другого моста – $67^\circ 12'$, третього моста – $75^\circ 12'$.

Перетворення підтримуючого моста у керований призвело до збільшення загальної його маси на 150 кг. Патентом № UA 99269 U підтверджена унікальність запропонованої конструкції керованого моста (рис. 9, б), а патентом № UA 114382 – концептуальне рішення щодо створення комбінованих балок мостів. Прийняті конструктивні параметри комбінованих балок мостів перевірені щодо виконання умов міцності за допомогою програми SolidWorks.



а) підтримуючого типу; б) керованого типу; 1 – верхнє кріплення амортизатора;
2 – амортизатор; 3 – кронштейн кріплення супорта
Рисунок 9 – Конструкції мостів для напівпричепи Fliegl

З метою визначення доцільності застосування для дволанкового сидельного автопоїзда САКП напівпричепа виконано віртуальні заїзди: рух по колу до моменту виникнення сталого руху (рис. 10); «поворот на 180° , $R_{\text{п}} = 25$ м»; «переставка $S_{\text{п}} = 20$ м» (рис. 11). Для імітаційного моделювання руху по колу (рис. 10, а, б) прийняті наступні вихідні дані: бажана максимальна швидкість руху – 10 км/год, час руху – 58 с (без САКП), 24 с (із САКП), кут повороту керма – 423° , що відповідає $R_{\text{вг}} = 5,3$ м – для САП з некерованим напівприцепом (рис. 1, з). Рисунки 10, а і б ілюструють очевидні переваги щодо застосування САКП для дволанкового сидельного автопоїзда за рахунок скорочення величини габаритної смуги руху від 6,76 м (для автопоїзда без САКП) до 4,82 м (для автопоїзда із САКП), тобто, на 30 %.



а) САКП напівпричепа дезактивована; б) САКП напівпричепа активована;
в) графік залежності ГСП, та процентної різниці ($\Delta_{\text{ГСП}}$) між ГСП, отриманої без врахування і з врахуванням динаміки руху САП з некерованим напівприцепом, від швидкості його руху; г) графік залежності часу встановлення сталого руху САП з некерованим напівприцепом ($T_{\text{СТАЛ}}$) по колу в залежності від швидкості його руху
Рисунок 10 – Віртуальні випробування сидельного автопоїзда «рух по колу»

Крім того, на прикладі сидельного автопоїзда з некерованим напівпричепом доведено вплив динаміки руху САП на показники його маневреності: габаритна смуга руху змінюється від 6,88 м до 4,85 м (на 2,03 м) відповідно до зміни швидкості сталого руху від 5 км/год до 30 км/год (лінія 1, рис. 10, в), до того ж, основний вплив на зміну ГСР здійснює зміна внутрішнього габаритного радіусу САП, тобто, величина відведення шин напівпричепа; середній процент різниці ГСР, отриманої без врахування та з урахуванням динаміки руху САП (лінія 2, рис. 10, в) становить 12 %; час встановлення сталого руху по колу САП змінюється від 18 с до 100 с відповідно до зміни швидкості руху від 5 км/год до 30 км/год (рис. 10, з).

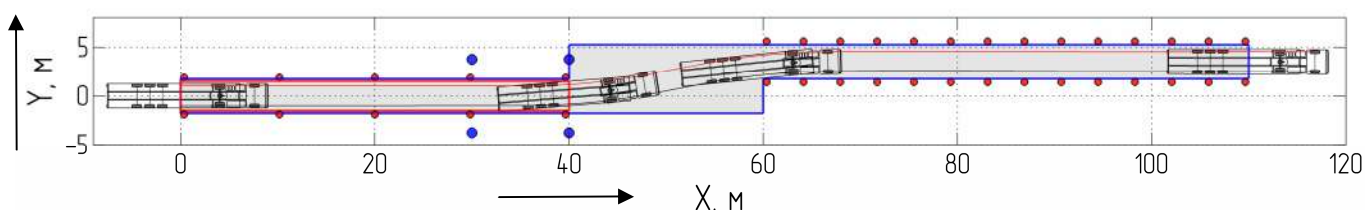


Рисунок 11 – Результат випробувань «переставка $S_n = 20$ м» із САКП

Попередньо, імітаційна модель системи активного керування поворотом напівпричепа тестувалась окремо від імітаційної моделі динаміки руху автопоїзда за критерієм кутів повороту коліс трьох мостів. Відносно малий відсоток розходження значень фактичних кутів повороту (до 1,5 %) у порівнянні з теоретично необхідними вказує на правильний вибір параметрів апаратури гідравлічного приводу та рульової трапеції мостів напівпричепа.

