



УКРАЇНА

(19) UA (11) 84538 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01C 21/20  
G01S 05/14

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА СИСТЕМИ КООРДИНАТ СУХОПУТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ  
(ВАРІАНТИ)

1

(21) 20040503450  
(22) 07.05.2004  
(24) 10.11.2008  
(31) 10/435,067  
(32) 09.05.2003  
(33) US  
(31) 10/435,068  
(32) 09.05.2003  
(33) US  
(46) 10.11.2008, Бюл.№ 21, 2008 р.  
(72) РЕКОУ ЕНДРЮ КАРЛ ВІЛЬХЕЛЬМ, НЕЛЬСОН  
ФРЕДЕРІК В., МЕРСЕР ДЕЙВ, ПІКЕТТ ТЕРЕНС  
ДАНІЕЛЬ  
(73) ДІР ЕНД КОМПАНІ  
(56) US 6445983 В, 03.09.2002  
US 5987371 А, 16.11.1999  
US 6345231 В, 05.02.2002  
US 6236916 В, 22.05.2001  
JP 9128043, 16.05.1997  
KR 20020003971, 16.01.2002  
SU 1332175 А1, 23.08.1987  
US 5923270, 13.07.1999  
(57) 1. Навігаційна система сухопутного транспор-  
тного засобу, що містить приймач глобальної сис-  
теми позиціонування для прийому сигналу від гло-  
бальної системи позиціонування та генерування  
навігаційної інформації для сухопутного транспор-  
ту, при цьому навігаційна інформація включає по-  
зицію та напрям сухопутного транспортного засо-  
бу, систему керування навігацією, що з'єднана з  
приймачем глобальної системи позиціонування  
для керування транспортним засобом, та компен-  
саційну систему, що з'єднана з приймачем глоба-  
льної системи позиціонування та системою керу-  
вання навігацією для заміни інформації про  
позицію та напрям скоректованою інформацією,  
яка скомпенсована відносно ризикання та крену  
сухопутного транспортного засобу для подачі ско-  
рекованої навігаційної інформації у систему керу-  
вання навігацією, при цьому компенсаційна систе-  
ма містить гіроскоп для вимірювання ступеня  
ризикання сухопутного транспортного засобу, при-  
стрій вимірювання прискорення для вимірювання  
бічного прискорення сухопутного транспортного  
засобу, при цьому компенсаційна система викона-  
на з можливістю генерування скоректованої інфо-

2

рмації про позицію та напрям за допомогою розра-  
хунку з використанням вимірюного ступеня  
ризикання, бічного прискорення, відстані зміщення  
сухопутного транспортного засобу на основі бічно-  
го прискорення, вимірюного пристроєм прискорен-  
ня, та відстані на основі відцентрового прискорен-  
ня сухопутного транспортного засобу, вимірюваної  
за допомогою порівняння змін позицій сухопутного  
транспортного засобу відносно напрямку руху су-  
хопутного транспортного засобу, при цьому систе-  
ма керування навігацією виконана з можливістю  
застосування скоректованої інформації для керу-  
вання сухопутним транспортним засобом.

2. Навігаційна система за п. 1, яка відрізняється  
тим, що компенсаційна система виконана з мож-  
ливістю розраховувати напрям сухопутного транс-  
портного засобу на основі ступеня ризикання, вимі-  
рюного гіроскопом.

3. Навігаційна система за п. 2, яка відрізняється  
тим, що компенсаційна система виконана з мож-  
ливістю розраховувати скоректований напрям  
транспортного засобу з використанням рівняння:  
 $CC = [GR/FMEAS] + [(CGPS - CG).KC/CFR] + Pf$ ,  
де CC означає векторну величину скоректованого  
напрямку, GR - ступінь ризикання, FMEAS - частоту  
вимірювання ступеня ризикання за допомогою гіро-  
скопа, CGPS - напрям, що визначається на основі  
навігаційної інформації, створений приймачем  
глобальної системи позиціонування, CG - напрям,  
визначений за допомогою гіроскопа, KC - змінну  
величину фільтра, CFR - змінну розділення фільт-  
ра напрямку, Pf є величиною, яка проектує скорек-  
тований напрям з центра тяжіння сухопутного  
транспортного засобу на точку, в якій на сухопут-  
ному транспортному засобі установлена антена  
приймача глобальної системи позиціонування.

4. Навігаційна система за п. 1, яка відрізняється  
тим, що гіроскоп містить єдиний гіроскоп для вимі-  
рювання ступеня ризикання.

5. Навігаційна система за п. 1, яка відрізняється  
тим, що компенсаційна система виконана з мож-  
ливістю визначати бічну відстань зміщення на ос-  
нові рівняння:

$$D_{OT} = (H_A \cdot A_g) + D_{HSA},$$

де  $D_{OT}$  означає бічну відстань зміщення сухопутно-  
го транспортного засобу,  $H_A$  - висоту розміщення

(13) C2

(11) 84538

(19) UA

пристрою вимірювання прискорення над контрольною точкою на суходутному транспортному засобі,  $A$  - бічне прискорення, визначене за допомогою пристрою вимірювання прискорення,  $g$  - прискорення сили тяжіння і  $D_{HSA}$  - відстань, що отримується на основі вимірюваного відцентрового прискорення.

6. Навігаційна система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що пристрій вимірювання прискорення складається з єдиного пристрою вимірювання прискорення.

7. Навігаційна система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що компенсаційна система може визначати величину схилу нерівної місцевості на основі вимірюваного бічного прискорення суходутного транспортного засобу, причому величина схилу додається до скоректованої навігаційної інформації.

8. Навігаційна система за п. 7, яка **відрізняється** тим, що система керування навігацією використовує величину схилу для визначення ефективної ширини колії робочого пристрою суходутного транспортного засобу.

9. Навігаційна система за п. 8, яка **відрізняється** тим, що ефективна ширина ( $E$ ) колії визначається на основі рівняння:

$$E = I \cos(S),$$

де  $E$  - ефективна ширина колії,  $I$  - ширина смуги робочого пристрою на плоскій місцевості і  $S$  - величина схилу.

