



УКРАЇНА

(19) UA (11) 91540 (13) C2
(51) МПК (2009)
B60L 13/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СИСТЕМА ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ПІДВІСУ ЛЕВІТУЮЧОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

1

(21) а200711715

(22) 23.10.2007

(24) 10.08.2010

(46) 10.08.2010, Бюл. № 15, 2010 р.

(72) ДЗЕНЗЕРСЬКИЙ ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ,
ЗЕВІН ОЛЕКСАНДР АРОНОВИЧ, РАДЧЕНКО МИ-
КОЛА ОЛЕКСІЙОВИЧ(73) ІНСТИТУТ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ І ТЕХ-
НОЛОГІЙ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРА-
ЇНИ "ТРАНСМАГ"

(56) JP 08205315 A; 09.08.1996

UA 69977 A; 15.09.2004

JP 09266603 A; 07.10.1997

JP 55103071; 06.08.1980

RU 2058235 C1; 20.04.1996

2

RU 9420 U1; 16.03.1999

DE 10219818 A1; 13.11.2003

SU 1300785 A1; 22.10.1984

(57) Система електродинамічного підвісу левітую-
чого транспортного засобу, що містить на плоскій
шляховій структурі ряди контурів та ряди надпро-
відних магнітів на візках транспортного засобу, яка
відрізняється тим, що на плоскій шляховій струк-
турі встановлено два згаданих ряди прямокутних
короткозамкннутих контурів, максимально рознесе-
них в поперечному напрямі, а на донних площинах
візків транспортного засобу встановлені чотири
ряди згаданих надпровідних магнітів по два ряди
симетрично відносно повздовжніх осей кожного
ряду прямокутних короткозамкннутих контурів.

Вінахід відноситься до галузі транспортної те-
хніки, а саме - до магнітолевітуючого високошвид-
кісного наземного транспорту.

Високошвидкісна електродинамічна безконта-
ктна транспортна система в практиці проектування
та побудови експериментальних зразків магніто-
левітуючого транспорту являється найбільш по-
ширеною і її можна віднести до транспорту майбу-
тнього.

Проте побудовані її експериментальні зразки
не являються досконалими і вони потребують по-
дальшого удосконалення.

При створенні транспортної магнітолевітуючої
системи на стадії проектування необхідно забез-
печити не тільки левітацію транспортного засобу і
його стійкість руху як в повздовжній і поперечній
вертикальних площинах, так і у горизонтальній
площині. Вирішення цієї проблеми являється
складним із-за того, що левітація магнітного об'єк-
ту, який рухається над плоскою електропровідною
шляховою структурою, нестійка в загальному ви-
падку в вертикальних і у горизонтальній площинах.
При нестійкості руху неможливо забезпечити леві-
таційний рух транспортного засобу.

Стабілізації руху транспортного засобу у вер-
тикальній площині добиваються шляхом обпиран-
ня кузова транспортного засобу на візки через
пружно-дисипативні елементи.

Щоб досягти стабілізації руху транспортного
засобу у поперечній вертикальній і горизонтальній

площинах крім пружно-дисипативних елементів в
поперечному напрямі застосовують профільовані
шляхові структури (частіше всього у вигляді U-
подібного і П-подібного окреслення або профільо-
вані окреслення візків).

Так відомо є транспортна система з елект-
родинамічним підвісом за а.с. №1533195, МПК
B60L13/10, автори С.В.Васильєв, К.К.Кім,
В.І.Матін, В.О.Дзензерський, Б.Л.Заславський, яка
опублікована 05.11.87. У її конструкції стійкість
руху транспортного засобу забезпечується окрес-
ленням несучої балки шляхової структури, що має
в поперечному перерізі форму рівнобічної тра-
пеції, зверненої короткою основою донори (у сто-
рону транспортного засобу), а транспортний засіб
охоплює шляхову структуру. Силова магнітна сис-
тема у поперечному перерізі містить дві симетрич-
ні левітаційні пари (надпровідні магніти і коротко-
замкнуті контури), а також лінійний синхронний
двигун, що має надпровідні магніти збудження на
транспортному засобі і статорні контури - на бал-
ках шляхової структури.