Результати віртуальних заїздів зазначили, що усі маневри є стійкими, прогнозованими та вказують на високу якість програмування і налаштування імітаційної моделі.

ВИСНОВКИ

Основні результати, які отримані в процесі теоретичних і експериментальних досліджень, полягають у наступному.

1. У дисертаційній роботі запропоновано загальний підхід щодо створення комплексної розрахункової моделі, яка встановлює зв'язок між динамікою руху дволанкового сидельного автопоїзда та системою активного керування поворотом напівпричепа. Дослідження розробленої імітаційної моделі встановили підвищення точності моделювання руху автопоїзда на 12 % при зменшенні часу розрахунків на 50 % у порівнянні з існуючими методами. Встановлений взаємозв'язок між кутами складання ланок автопоїзда, кутами повороту коліс напівпричепа та параметрами компоновки його ланок дозволяє підвищити маневреність автопоїзда у середньому на 7,5 %.

Отримані результати підтверджують актуальність завдання щодо покращення параметрів маневреності сидельних автопоїздів шляхом вдосконалення моделювання складних мехатронних систем інтегрованих до математичних моделей динаміки руху автопоїздів.

2. Експериментальними дослідженнями при використанні унікального вимірювально-реєструючого комплексу підтверджено адекватність запропонованої імітаційної моделі динаміки руху сидельного автопоїзда, загальна відносна похибка кутів складання його ланок у порівнянні з теоретичними дослідженнями не перевищила 5 %. За допомогою критерію Фішера доведено відтворення експерименту за трьома тестовими заїздами.

Отримані результати вказують на доцільність використання запропонованої імітаційної моделі для теоретичного дослідження параметрів руху дволанкового сидельного автопоїзда.

3. Теоретичні дослідження функціональних зв'язків між елементами системи активного керування поворотом напівпричепа показали зручність та ефективність запропонованої концепції проектування керованих мостів як складної мехатронної системи. На що вказує відносно малий відсоток розходження (до 1,5 %) значень кутів повороту коліс напівпричепа у порівнянні з теоретично необхідними.

Отримані результати є теоретичним підґрунтям для створення алгоритмів управління роботою елементів системи активного керування поворотом напівпричепа.

4. Розроблена методика визначення теоретично необхідних кутів повороту коліс напівпричепа та запропонований алгоритм керування поворотом напівпричепа зменшили габаритну смугу руху дволанкового сидельного автопоїзда на 30 % у порівнянні з габаритною смугою руху некерованого напівпричепа.

Комплексне імітаційне моделювання руху сидельного автопоїзда та системи активного керування поворотом напівпричепа дозволяє запропонувати зручний механізм для створення різноманітних алгоритмів керування елементами системи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Леонтьєв Д. М. Методика визначення максимальних значень теоретично необхідних кутів повороту коліс напівпричепів / Д. М. Леонтьєв, М. В. Дячук, О. С. Лиходій, В. М. Малий, С. В. Мережко // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. №3(7) – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – С. 84-88.

2. Лиходій О. С. Оцінка маневреності двохланкових автопоїздів з системами керування коліс напівпричепа «STEER-BY-WIRE» / О. С. Лиходій, М. В. Дячук // Вісник СевНТУ. – Севастополь : СевНТУ, 2011. – №121. – С. 143-145.

3. Лиходій О. С. Розробка пристосувань вимірювання кінематичних параметрів кермового керування для експериментальних досліджень керованості автопоїзда / О. С. Лиходій, М. В. Дячук // Вісник СевНТУ. – Севастополь : СевНТУ, 2012. – №135. – С. 34-37.

4. Лиходій О. С. Визначення оптимальних параметрів кермових трапецій керованих осей напівпричепа / О. С. Лиходій // «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – №30 (1003). – С. 49-54.

5. Лиходій О. С. Імітаційне моделювання керованої осі напівпричепа / О. С. Лиходій // «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – №10 (1053). – С. 146-152.

6. Лиходій О. С. Імітаційне моделювання гідроприводу управління поворотом керованих коліс причіпної техніки / О. С. Лиходій // Вісник СевНТУ. – Севастополь : СевНТУ, 2013. – №143. – С. 134-137.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Лиходій О. С. Застосування сучасних САПР для конструювання складальних одиниць ланок сидельного автопоїзда / О. С. Лиходій, В. М. Малий, О. С. Костенко // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Механіка машин – основна складова прикладної механіки» присвяченої 110-річчя з дня народження Кожевникова С. М., частина 2, 11-13 квітня 2017 року. – Дніпро: НМетАУ, 2017, С. 274-277. – ISBN 978-966-331-578-2.