10. Навігаційна система суходутного транспортного засобу, що містить приймач глобальної системи позиціонування для прийому сигналу від глобальної системи позиціонування та генерування навігаційної інформації для суходутного транспорту, при цьому навігаційна інформація включає позицію та напрям суходутного транспортного засобу, систему керування навігацією, що з'єднана з приймачем глобальної системи позиціонування для керування транспортним засобом, та компенсаційну систему, що з'єднана з приймачем глобальної системи позиціонування та системою керування навігацією для заміни інформації про позицію та напрям скоректованою інформацією, що скомпенсована відносно ризикання та крену суходутного транспортного засобу для подачі скоректованої навігаційної інформації у систему керування навігацією, при цьому компенсаційна система містить гіроскоп для вимірювання ступеня ризикання суходутного транспортного засобу, пристрій вимірювання прискорення для вимірювання бічного прискорення суходутного транспортного засобу, при цьому компенсаційна система виконана з можливістю генерування скоректованої інформації про позицію та напрям з використанням вимірюваного ступеня ризикання та бічного прискорення на основі рівняння:

$$C_c = [GR/FMEAS] + [(CGPS - CG) \cdot KC/CFR] + Pf,$$

де  $C_c$  означає векторну величину скоректованого напрямку,  $GR$  - вимірюваний ступінь ризикання,  $F_{MEAS}$  - частоту вимірювання ступеня ризикання гіроскопом,  $CGPS$  - напрям, що визначається на основі навігаційної інформації, переданої приймачем глобальної системи позиціонування,  $CG$  - на-

пряма, що визначається компенсаційною системою на основі вимірювання гіроскопом ступеня ризикання,  $K_c$  - змінну величину фільтра,  $CFR$  - змінну розділення фільтра напрямку, і  $Pf$  є величиною, яка проектує скоректований напрям з центра тяжіння суходутного транспортного засобу на точку, в якій на суходутному транспортному засобі установлена антена приймача глобальної системи позиціонування, причому система керування навігацією виконана з можливістю застосування скоректованої інформації для керування суходутним транспортним засобом.

11. Навігаційна система за п. 10, яка **відрізняється** тим, що гіроскоп складається з єдиного гіроскопа для вимірювання ступеня ризикання.

12. Навігаційна система за п. 10, яка **відрізняється** тим, що компенсаційна система виконана з можливістю визначати бічну відстань зміщення для суходутного транспортного засобу на основі бічного прискорення, визначеного за допомогою пристрою вимірювання прискорення, та відстані, що отримується на основі вимірюваного відцентрового прискорення, вимірюваної за допомогою порівняння змін позиції суходутного транспортного засобу відносно напрямку руху суходутного транспортного засобу.

13. Навігаційна система за п. 12, яка **відрізняється** тим, що компенсаційна система виконана з можливістю визначати бічну відстань зміщення на основі рівняння:

$$D_{OT} = (H_A - A/g) + D_{HSA},$$

де  $D_{OT}$  означає бічну відстань зміщення суходутного транспортного засобу,  $H_A$  - висоту розміщення пристрою вимірювання прискорення над контрольною точкою на суходутному транспортному засобі,  $A$  - бічне прискорення, визначене за допомогою пристрою вимірювання прискорення,  $g$  - прискорення сили тяжіння і  $D_{HSA}$  - відстань, що отримується на основі вимірюваного відцентрового прискорення.

14. Навігаційна система за п. 10, яка **відрізняється** тим, що пристрій вимірювання прискорення містить єдиний пристрій вимірювання прискорення.

15. Навігаційна система за п. 10, яка **відрізняється** тим, що компенсаційна система може визначати величину схилу нерівної місцевості на основі вимірюваного бічного прискорення суходутного транспортного засобу, причому величина схилу додається до скоректованої навігаційної інформації.

16. Навігаційна система за п. 15, яка **відрізняється** тим, що система керування навігацією використовує величину схилу для визначення ефективної ширини колії робочого пристрою суходутного транспортного засобу.

17. Навігаційна система за п. 16, яка **відрізняється** тим, що ефективна ширина ( $E$ ) колії визначається на основі рівняння:

$$E = I \cos(S),$$

де  $E$  - ефективна ширина колії,  $I$  - ширина смуги робочого пристрою на плоскій місцевості і  $S$  - величина схилу.

Винахід належить до компенсаційної системи системи координат сухопутного транспортного засобу, при цьому компенсаційна система з'єднана з приймачем системи визначення координат, який виконаний з можливістю подачі в компенсаційну систему системи координат інформації про положення і напрям, що базується на глобальній системі визначення координат, включаючи засоби для вимірювання кута рискання сухопутного транспортного засобу.

Недоліком навігаційних систем, що засновані на глобальній системі позиціонування (в подальшому GPS), що застосовуються в сухопутних транспортних засобах, є те, що приймач GPS таких систем може визначати лише місце устаткування антени GPS. У більшості сухопутних транспортних засобів місце устаткування антени вибирається таким чином, щоб антена мала вільний напрям в небо і тим самим до супутників GPS. Ця позиція, на жаль, як правило, не є бажаною точкою відліку (наприклад, зчепленням трактора, віссю сухопутного транспортного засобу, точкою під зчепленням трактора або т.п.). Тому визначені з допомогою GPS позиція і напрям рушення сухопутного транспортного засобу є неправильними, якщо транспортний засіб пересікає нерівну місцевість (таку як місцевість з схилом, горбами, улоговинами і т.п.), що може приводити до проїзду декілька разів по одній смузі або до помилок в напрямі.

Для розрахунку позиції бажаної точки відліку, необхідно виконувати точне вимірювання просторової орієнтації (вирівнювання) сухопутного транспортного засобу відносно системи координат, в якій здійснюється навігація. Вихідною ідеєю для вимірювання вирівнювання сухопутного транспортного засобу [дивись EP 0845198 A] є устаткування на транспортному засобі кількох антен для GPS в фіксованому, відомому положенні. Коли здійснюються точні вимірювання з допомогою GPS, можна використати відносні положення антен, що визначаються в одному циклі сканування навігаційної системи, для обчислення орієнтації (позиції, вирівнювання і напрям рушення) усього сухопутного транспортного засобу. Навігаційна система, працюючи відповідно до цієї вихідної ідеї, вимагала б декількох приймачів GPS і тому була б занадто дорогою.

Як альтернативне рішення, можна застосовувати інерціальну систему в комбінації з GPS [дивись US 6445983 B]. При цій вихідній ідеї інерціальна система визначає первинну інформацію про позицію і напрям для здійснення рушення або керування сухопутним транспортним засобом. Потім використовується інформація, що постачається від GPS, для того щоб коректувати відхилення первинної інформації про позицію і напрям. Інерціальні системи містять гіроскопи для вимірювання кута крену, кута рискання і кута нахилу і можуть мати вимірювач прискорення для поліпшення точності інформації, що вимірюється гіроскопами. Такі інерціальні системи повинні працювати відносно точно і тому є занадто дорогими для багатьох застосувань, так само як системи з декількома антенами.