Таким чином, основним конструктивним при-
йомом, що створює умови для стабілізації руху
транспортного засобу, є профілювання шляхової
структури з наданням крилоподібних форм донним
відгинам екіпажу.

До недоліків аналогу варто віднести те, що по-
вітряна подушка, утворена швидкісним напором
повітря, неконтрольовано збільшує кліренс. При

(13) C2
(11) 91540
(19) UA

цьому зменшується магнітний зв'язок транспортного засобу із струмопровідними елементами шляхової структури, бо шляхові контури попадають у зону периферійних полів магнітів збудження. Це створює небезпеку втрати стійкості руху, в першу чергу, при бокових качаннях.

Відомою також є система підвісу і тяги транспортного засобу за а.с. 1300785 МПК L13/10, автори В.А.Винокуров, Г.С. Іванов, Н.Н.Іноземцев (Московський інститут інженерів транспорту), яка опублікована 22.10.84 р. У цьому технічному рішенні стабілізаційний ефект досягнуто за рахунок профілювання шляхової структури. В даному випадку шляхову структуру виконано жолобоподібною (U-подібною). Магніти збудження прикріплені на бортах транспортного засобу, відповідні їм пасивні короткозамкнуті обмотки підвісу і активні контури лінійного двигуна розміщені на стінках жолоба і частково на донній його площині. Стабілізація руху досягається за рахунок спільної реакції надпровідних магнітів та обмоток шляхової структури.

До недоліків системи можна віднести відсутність засобів гасіння бокових качань одного з найбільш небезпечних причин втрати стійкості руху, особливо при високому розташуванні центру ваги транспортного засобу над шляховими контурами.

Загальною вадою обох цих технічних рішень є складна конструкція ходових частин транспортного засобу і шляхової структури внаслідок їх профілюваного окреслення в поперечному перерізі.

Найбільш близьким технічним рішенням, взятим як прототип даного винаходу, є система стабілізованого підвісу магнітолевітуючого транспортного засобу за а.с. № 69977А 7 В60L13/04, опублікованим 15.09.04 р., автори В.О.Дзензерський, О.А.Зевін, М.О.Радченко.

В цьому технічному рішенні, на відміну від описаних вище рішень, шляхова структура і донні поверхні візків виконані плоскими, до яких прикріплені відповідно короткозамкнені шляхові контури і надпровідні магніти.

Стабілізація руху транспортного засобу цієї системи при його просторових коливаннях досягається шляхом застосування як пружно-дисипативних елементів між візками та корпусом, так і шляхом застосування чотирьох смуг шляхових короткозамкнених контурів (по дві смуги під кожним рядом надпровідних магнітів).

Кожна смуга контурів у сталому режимі руху знаходиться під своїм рядом надпровідних магнітів таким чином, що проекція центрів ваги магнітів на площину шляхового полотна проходить по середній лінії між рядами контурів. Завдяки цьому при раціональному виборі розмірів контурів, магнітів та зазорів між рядами шляхових контурів досягається стійкість руху транспортного засобу у двох вертикальних та горизонтальній площинах, тобто при просторових його коливаннях.

При цьому положення проекцій повздовжніх вісей надпровідних магнітів на площину надпровідних контурів не виходять в процесі руху транспортного засобу за межі зазору між двома рядами шляхових контурів в прямолинійних і криволінійних ділянках шляху завдяки протилежному напрямку магнітних сил, діючих від контурів на надпровідні

магніти. В результаті такого характеру взаємодії сумарні бічні сили, діючі на екіпаж, є відновлюючими.

Недоліком такої транспортної системи є багаторядна (чотирьохрядна) струмопровідна шляхова структура, що може негативно позначитися на її вартості.

У винаході, що описується, пропонується установка вздовж шляхової структури два ряди струмопровідних короткозамкнених прямокутних контурів, рознесених у поперечному напрямі по ширині транспортного засобу, а на донних поверхнях візків чотири ряди надпровідних магнітів (по два ряди над кожним рядом контурів шляхової структури).