8. Лиходій О. С. Планування проведення експерименту щодо визначення параметрів маневреності сидельного автопоїзда DAF XF-95+Fliegl / О. С. Лиходій // Збірник наукових праць: Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі : Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів. – Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2011, С. 49-51.

9. Лиходій О. С. Питання синтезу системи активного керування поворотом коліс причіпних ланок автопоїздів / О. С. Лиходій, М. В. Дячук // Тези доповідей: Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні (до 50-річчя інституту Укравтобуспром/ВКЕІ Автобуспром) : Всеукраїнська науково-практична конфер. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015, С. 20-22.

10. Лиходій О. С. Загальні положення алгоритмізації керування поворотом коліс причіпних ланок / О. С. Лиходій, М. В. Дячук // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 19-21 жовтня 2015 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та ін.]. – Вінниця: ВНТУ, 2015, С. 145-147.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. А. с. 38737 Україна. Математична модель руху зчленованих пневмоколісних транспортних засобів по криволінійній траєкторії / О. С. Лиходій (Україна). – № 38920 ; заявл. 05.04.2011; зареєстр. 22.06.2011.

12. А. с. 73938 Україна. Імітаційна модель системи активного керування поворотом напівпричепа інтегрована з імітаційною моделлю динаміки руху автопоїзду / О. С. Лиходій (Україна). – № 74639 ; заявл. 31.07.2017; зареєстр. 26.09.2017.

13. А. с. 68730 Україна. Методика визначення геометричних параметрів трапецій для керованих мостів напівпричепів / О. С. Лиходій (Україна). – № 68681 ; заявл. 23.09.2016; зареєстр. 23.11.2016.

14. Пат. UA 97870 Україна, МПК G01B 5/24. Пристрій для вимірювання кута складання сидельного автопоїзда / Дячук М. В., Лиходій О. С. ; заявник та власник патенту ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – № u 201410909 ; заявл. 06.10.2014 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. №7. – 4 с. : іл.

15. Пат. UA 99269 Україна, МПК B62D 7/15. Пристрій для блокування кермового приводу керованої осі причіпних ланок автопоїзда / Лиходій О. С. ; заявник та власник патенту ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – № u 201413562 ; заявл. 17.12.2014 ; опубл. 25.05.2015, Бюл. №10. – 4 с. : іл.

16. Пат. UA 114382 Україна, МПК B60B 35/04. Балка комбінованого моста для причіпних ланок автопоїзда / Лиходій О. С., Малий В. М. ; заявник та власник патенту ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». – № u 201608642 ; заявл. 08.08.2016 ; опубл. 10.03.2017, Бюл. №5. – 4 с. : іл.

17. Лиходей А. С. Анализ состояния и возможного развития вопроса «управляемость автомобиля» / А. С. Лиходей, М. В. Дячук // Новини науки Придніпров'я. Науково-практичний журнал. Серія: інженерні дисципліни. – Дніпропетровськ : ПДАБтаА, 2005. – №3. – С. 35-39.

18. Лиходій О. С. Визначення кута взаємного розміщення ланок сидельного автопоїзда експериментальним шляхом / О. С. Лиходій, М. В. Дячук, М. П. Литвиненко // Сб. науч. тр.: Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин; Вып. 66. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2012, С. 211-216.

АНОТАЦІЯ

Лиходій О. С. Підвищення маневреності дволанкового сидельного автопоїзда з активним керуванням поворотом причіпної ланки. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори (274 – автомобільний транспорт). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет МОН України, Харків, 2018.

У дисертації зазначена необхідність у застосуванні системного підходу при моделюванні криволінійного руху дволанкового сидельного автопоїзда, що полягає у поєднанні масових, геометричних та кінематичних параметрів автопоїзда з робочими процесами, що відбуваються в елементах системи активного керування поворотом напівпричепа з можливістю дослідження варіацій алгоритму керування елементами системи. Встановлено взаємозв'язок між кутами складання ланок автопоїзда, кутами повороту коліс напівпричепа та параметрами компоновки його ланок, який у порівнянні з існуючими методиками дозволяє підвищити маневреність автопоїзда у середньому до 7,5 %. Розроблена імітаційна модель динаміки руху сидельного автопоїзда з інтегрованою до неї імітаційної моделі системи активного керування поворотом напівпричепа дозволила підвищити точність моделювання та зменшити час розрахунків у порівнянні із загально прийнятою методикою. Адекватність моделі доведено експериментальним шляхом.