Крім того, було запропоновано [US 5987371 A,

US 6345231 B] визначати в сухопутних транспортних засобах позицію опорної точки в залежності від позиції антени GPS і матриці перерахунку, в яку входять боковий нахил транспортного засобу і/або нахил транспортного засобу в напрямі рушення і орієнтація транспортного засобу в горизонтальній площині навколо вертикальної осі повороту (кут рискання). Три вказаних величини вимірюють за допомогою відповідних датчиків, наприклад, компаса для кута рискання і вимірювачів нахилу для нахилів. Якщо повинно виконуватися автоматичне керування, то кут напрям визначають на основі відхилень опорної точки і вирівнювання транспортного засобу відносно заданого шляху. У цьому випадку виконується додаткова оцінка лише інформації про позицію антени GPS, в той час як інформацію про напрям виводять з сигналів датчиків.

У іншій навігаційній системі [дивись US 6236916 B] позицію і напрям сухопутного транспортного засобу визначають за допомогою антени GPS. Боковий кут нахилу (кут крену) вимірюють за допомогою датчика і використовують для коректування позиції, визначеного за допомогою антени GPS. Є також окремий датчик для напрям рушення, сигнали якого подаються в систему автоматичного керування для забезпечення стійкого керування. У цьому випадку інформація про позицію і напрям, та, що надходить від антени GPS, коректується за допомогою вимірюваного кута крену. Визначення напрям за допомогою сигналів GPS можливе лише тоді, коли транспортний засіб перебуває в рушенні.

Задача, що покладена в основу винаходу складається в створенні навігаційної системи, в якій з допомогою інерціальної системи забезпечується поліпшення глобальної системи визначення координат, що отримується з приймача навігаційної інформації, такої як позиція, напрям і відстань між колями, для запобігання погрешностей, які обумовлюються зміною орієнтації сухопутного транспортного засобу (наприклад, креном і рисканням) на нерівній місцевості, яка однак не потребує цілковитої точності гіроскопів і вимірювачів прискорення звичайних інерціальних систем.

Ця задача вирішується, згідно з винаходом, за допомогою ознак пунктів 1 і 12 формули винаходу, при цьому в інших пунктах формули винаходу приведені ознаки, які переважно модифікують рішення.

Даний винахід належить до компенсаційної системи системи координат для сухопутного транспортного засобу, зокрема, сільськогосподарського транспортного засобу, такого як трактор, зернозбиральний комбайн, зрошувач, бавовнозбиральна машина або т.п. Компенсаційна система системи координат виконує компенсацію інформації, що отримується з глобальної системи позиціонування, такої як позиція, напрям, крок колії і т.п., з метою компенсації погрешностей, які обумовлюються змінами орієнтації сухопутного транспортного засобу на нерівній місцевості. Таким чином, підвищується точність визначення положення без непотрібних витрат.

Компенсаційна система системи координат

з'єднана з приймачем глобальної системи позиціонування, який приймає позиційний сигнал глобальної системи позиціонування (як правило, супутникової), і отримує з нього навігаційну інформацію, включаючи позицію (наприклад, довготу і широту) і напрям сухопутного транспортного засобу. Інформацію про напрям можна отримувати з прийнятих сигналів на основі ефекту Доплера або ж з двох послідовно певних позицій. Компенсаційна система системи координат замінює визначені приймачем системи визначення координат позицію і напрям скоректованою позицією і скоректованим напрямом, які скоректовані відносно кута рискання і переважно також кута крену транспортного засобу з метою отримання скоректованої навігаційної інформації, яка може служити для навігації або автоматичного керування сухопутним транспортним засобом.

Крім того, компенсаційна система системи координат може визначати схил нерівної місцевості. Величину схилу можна використати для визначення ефективної ширини, колії з'єданого з сухопутним транспортним засобом (наприклад, що буксирується або укріпленого на ньому) робочого пристрою.

Нижче приводиться докладний опис прикладу виконання, представленого на кресленнях, на яких зображено:

Фіг.1 - збільшена блок-схема навігаційної системи, згідно з винаходом;

Фіг.2 - докладна блок-схема навігаційної системи, згідно з винаходом, яка заснована на приймачі глобальної системи позиціонування і взаємодії з компенсаційною системою системи координат;

Фіг.3 - сухопутний транспортний засіб, який пересікає нерівну місцевість і в якому використовується навігаційна система, згідно з винаходом, на вигляді збоку;

Фіг.4 - сухопутний транспортний засіб, показаний на Фіг.3, з додатковою ілюстрацією діяння кута крену сухопутного транспортного засобу на його позицію, на виді спереду;

Фіг.5 - сухопутний транспортний засіб, показаний на Фіг.3, з додатковою ілюстрацією діяння кута рискання сухопутного транспортного засобу на напрям його рушення, на виді зверху;

Фіг.6 - блок-схема компенсаційної системи системи координат показаної на Фіг.2 навігаційної системи;

Фіг.7 - сухопутний транспортний засіб, показаний на Фіг.3, з додатковою ілюстрацією діяння схилу місцевості, що пересікається сухопутним транспортним засобом на ефективну робочу ширину робочого пристрою, що буксирується сухопутним транспортним засобом, на виді зверху;

Фіг.8 - схема взаємозв'язку між ефективною робочою шириною сухопутного транспортного засобу або робочого пристрою, що буксирується ним і схилом місцевості, що пересікається сухопутним транспортним засобом;

Фіг.9 - графічна схема засобу для поліпшення інформації про позицію і напрям, заснованого на глобальній системі позиціонування і сухопутного транспортного засобу, що застосовується в навігаційній системі, при цьому відбувається компен-

сація інформації про позицію і напрям відносно кута крену і кута рискання, коли сухопутний транспортний засіб пересікає, нерівну місцевість.

На Фіг.1 і 2 показаний приклад виконання навігаційної системи 100, згідно з винаходом, яка заснована на глобальній системі позиціонування. Навігаційна система 100 забезпечує засновану на глобальній системі позиціонування навігацію і/або керування сухопутним транспортним засобом 116 (дивись Фіг.3), зокрема, сільськогосподарським сухопутним транспортним засобом, таким як зернозбиральний комбайн, зрошувач, бавовнозбиральна машина, польовий здрібнювач або т.п., коли сухопутний транспортний засіб 116 рухається по дорозі або по борозні в полі. У навігаційній системі 100 можна використати компенсацію системи координат для коректування отриманих з глобальної системи позиціонування навігаційних параметрів, таких як позиція (тобто довгота і широта) і напрям, відносно погрішностей, які обумовлюються змінами орієнтації сухопутного транспортного засобу 116 (тобто креном і рисканням сухопутного транспортного засобу 116), коли воно рухається по нерівній місцевості. Навігаційна система 100 може бути також виконана з можливістю визначення ефективного кроку колії сухопутного транспортного засобу 116 або робочого пристрою, що буксирується ним за рахунок вимірювання схилу місцевості, що пересікається сухопутним транспортним засобом.