Ціль даного винаходу, є створення системи електродинамічного підвісу магнітолевітуючого транспортного засобу, який забезпечує його стійкість руху, демпфірує всі можливі види коливань та гарантує їх швидке загасання в прямолинійній та криволінійних ділянках плоскої шляхової структури з двома рядами короткозамкнених струмопровідних контурів (на відміну від основного прототипу), що приводить до спрощення та здешевлення конструкції шляхової структури порівняно з технічним рішенням прототипу.

Взаємне розміщення двох рядів магнітів та відповідних їм рядів шляхових контурів повинно бути таким, щоб проекції на площину контурів повздовжніх вісей, що проходять посередині зазору між двома рядами магнітів, проходили в стані рівноваги транспортного засобу вздовж повздовжніх вісей відповідних їм контурів.

Таке взаємне розташування магнітів та шляхових струмопровідних контурів при раціональному виборі основних їх параметрів, до яких відносяться поперечні розміри шляхових контурів, соленоїдів надпровідних магнітів та зазорів між двома сусідніми рядами магнітів над кожним рядом шляхових контурів, а також значень намагнічувальних сил в соленоїдах забезпечує стійкий левітаційний рух транспортного засобу вздовж шляхової структури у прямолинійних і криволінійних ділянках шляху.

Проблема забезпечення стійкості руху вздовж плоскої шляхової структури з двома рядами шляхових контурів до теперішнього часу вважалась нездійснюваною в плані технічної реалізації.

Поставлена задача вирішується тим, що два ряди надпровідних магнітів, віднесених до кожного ряду шляхових струмопровідних контурів, формують так їх взаємодію, при якій електродинамічні поперечні сили, які діють на ці магніти, направлені в протилежні сторони і поперечний зсув транспортного засобу визиває при раціональному виборі параметрів магнітів та контурів відновлюючі електродинамічні сили в поперечному напрямі, які стабілізують положення транспортного засобу в горизонтальній площині, бо вони направлені в протилежну сторону зсуву.

Вертикальна стабілізація екіпажу в продольній площині досягається за рахунок рівноваги електродинамічних сил, сил ваги та інерційних сил. Стабілізація екіпажу у вертикальній поперечній площині досягається при значенні коефіцієнту

стійкості від перевертання (відношення всіх утримуючих від перевертання моментів до перевертаючих моментів), більшого ніж одиниця. Необхідне значення цього коефіцієнту досягається як за рахунок рознесення в поперечному напрямку по краях транспортного засобу надпровідних магнітів (по два їх ряди на кожну сторону) і смуг струмопровідних шляхових контурів, так і за рахунок протилежно направлених моментів при поперечному зсуві транспортного засобу від відновлюючих поперечних електродинамічних сил і від вертикальних електродинамічних сил взаємодії транспортного засобу та шляхової структури.

При додержанні описаних умов стабілізації транспортного засобу при вертикальних, поперечних переміщеннях та при боковому його качанні, кутові переміщення у вертикальній продольній та в горизонтальних площинах не визначають стійкості левітаційного руху транспортного засобу.

Таким чином, умовою забезпечення стабільності левітаційного руху транспортного засобу у прямолінійних і криволінійних ділянках шляху є раціональний вибір поперечних розмірів шляхових контурів, соленоїдів надпровідних магнітів і поперечних зазорів між соленоїдами кожних із двох рядів магнітів, які знаходяться над відповідними їм смугами шляхових контурів, а також раціональний вибір значень намагнічувальних сил в соленоїдах магнітів.

Для гасіння власних та вимушених коливань транспортного засобу, викликаних його недосконалостями та шляховою структурою, в конструкції транспортного засобу передбачено ресорне підвішування, що включає пружно-в'язкі елементи, завдяки яким зменшується дія різних збурень та ефективно гаситься енергія коливань.