Розроблена методика визначення теоретично необхідних кутів повороту коліс напівпричепа та запропонований алгоритм керування поворотом напівпричепа дозволили зменшити габаритну смугу руху дволанкового сидельного автопоїзда на 30 % у порівнянні з некерованим напівприцепом.

Ключові слова: дволанковий сидельний автопоїзд, система активного керування поворотом напівпричепа, технологія «steer-by-wire», імітаційне моделювання, раціоналізація конструкції вузлів, алгоритм керування.

АННОТАЦІЯ

Лиходей А. С. Повышение маневренности двухзвенного седельного автопоезда с активным управлением поворотом прицепного звена. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы (274 – автомобильный транспорт). – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет МОН Украины, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена решению вопросов повышения маневренности двухзвенного седельного автопоезда путем усовершенствования расчетных методов, учитывая функциональные связи между системой активного управления поворотом прицепного звена и динамикой криволинейного движения автопоезда, средствами имитационного моделирования.

Анализ состояния вопросов моделирования криволинейного движения двухзвенных седельных автопоездов указал на необходимость использования системного подхода, который заключается в совмещении массовых, геометрических и кинематических параметров автопоезда с рабочими процессами, которые реализованы в аппаратах гидравлического привода, элементах электрической и электронной частях системы активного управления поворотом полуприцепа. Для реализации системного подхода впервые установлена взаимосвязь между углами складывания автопоезда, углами поворота колес полуприцепа и параметрами компоновки его звеньев, которая позволила увеличить маневренность автопоезда в среднем на 7,5 % в сравнении с существующими методиками.

Предложенная комплексная расчетная модель, которая устанавливает функциональные связи между динамикой движения седельного автопоезда и системой активного управления поворотом полуприцепа, позволила увеличить точность расчетов на 12 % и уменьшить время расчетов на 50 % по сравнению с общепринятой методикой.

Экспериментальными исследованиями при использовании уникального измерительно-регистрирующего комплекса получено подтверждение адекватности предложенной имитационной модели, относительная ошибка углов складывания автопоезда по сравнению с теоретическими исследованиями не превысила 5 %.

Для составления имитационной модели системы активного управления поворотом полуприцепа определены рациональные параметры рулевых трапеций

его мостов, а также определены взаимосвязи между разными по физическим свойствам элементами системы. Относительно малый процент расхождения фактических значений углов поворота по сравнению с теоретически необходимыми значениями (до 1,5 %) указывает на правильность предварительно назначенных параметров аппаратуры гидравлического привода и геометрических параметров рулевой трапеции управляемых мостов полуприцепа.

Разработанная методика определения теоретически необходимых углов поворота колес полуприцепа и предложенный алгоритм управления поворотом полуприцепа позволили уменьшить габаритную полосу движения седельного автопоезда на 30 % по сравнению с неуправляемым полуприцепом.

Ключевые слова: двухзвенный седельный автопоезд, система активного управления поворотом полуприцепа, технология «steer-by-wire», имитационное моделирование, рационализация конструкции узлов, алгоритм управления.

ABSTRACT

Lykhodii O. S. Increasing of maneuverability of two-link articulated vehicle with active turning of semitrailer. – Manuscript copyright.

Dissertation on competition of a scientific degree of the Candidate of Engineering Sciences (Doctor of Philosophy) on specialty 05.22.02 – automobiles and tractors (274 – motor transport). – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

In the thesis there was substantiated the necessity to use systematic approach on forming active turning control system of trailing unit of articulated vehicle using simulation modelling which stands in combination of mass, geometrical and kinematic parameters of units of articulated vehicle with operating processes occurring in hydraulic gear and the elements of electrical and electronic constituents. There were proposed regulations on determining the type and location of the elements of active turning control system on articulated vehicle. There was found interaction between the angles of combining units of articulated vehicle, the angles of wheel turning of semitrailer and parameters of arrangement of its units that allowed to increase manoeuvrability of articulated vehicle on average to 7,5 % as opposed to the present methods. There was developed simulation model of the dynamics of motion of articulated vehicle with integrated to it simulation model of active turning control system of a semitrailer; that model allowed to increase accuracy of modelling and reduce time for calculations in comparison with generally accepted methods. There was fulfilled full-sized confirmation of the adequacy of simulation model of the dynamics of motion of articulated vehicle with uncontrolled semitrailer. Theoretical investigations proved the necessity to take into consideration dynamic constituents on modelling the dynamics of motion of articulated vehicle.

Keywords: two-link articulated vehicle, active turning control system of semitrailer, technology «steer-by-wire», imitation modelling, rationalization of the structure of technical systems, algorithm of controlling.