Показаний на Фіг.1 варіант виконання містить навігаційну систему 100, приймач 102 глобальної системи позиціонування і систему 104 керування навігацією, які сполучені один з одним системою 106 шин. Приймач 102 глобальної системи позиціонування приймає позиційні сигнали глобальної системи позиціонування і створює засновану на глобальній системі позиціонування навігаційну інформацію, включаючи позицію (тобто довготу і широту), напрям, швидкість, час і т.п., для застосування в системі 104 керування навігацією і в інших компонентах навігаційної системи 100. Згідно з прикладами виконання, приймач 102 глобальної системи позиціонування приймає позиційні сигнали глобальної системи позиціонування (GPS), космічної системи радіонавігації, яка розгорнена ВПС США для уряду США. Слід, однак, зазначити, що приймач 102 глобальної системи позиціонування як альтернативне рішення або додатково до цього, може бути виконаний з можливістю застосування з іншими радіонавігаційними, відповідно, глобальними системами позиціонування, такими як розгорнена російською космічною організацією для Російської Федерації супутникова навігаційна система Глонас або майбутня європейська система Галілей. Згідно з варіантами виконання винаходу, приймач 102 глобальної системи позиціонування може бути також виконаний з можливістю прийому і використання поліпшеної позиційної інформації, яку поставляють диференціальні глобальні системи позиціонування і поверхневі диференціальні глобальні системи позиціонування (WADGPS), такі як розроблена фірмою Deere & Company of Moline, Іллінойс, США система Starfire-WDGPS або створена федеральним керуванням авіації уряду США

розширена глобальна система (WAAS). У таких варіантах виконання приймач 102 глобальної системи позиціонування може містити радіоприймач для прийому диференціальної інформації корекції погрішностей, або ж може бути з'єднаний з ним.

Система 104 керування навігацією використовує навігаційну інформацію, що видається приймачем 102 глобальної системи позиціонування для видачі оператору сухопутного транспортного засобу 116 інформації навігації або керування. Система 104 керування навігацією додатково використовує інформацію для керування пристроями 108 стернового керування, які направляють сухопутний транспортний засіб 116 вздовж бажаного шляху або по бажаній колії, якщо використовується автоматичне керування. Наприклад, навігаційна система 104 в сільськогосподарських варіантах виконання винаходу (в яких навігаційна система 104 використовується в сільськогосподарських транспортних засобах, таких як трактори, зернозбиральні комбайни, зрошувач, бавовнозбиральна машина або т.п.) може бути виконана з можливістю здійснення навігації і, не обов'язково, напрямку сухопутного транспортного засобу 116 вздовж по суті паралельних шляхів або борозен в полі, з метою виконання в полі обробки ґрунту, внесення хімікатів, такого як гербіциди або пестициди для рослин, які ростуть на полі, зняття урожаю рослин і т.п. Ці борозни переважно мають ширину ( $W$ ), яка відповідає ширині робочого пристрою 120, що приводиться в рух сухопутним транспортним засобом 116, і знаходяться на такій відстані один від одного, що вони проходять по суті паралельно і по дотичній один до одного для виключення огрівів або подвійних проходів при обробці поля.

У варіанті виконання навігаційної системи 100, при якому забезпечується автоматичне керування, датчик 110 кута стернового керування постачає в систему 104 керування навігацією сигнали зворотного зв'язку, які відображають дійсний кут, який заданий пристроями 108 стернового керування, з метою забезпечення керування за допомогою системи 104 керування навігацією вибраного шляху або борозни, шляхом керування дійсного заданого напрямку від датчика 110 кута стернового керування з позицією і напрямом, що видаються приймачем 102 глобальної системи позиціонування. Згідно з прикладами виконання, може бути також передбачений датчик 112 надмірного повороту стернового керування. Датчик 112 надмірного повороту стернового колеса вимірює рушення стернового колеса сухопутного транспортного засобу 116 оператором для забезпечення оператору сухопутного транспортного засобу 116 можливості ручної корекції автоматичних функцій керування, що поставляються системою 104 керування навігацією. Таким чином, оператор може виконувати коректування напрямку або здійснювати ручне керування сухопутним транспортним засобом 116 для об'їзду перешкоди на своєму шляху.

Як показано на Фіг.3, приймач 102 глобальної системи позиціонування, яка зображена на Фіг.1 навігаційної системи 100 містить антену 114 для глобальної системи позиціонування, яка закріплена на сухопутному транспортному засобі в точці  $P_A$ , яка забезпечує вільний огляд неба і тим самим

напрямок на супутники глобальної системи позиціонування. Точка  $P_A$ , в якій розташована антена 114, віддалена від бажаної точки  $P_C$  відліку або контрольної точки сухопутного транспортного засобу 116 і робочого пристрою 120, що буксирується ним (наприклад, точки на ґрунті 118 під сухопутним транспортним засобом 116) на відстань, яка звичайно називається в рівні техніки важільним плечем ( $D_L$ ) і має по суті вертикальну складаючу  $D_{LZ}$  важільного плеча і по суті горизонтальні складаючі  $D_{LX}$  і  $D_{LY}$  важільного плеча. Таким чином, показана на Фіг.1 система 104 керування навігацією забезпечує високоточну навігацію або керування сухопутним транспортним засобом 116 при по суті плоскій місцевості, оскільки горизонтальні і вертикальні складаючі  $D_{LX}$ ,  $D_{LY}$ ,  $D_{LZ}$  важільного плеча залишаються постійними відносно один одного. Однак, коли пересікається нерівна місцевість (наприклад, місцевість з схилом, горбами, улоговинами, борознами, пагорками або т.п.), то горизонтальні і вертикальні складаючі  $D_{LX}$ ,  $D_{LY}$ ,  $D_{LZ}$  важільного плеча змінюються відносно один одного, коли сухопутний транспортний засіб крениться (нахилиється убік, що називається також бортовим качанням) і ризикає (повертається в горизонтальній площині навколо вертикальної осі). Відповідно до цього, визначені за допомогою глобальної системи позиціонування позиція і напрям сухопутного транспортного засобу 116 є неправильними, що приводить до показаної на Фіг.4 поперечної погрішності ( $D_{OT}$ ) колії і/або до показаної на Фіг.5 погрішності ( $E_C$ ) напрямку.