Запропоноване технічне рішення досконаліше від рішення, описаного в прототипу, із-за того, що вартість шляхової структури системи, яка відноситься до прототипу, буде значно більшою, ніж в описаному технічному рішенні, внаслідок використання в транспортній системі прототипу чотирьох рядів струмопровідних шляхових контурів, а в запропонованій системі двох рядів контурів.

Незважаючи на те, що в запропонованій транспортній системі більше надпровідних магнітів, чим у системі прототипу, вартість в цілому запропонованої транспортної системи буде значно нижчою, чим системи прототипу, у зв'язку з тим, що шляхова структура має значно більшу довжину, порівняно з довжиною транспортних засобів.

За наявними в авторів відомостями, запропоновані істотні ознаки, що характеризують сутність винаходу, не відомі в даному розділі техніки.

Запропоноване технічне рішення може бути використано при розробці швидкісних транспортних засобів.

На Фіг.1 приведено загальний вигляд запропонованої транспортної системи (фасад та вигляд із боку), на якій позначено: 1 - кузов, 2 - ходові візки, 3 - надпровідні магніти, 4 - пружно-дисипативні зв'язки, 5 - шляхова структура, 6 - шляхові короткозамкнуті, чотирикутні контури.

Описана система працює таким чином. При поперечних зсувах транспортного засобу в процесі

його руху виникають як вертикальні (левітаційні) сили, що повертають екіпаж в рівноважне положення, яке відповідає мінімальному значенню цих сил, так і поперечні електродинамічні сили взаємодії двох рядів магнітів з кожного силового вузлу А (див. Фіг.1) з відповідним їм рядом шляхових контурів - 6. Ці поперечні сили кожного вузла протилежно направлені і при раціональному виборі поперечних розмірів шляхових контурів, соленоїдів надпровідних магнітів та зазорів між ними відновлюють позиційну рівновагу.

Таким чином ми одержуємо магнітний замок за рахунок взаємодії двох рядів надпровідних магнітів кожного вузла А з відповідним їм рядом шляхових контурів.

Основні ознаки, необхідні для здійснення винаходу: кузов екіпажу опирається на візки за допомогою восьми пружно-дисипативних елементів; на донних поверхнях візків кріпляться чотири ряди надпровідних магнітів, з яких кожні дві пари цих рядів рознесені на максимально можливу відстань у поперечному напрямку (див. Фіг.1); уздовж кожного візка магніти також розташовують попарно з максимально можливою відстанню між цими парами, і мінімально можливою з умов стійкості руху відстанню між магнітами однієї пари (див. Фіг.1); пружно-дисипативні елементи розташовуються вздовж візків так, щоб їх вертикальні осі проходили через середину повздовжнього зазору між двома магнітами кожної пари; повздовжні вісі кожного із двох рядів шляхових контурів повинні збігатися з проєкціями на площину контурів повздовжніх вісей, що проходять посередині поперечних зазорів двох рядів магнітів, які знаходяться над відповідним рядом шляхових контурів; при близькому розташуванні двох магнітів однієї їх пари у повздовжньому напрямку краще з умов досягнення максимальних значень левітаційних сил чередувати напрямки струму в соленоїдах надпровідних магнітів; повинні бути визначені раціональні з умов стабілізації руху екіпажу поперечні розміри шляхових контурів, соленоїдів надпровідних магнітів та зазорів між їх рядами, віднесених до відповідних рядів контурів шляхової структури.

Повздовжні розміри надпровідних магнітів та шляхових контурів не мають впливу ні на підйомну силу, ні на надійність стабілізації; їх встановлюють з міркувань, пов'язаних з проблемами дисипації енергії (яка залежить від значення сили електродинамічного гальмування). Відстань між двома рядами шляхових контурів регламентується тільки однією вимогою - вони повинні бути рознесені на максимально можливу відстань з умов стійкості транспортного засобу від перекидання.

Систему, що патентується, вигідно відрізняє від інших систем те, що в ній теоретично знайдено можливість стабілізації руху екіпажу над плоскою шляховою структурою з двома рядами шляхових контурів. Собівартість її буде значно меншою ніж систем з шляховою структурою профільованого типу і з плоскою шляховою структурою з чотирма рядами шляхових контурів.

Приклад 1.

Як приклад для визначення параметрів запропонованої транспортної системи розглянемо роз-

рахункову схему (Фіг.1), використану авторами для розробки математичної моделі левітаційного руху екіпажу вздовж прямолінійних та криволінійних ділянок шляху та для одержання результатів розрахунків, що характеризують просторові коливання та стійкість руху транспортного засобу.

В математичній моделі враховані як лінійні, так і кутові (просторові) переміщення кузову й візків. Кузов екіпажу 1 опирається на два візки через пружно-дисипативні зв'язки 4. Кількість візків обумовлено принципами раціонального вибору конструктивної схеми. На нижніх площинах візків встановлені надпровідні магніти - 3 у два ряди симетричного розміщення над кожною смугою шляхових контурів - 6 по 16 магнітів на візок.

Фізичні параметри, використані при обчисленнях, узяті без масштабування і є дійсними характеристиками повногабаритного транспортного засобу. Основні з них, що можуть впливати на стабілізацію транспортного засобу мають такі значення:

1. Маса кузова - 25 т;
2. Маса візка з магнітами - 3,75 т;
3. Коефіцієнти жорсткості та в'язкості ресор з демпферами - 200 кН/м і 20 кН·с/м;
4. Швидкість руху 30 - 100 м/с;
5. Габарити (ширина і довжина) соленоїдів надпровідних магнітів - 0,25×1,2 м та шляхових контурів 0,4×1,0 м;
6. Поперечний зазор між двома рядами соленоїдів магнітів, що знаходяться над кожним рядом контурів шляхової структури - 0,16 м;
7. Сила намагнічення в соленоїдах магнітів - 500 кА.

Шляхом інтегрування диференціальних рівнянь, що описують рух екіпажу і зміну струмів у шляхових контурах, були знайдені основні, приведені вище, параметри, що забезпечують стійкість руху транспортного засобу над плоскою шляховою структурою. Оцінка коливань та стійкості руху транспортного засобу проводилась вздовж шляхової структури, яка має окреслення в плані: прямолінійна ділянка довжиною 300 м, вхідна перехідна крива спряження прямолінійної ділянки з круговою кривою довжиною 500 м, кругова крива радіусом $R=8000$ м з нахилом площини структури до горизонтальної площини в сторону центра кривизни 0,1 рад та довжиною 150 м, вихідна перехідна крива - 400 м, пряма - 250 м. При обчисленні варіювалися взаємні габарити співвідношення магнітно-контурних груп.

Результати інтегрування рівнянь руху екіпажу та зв'язаних з ними рівнянь, які описують значення струмів у шляхових контурах при переміщенні екіпажу, приведені при швидкості руху екіпажу $v=100$

м/с графічними залежностями від пройденого шляху S на Фіг.2 величин бічного відносу y_k y_i і кутів бічного качання θ_k , θ_i , на Фіг.3, лінійних переміщень підскакування z_k і z_i і кутів галопування φ_k , φ_i на Фіг.4, левітаційних зазорів Δ_j під крайніми надпровідними магнітами і кутів виляння ψ_k , ψ_i ($k, i=1,2$ - індекси для позначення відповідно кузова та номерів візків; j - для позначення номерів надпровідних магнітів).

Від'ємні значення величин підскакування z_k і z_i (Фіг.3) обумовлені вибором додатного напрямку координат OZ для кожного твердого тіла механічної системи, які направлені зверху вниз. Координата z_k обчислена від положення статичної рівноваги без урахування статичного прогину ресорного підвішування.

Як видно з цих результатів, коливання екіпажу, обумовлені початковими збуреннями системи при $S = 0$, швидко згасають як на прямолінійних, так і на криволінійних ділянках шляхової структури перемінної та постійної кривизни, а екіпаж відсліджує при своєму русі напрямок траси шляхової структури.