Для компенсації цих погрішностей і для забезпечення тим самим можливості більш точного керування сухопутним транспортним засобом 116 на нерівній місцевості, даний винахід пропонує компенсаційну систему 122 системи координат, яка вводиться між приймачем 102 глобальної системи позиціонування і системою 104 керування навігацією, як показано на Фіг.2. Компенсаційна система 122 систему координат вимірює крен і ризикання сухопутного транспортного засобу 116 (дивись Фіг.3-5) для компенсації погрішностей в інформації про позицію і напрям, глобальної системи позиціонування, що поставляється приймачем 102, коли сухопутний транспортний засіб 116 пересікає нерівну місцевість. У показаному на Фіг.2 варіанті виконання, компенсаційна система 122 системи координат з'єднана з приймачем глобальної системи позиціонування через виділену окрему (що використовується виключно для цієї мети) шину 124. Компенсаційна система 122 системи координат витягує інформацію про позицію (наприклад, довготу і широту) і інформацію про напрям з глобальної системи позиціонування, що створюється приймачем 102 навігаційної інформації і замінює цю інформацію скоректованою інформацією про позицію (наприклад, довготу і широту) і інформацією про напрям, яка скоректована відносно погрішностей, що спричиняє крен і ризикання сухопутного транспортного засобу (наприклад, що спричиняє бічні нахили, горби і т.д.), перш ніж інформація через системну шину 126 передається в навігаційну систему 110. Вся інша інформація, що поставляється приймачем 102 глобальної системи позиціонування (наприклад, про швидкість, час і т.п.)

компенсаційна система 122 системи координат передає з окремої шини 124 без змін в системну шину 126. Крім того, компенсаційна система 122 системи координат може виконувати вимірювання схилу, які через системну шину 126 передаються в навігаційну систему 110 з скоректованою інформацією про позицію і напрям, оскільки відстань між суміжними перетинами для робочого пристрою 120 можуть змінюватися в залежності від схилу. Таким чином, можна задавати скомпенсовану на схил ширину колії, відповідно, робочий крок для сухопутного транспортного засобу 116 або для робочого пристрою, що буксирується ним.

Згідно з варіантами виконання, що поставляється компенсаційною системою 122 системи координат компенсована відносно системи координат навігаційна інформація має формат, який ідентичний з форматом глобальної системи позиціонування, що поставляється приймачем 102 навігаційної інформації. Тому компенсовану відносно системи координат навігаційну інформацію, включаючи компенсовану відносно системи координат інформацію про позицію і напрям з компенсаційної системи 122 системи координат, разом з не компенсованою інформацією, такою як швидкість, час і т.п., яка постачається приймачем 102 глобальної системи позиціонування і передається компенсаційною системою 122 системи координат в системну шину 126, можна використати в системі 104 керування навігацією без додаткової модифікації або форматування, з метою постачання оператору навігаційної інформації і, не обов'язково, керуванню сухопутним транспортним засобом 116 без модифікації інформації. Таким чином, компенсаційну систему 122 системи координат можна додавати до навігаційної системи 100 без зміни існуючих компонентів навігаційної системи 100, таких як приймач 102 глобальної системи позиціонування або система 104 керування навігацією.

На Фіг.6 показана компенсаційна система 122 системи координат показаної на Фіг.2 навігаційної системи 100. Компенсаційна система 122 системи координат містить гіроскоп 128 для вимірювання кута рискання сухопутного транспортного засобу 116 (дивись Фіг.3), пристрій 130 для вимірювання прискорень (акселерометр) для вимірювання кута крену сухопутного транспортного засобу 116, коли воно пересікає нерівну місцевість, і систему 132 обробки, яка з'єднана з гіроскопом 128 і пристроєм 130 вимірювання прискорення, для створення інформації про позицію і напрям сухопутного транспортного засобу 116. Як показано на Фіг.6, система 132 обробки може мати процесор 134 для здійснення обчислень позиції і напрямку, контролювання зв'язку з іншими компонентами навігаційної системи 100 (дивись Фіг.1 і 2), виконання діагностики погіршень і т.п., а також пам'ять, таку як EEPROM (постійна пам'ять, що програмується та електрично стирається) 136, флеш-пам'ять 138 і оперативна пам'ять 140, для зберігання програмного забезпечення і/або апаратне забезпечення для системи 132 обробки і параметри, які використовуються в системі 132 обробки для обчислення скоректованих позицій і напрямку.

Згідно з варіантами виконання винаходу, гіроскоп 128 містить дзигу, яка вимірює ступінь рис-

кання сухопутного транспортного засобу 116. Вимірюваний ступінь рискання використовується в системі 132 обробки для визначення істинного напрямку транспортного засобу (тобто проєкційного напрямку), що компенсує погіршеності напрямку, визначеного за допомогою глобальної системи позиціонування, які зумовлені рисканням і креном. Напрямок, що поставляється приймачем 102 глобальної системи позиціонування, застосовується для обмеження дрейфу гіроскопа 128. Напрямок, що визначається за допомогою глобальної системи позиціонування можна використати також для калібрування положення спокою і калібрування шкали гіроскопа 128 під час роботи компенсаційної системи 122 системи координат. Оскільки напрям, вимірюваний за допомогою гіроскопа 128, ефективно постачає величину вимірювання напрямку, яка спостерігається в центрі тягача (наприклад, на задній осі трактора або т.п.) сухопутного транспортного засобу 116, то гіроскопічний напрям проєктується на точку на сухопутному транспортному засобі 116, в якій встановлена антена 114 приймача 102 глобальної системи позиціонування (наприклад, точку  $P_A$  сухопутного транспортного засобу 116 на Фіг.3), для отримання скоректованого напрямку, який співпадає з напрямком, що витягується з інформації про напрям, що поставляється приймачем глобальної системи позиціонування 102. Потім скоректований напрям подається через системну шину 126 в систему 104 керування навігацією.

Система 132 обробки компенсаційної системи 122 системи координат переважно визначає скоректований напрям з використанням рівняння:

$$C_C = [G_R / F_{MEAS}] + [(C_{GPS} - C_G) \cdot K_C / CFR] + P_f \quad (1)$$

де  $C_C$  означає скоректований напрям,  $G_R$  - ступінь рискання,  $F_{MEAS}$  - частоту вимірювання ступеня рискання за допомогою гіроскопа 128,  $C_{GPS}$  - напрям, що визначається на основі навігаційної інформації, створений приймачем 102 глобальної системи позиціонування,  $C_G$  - напрям, визначений за допомогою гіроскопа 128,  $CFR$  - змінна дозволу фільтра напрямку,  $K_C$  - змінна величина фільтра, при цьому  $CFR > K_C >$  позитивної мінімальної величини, і  $P_f$  є величиною, яка проєктує скоректований напрям з центра тягача сухопутного транспортного засобу 116 на точку, в якій на сухопутному транспортному засобі встановлена антена 114 приймача 102 глобальної системи позиціонування.