При цьому бічні відноси візків і кузова відносно продольної вісі прямолінійного та криволінійних ділянок шляхової структури не перевищують, як видно з Фіг.2 а, у сталому режимі значень відповідно рівних 0,0025 і 0,0154 м, а кути бокового качання 0,004 і 0,0064 радіан.

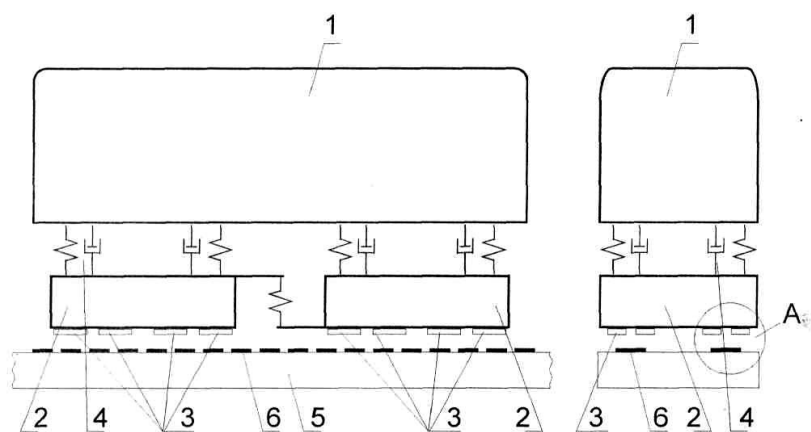
Практично не залежать від кривизни шляхової структури значення вертикальних переміщень візків та кузова екіпажу, що дорівнюють відповідно $\approx 0,01$ і 0,16 м (Фіг.3 а), а також кутів їх галопування та виляння (Фіг.3 б, 4 б).

Екстремальні значення левітаційних зазорів (під крайніми магнітами), як видно з Фіг.4 а, такі, що можуть прийняті для даного виду транспорту.

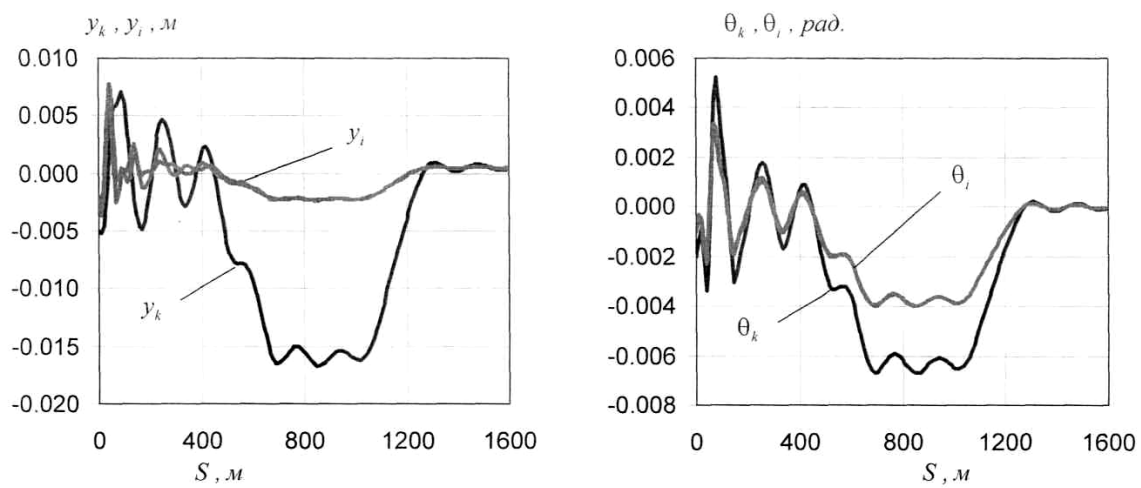
Аналогічні результати отримані також при других значеннях швидкості ($v = 30, 50$ м/с).