Як впливає з рівняння (1) з урахуванням Фіг.5, згодом гіроскопічний напрям  $C_G$  стає переважним в порівнянні з напрямом  $C_{GPS}$ , вимірюваним за допомогою глобальної системи позиціонування. Для великих розходжень між напрямом  $C_{GPS}$ , вимірюваним за допомогою глобальної системи позиціонування і гіроскопічним напрямом  $C_G$ , змінну фільтра  $K_C$  встановлюють рівною змінною  $CFR$  дозволу фільтра напрямку, що вирівнює гіроскопічний напрям  $C_G$  з дійсним напрямом  $C_{GPS}$  отриманим за допомогою глобальної системи позиціонування. Потім величину змінної фільтра  $K_C$  згодом зменшують до мінімальної величини, що забезпечує перевагу гіроскопічного напрямку  $C_G$  над напрямом  $C_{GPS}$ , що визначається за допомо-

гою глобальної системи позиціонування. Постійна фільтра  $K_C$  переважно має відмінне від нуля мінімальне значення, таким чином, щонайменше, частина напряму CGPS, отриманого за допомогою глобальної системи позиціонування використовується в компенсаційній системі 122 системи координат як опорна величина при обчисленні коректованого напряму  $C_C$ . Крім того, при відповідних умовах можна погодити величини шкали і зміщення для компенсації дрейфу гіроскопа 128.

Як показано на Фіг.6, для вимірювання бічного прискорення сухопутного транспортного засобу 116 передбачено пристрій 130 вимірювання прискорення. Пристрій 130 вимірювання прискорення не вимірює бічного прискорення, коли сухопутний транспортний засіб 116 нівельований (тобто пересікає по суті рівну місцевість). Однак, коли сухопутний транспортний засіб 116 переїжджає нерівну місцевість, то за рахунок бічного нахилу пристроєм 130 вимірювання прискорення на основі рушення крену сухопутного транспортного засобу 116, за допомогою пристрою 130 вимірювання прискорення вимірюється позитивна або негативна складова прискорення відносно сили тягаря.

Бічне прискорення, вимірюване пристроєм 130 вимірювання прискорення, використовується в системі 132 обробки для обчислення бічної відстані зміщення ( $D_{OT}$ ) для сухопутного транспортного засобу 116, який містить обчислене на основі системи координат сухопутного транспортного засобу 116 оцінене значення бічної відстані між позицією ( $P_{GPS}$ ), визначеною за допомогою глобальної системи позиціонування, і дійсною позицією бажаної опорної або контрольної точки для сухопутного транспортного засобу 116, яка звичайно проектується, на землю точки антени 114 (тобто точки ( $P_C$ ) на Фіг.3 і 4). Таким чином, бічну відстань зміщення  $D_{OT}$  можна визначити як висоту пристрою 130 вимірювання прискорення над опорною точкою ( $P_C$ ) (або як альтернативне рішення, як висоту системи 122 компенсації системи координат над опорною точкою ( $P_C$ ), якщо компенсаційна система 122 системи координат містить єдиний блок, який містить пристрій 130 вимірювання прискорення), яка помножена на синус кута бічного нахилу сухопутного транспортного засобу 116. Бічна відстань зміщення  $D_{OT}$  можна потім використати для коректування позиції ( $P_{GPS}$ ), визначеної за допомогою глобальної системи позиціонування, так що отримують скоректовану позицію сухопутного транспортного засобу 116, яка компенсована відносно важільного плеча  $D_L$ , і краще відповідає дійсній позиції сухопутного транспортного засобу 116.

При обчисленні скоректованої позиції можна за допомогою системи 132 обробки також компенсувати відцентровані (високошвидкісні) прискорення, які виникають при поворотах сухопутного транспортного засобу 116. Згідно з одним варіантом виконання винаходу, ця компенсація виконується за рахунок динамічного порівняння зміни позиції сухопутного транспортного засобу 116 відносно напряму сухопутного транспортного засобу 116. Тому можна обчислювати бічну відстань зміщення  $D_{OT}$  як суму відстані на основі прискорення нахилу і відстань на основі високошвидкісного прискорен-

ня, при цьому прискорення нахилу дорівнює вимірюванню, зроблене пристроєм 130 прискорення, бічному прискоренню за вирахуванням будь-якого радіального прискорення і швидкого прискорення крену сухопутного транспортного засобу 116. Однак, синус кута нахилу сухопутного транспортного засобу 116 рівний визначеному за допомогою пристрою 130 вимірювання прискорення бічному прискоренню ( $A$ ), поділеному на прискорення сили тягаря ( $g$ ). Таким чином, відстань на основі прискорення нахилу дорівнює висоті пристрою вимірювання прискорення ( $H_A$ ), помноженій на бічне прискорення ( $A$ ), вимірюване за допомогою пристрою 130 вимірювання прискорення, поділене на прискорення сили тягаря ( $g$ ).

Таким чином, система 132 обробки може визначати бічну відстань зміщення  $D_{OT}$  для сухопутного транспортного засобу 116 на основі рівняння:

$$D_{OT} = (H_A - A/g) + D_{HSA} \quad (2)$$

де  $D_{OT}$  означає бічну відстань зміщення сухопутного транспортного засобу 116,  $H_A$  - висоту пристрою 130 вимірювання прискорення над бажаною опорною або контрольною точкою над землею (наприклад, точкою  $P_C$ ),  $A$  - бічне прискорення, визначене за допомогою пристрою 130 вимірювання прискорення,  $g$  - прискорення сили тягаря і  $D_{HSA}$  - відстань, що отримується на основі вимірюваного відцентрованого (швидкого) прискорення, яке, згідно з варіантами виконання, вимірюється за допомогою динамічного порівняння змін позиції сухопутного транспортного засобу 116 відносно напряму сухопутного транспортного засобу 116. Відстань зміщення  $D_{OT}$  переважно розкладають на складаючі довготи і широти після їх обчислення, і додають визначену за допомогою глобальної системи позиціонування позицію, яка також вимірюється по довготі і широті, з метою отримання коректованої позиції (довготи і широти) сухопутного транспортного засобу 116.

При сільськогосподарських застосуваннях, в яких сухопутний транспортний засіб 116 забезпечений робочим пристроєм для внесення матеріалу, такого як зерно, добриво, пестициди, гербіциди або т.п., на поверхню поля (наприклад, сухопутний транспортний засіб 116 буксирує робочий пристрій 120 або ж як альтернативне рішення воно закріплено на сухопутному транспортному засобі 116), може змінюватися відстань між суміжними коліями, по яких рухається сухопутний транспортний засіб 116, в залежності від градієнтів або схилу місцевості, оскільки сила тягаря тягне вниз матеріал, що вноситься (наприклад, крапаючий, розбризкуючий або т.п.). Таким чином, коли сухопутний транспортний засіб 116 направляють по паралельних коліях по нерівній місцевості, яка має схил відносно робочого пристрою 120, то може відбуватися накладення один на одну борозен, проходячих по дотичній, коли вибрана ширина колії (робоча ширина) є дуже великою. Це накладення приводить до нерівномірного внесення матеріалу, марнотратства матеріалу і можливо до зменшення урожаю з поля, коли крок колії не узгоджений відповідним образом.

Згідно з варіантами виконання винаходу, бічне

прискорення, яке вимірюється пристроєм 130 вимірювання прискорення, можна також використати в системі 132 обробки для визначення кута крену сухопутного транспортного засобу 116, на основі якого можна визначати схил (S) місцевості, що пересікається сухопутним транспортним засобом 116. Потім схил (S) можна використати в системі 104 керування навігацією для визначення ефективної ширини колії або робочої ширини робочого пристрою 120. Таким чином, для робочого пристрою 120 в реальному часі визначається компенсована відносно схилу робоча ширина і крок колії, коли схил місцевості, що пересікається робочим пристроєм 120 збільшується або зменшується.

На Фіг.7 і 8 показано діяння схилу (S) місцевості, що пересікається сухопутним транспортним засобом 116 на ефективну ширину смуги (E), що буксирується сухопутним транспортним засобом 116 робочого пристрою 120. Як показано на Фіг.7, ефективна ширина колії (E) зменшується, коли боковий схил або боковий градієнт місцевості, що пересікається сухопутним транспортним засобом 116 збільшується. Ефективна ширина ( $E_1$ ) колії, по якій слідує сухопутний транспортний засіб 116 при перетині місцевості з бічним схилом, буде більше ефективної ширини ( $E_2$ ) колії, яку залишає сухопутний транспортний засіб 116 на місцевості з лише невеликим схилом або без схилу. Таким чином, як показано на Фіг.8, ефективна ширина (E) колії робочого пристрою знаходиться при заданому схилі (S) з ефективною шириною колії робочого пристрою 120 в наступному співвідношенні:

$$E = I \cos(S) \quad (3)$$

де E є ефективною шириною колії, I - ширина смуги робочого пристрою на плоскій місцевості і S - схил.

Згідно з прикладами виконання винаходу, системі 122 компенсації системи координат можна калібрувати перед і під час використання для підвищення точності визначення коректованих позицій і напрямку. Наприклад, пристрій 130 вимірювання прискорення може мати один або більше датчиків температури для вимірювання температури пристрою 130 вимірювання прискорення, за рахунок чого можна за допомогою системи 132 обробки компенсувати коливання бічного прискорення, що вимірюється пристроєм 130, які обумовлюються викликаними температурою погрішністю зміщення і погрішністю чутливості пристрою 130 вимірювання прискорення. Для калібрування реакції пристрою 130 вимірювання прискорення на температуру, можна провести калібрування компенсаційної системи 122 системи координат при відомих умовах (наприклад, при виготовленні) для приведення у відповідність вихідної величини датчика температури з дійсною температурою навколишнього середовища, і вимірювання погрішності зміщення в діапазоні температур. Система 132 обробки може зберігати дані калібрування в пам'яті (наприклад, у флеш-пам'яті 138) з метою забезпечення можливості виконання коректування при вимірюванні кута крену в залежності від температури пристрою 130 вимірювання прискорення.

Крім того, компенсаційна система 122 системи

координат може бути виконана з можливістю ідентифікації кута крену сухопутного транспортного засобу 116, рівного нулю ( $0^\circ$ ). Це калібрування можна виконувати кожний раз, коли компенсаційна система 122 системи координат встановлюється в навігаційну систему 104 сухопутного транспортного засобу 116. Оператор сухопутного транспортного засобу 116 може виконувати це калібрування вручну за рахунок установки сухопутного транспортного засобу 116 в нерухоме рівне положення і повідомлення в систему 132 обробки, що сухопутний транспортний засіб стоїть нерухомо і рівно (наприклад, за допомогою передбачених в навігаційній системі 104 елементів введення). Як альтернативне рішення, оператор може виконувати калібрування кута крену в нуль градусів за рахунок поїздки сухопутного транспортного засобу 116 по прямому шляху взад і вперед, що забезпечує компенсаційній системі 122 системи координат можливість визначення кута крену в нуль градусів за рахунок порівняння величин кута крену, що вимірюються в різних точках вздовж проробленого шляху.

Оскільки компенсаційна система 122 системи координат створює не саму інформацію про позицію і напрям, а замість цього застосовує інерційні вимірювання з метою поліпшення глобальної системи позиціонування, що поставляється приймачем 102 інформації про позицію і напрям, то досить, щоб гіроскоп 128 і пристрій 130 вимірювання прискорення містили лише відповідний єдиний пристрій 130 вимірювання прискорення для вимірювання бічного прискорення сухопутного транспортного засобу 116 і єдиний гіроскоп 128 для вимірювання ступеню рискання сухопутного транспортного засобу 116. Тому компенсаційна система 122 системи координат, згідно з винаходом, не потребує повної кількості гіроскопів і пристроїв вимірювання прискорення, яке звичайно необхідне у відомих інерційних системах. Тому компенсаційна система 122 системи координат є більш простій, містить менше компонентів і є більш дешевою у виготовленні ніж відомі системи. Однак, потрібно зазначити, що компенсаційна система 122 системи координат може містити додаткові гіроскопи як надмірність або для забезпечення більш точного вимірювання ступеню рискання і бічного прискорення.

На Фіг.9 показана схема 200 прикладу виконання способу, за допомогою якого можна поліпшити інформацію про позицію і напрям, що засновується на глобальній системі позиціонування, яка використовується в навігаційній системі 110 сухопутного транспортного засобу 116, при цьому інформацію про позицію і напрям компенсують за допомогою інерційних вимірювань відносно рушення рискання і крену транспортного засобу, коли транспортний засіб пересікає нерівну місцевість. Як показано на Фіг.9, на стадії 202 приймають сигнали глобальної системи позиціонування з приймача глобальної системи позиціонування і використовують їх на стадії 204 для створення навігаційної інформації, заснованої на глобальній системі позиціонування, включаючи позицію (наприклад, довготу і широту), напрям або орієнтацію, швидкість, час і т.п. На стадії 206 вимірюють також