Встановлено, що для такої розрахункової схеми можна одержати стійку систему підвісу і для інших параметрів транспортної системи погодженим та планомірним варіюванням габаритів контурів і соленоїдів надпровідних магнітів та значень намагнічувальних сил в них. Стійкість руху повномасштабного екіпажу в прямолінійних та криволінійних ділянках шляхової структури свідчить, що запропонована електродинамічна система може знайти застосування в реальних технічних пристроях.

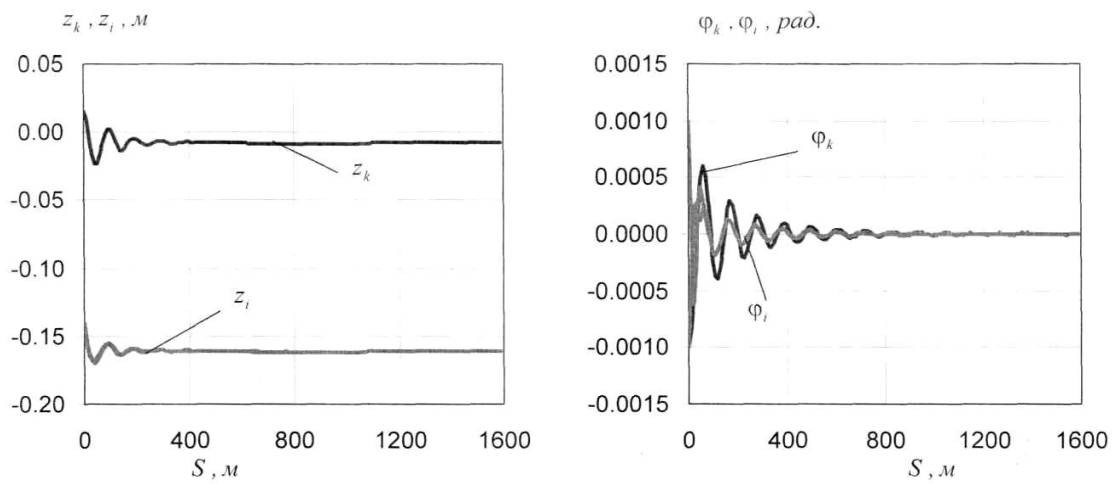
Таким чином, проведені дослідження свідчать про перспективність технічної реалізації системи підвісу, що патентується.



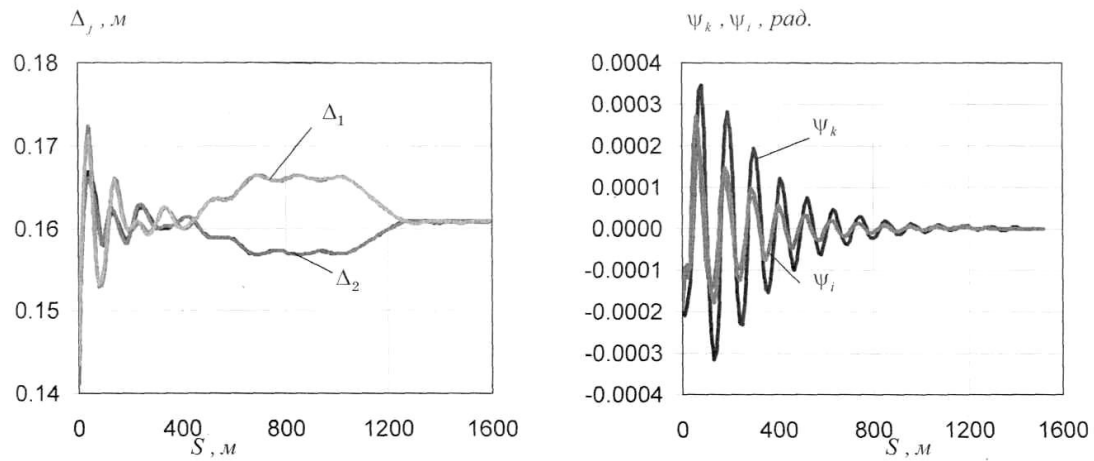
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фіг. 4