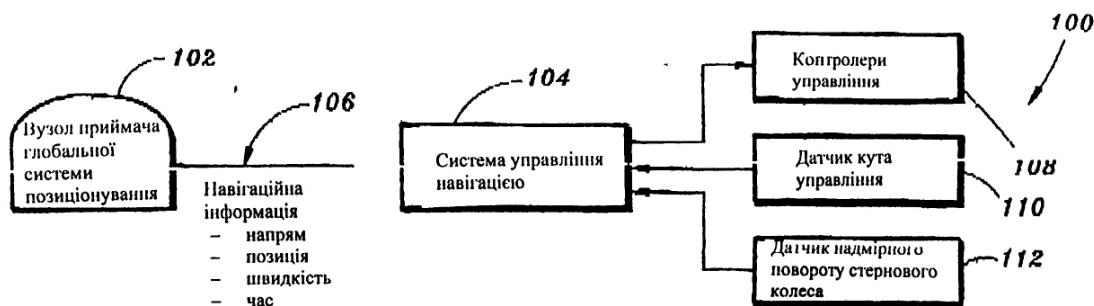


ступінь ризикання і бічне прискорення сухопутного транспортного засобу 116 із застосуванням гіроскопа і пристрою вимірювання прискорення. Потім на стадії 208 можна обчислити для сухопутного транспортного засобу 116 коректовану позицію і напрям, які компенсовані відносно крену і ризикання сухопутного транспортного засобу 116, коли транспортний засіб 116 пересікає нерівну місцевість, з використанням позиції і напрямку з створеної навігаційної інформації (що засновуються на глобальній системі позиціонування) і вимірювання ступеню ризикання і бічного прискорення сухопутного транспортного засобу 116. Згідно з варіантами виконання винаходу, коректований напрям можна обчислювати на основі рівняння 1, в той час як коректовану позицію можна визначити за допомогою обчислення відстані зміщення для сухопутного транспортного засобу 116 з використанням рівняння 2, при цьому відстань зміщення розкладають на складаючі довготи і широти і складають з позицією, визначеною за допомогою глобальної системи позиціонування. Потім витягують позицію і напрям з створеної на стадії 204 навігаційної інформації і на стадії 210 замінюють коректованою позицією і напрямом, які були обчислені на стадії 208, з метою отримання коректованої навігаційної інформації для сухопутного транспортного засобу 116. Потім на стадії 212 коректовану навігаційну інформацію можна використати для навігації і/або керування сухопутним транспортним засобом 116.

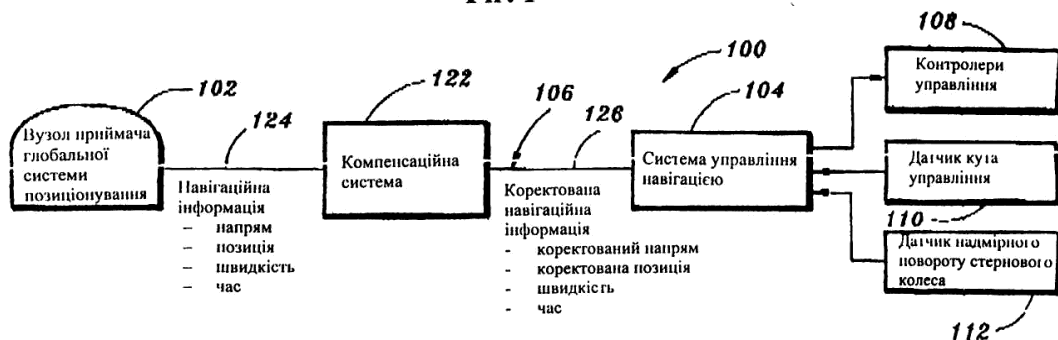
Як показано на Фіг.9, пристрій 130 вимірювання прискорення може додатково використовувати бічне прискорення, вимірюваного на стадії 206 для визначення кута крену сухопутного транспортного засобу 116, з якого на стадії 214 можна визначити схил (S) місцевості, що пересікається сухопутним транспортним засобом 116. Потім схил (S) можна використати в системі 104 керування навігацією

для визначення на стадії 216 ефективної ширини колії або крок колії робочого пристрою, що буксирується сухопутним транспортним засобом 116 робочого пристрою 120. Ефективну ширину колії, визначену на стадії 216 можна потім використати для того, щоб підтримати на стадії 212 навігацію або керування сухопутним транспортним засобом 116, якщо передбачено паралельне або автоматичне керування сухопутним транспортним засобом 116. Таким чином, можна визначати і погоджувати в реальному часі компенсовану відносно схилу ширину колії для робочого пристрою 120 для багаторазового перетину місцевості, коли схил місцевості, що пересікається сухопутним транспортним засобом збільшується або зменшується.

Згідно з прикладами виконання винаходу, розкриті способи можна здійснювати у вигляді безлічі команд, які містить програмне забезпечення або апаратне забезпечення, і які можна зчитувати за допомогою системи 132 обробки компенсаційної системи 122 системи координат, приймача 102 глобальної системи позиціонування або компонентів навігаційної системи 104. Крім того, потрібно зазначити, що спеціальна послідовність або ієрархія стадій в розкритих способах є лише прикладами вихідної ідеї. На основі переваг конструкції можна по іншому розташовувати спеціальну послідовність або ієрархію стадій в способі. Крім того, потрібно зазначити, що в описаному варіанті виконання інформація про швидкість видається у вигляді скалярної величини. Замість цього вона може задаватися у вигляді двохмірного або трьохмірного вектора і коректуватися за допомогою компенсаційної системи системи координат, так що відповідає необхідність в окремій інформації про напрям. Інформація про позицію може також видаватися трьохмірно, тобто може містити складаючу Z.



Фіг. 1



Фіг. 2

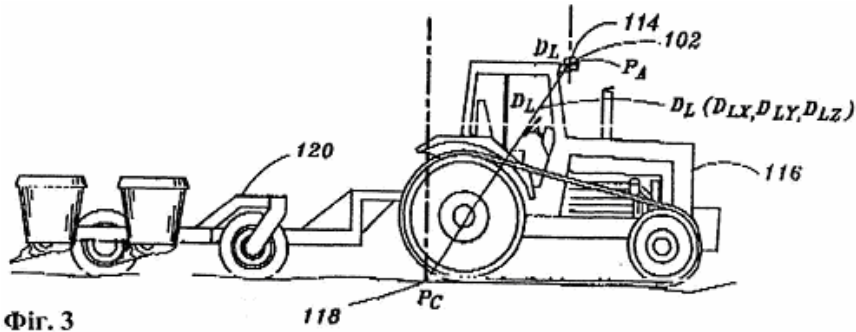


Fig. 3

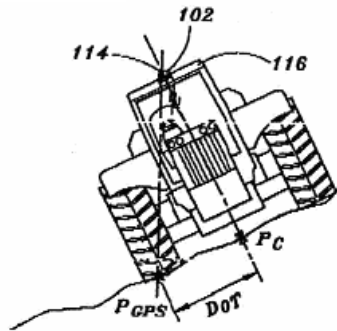


Fig. 4

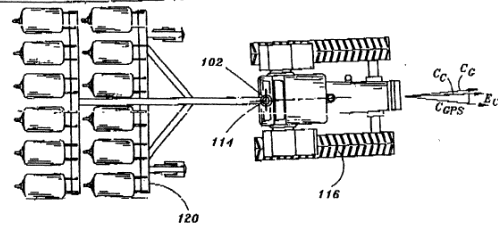


Fig. 5

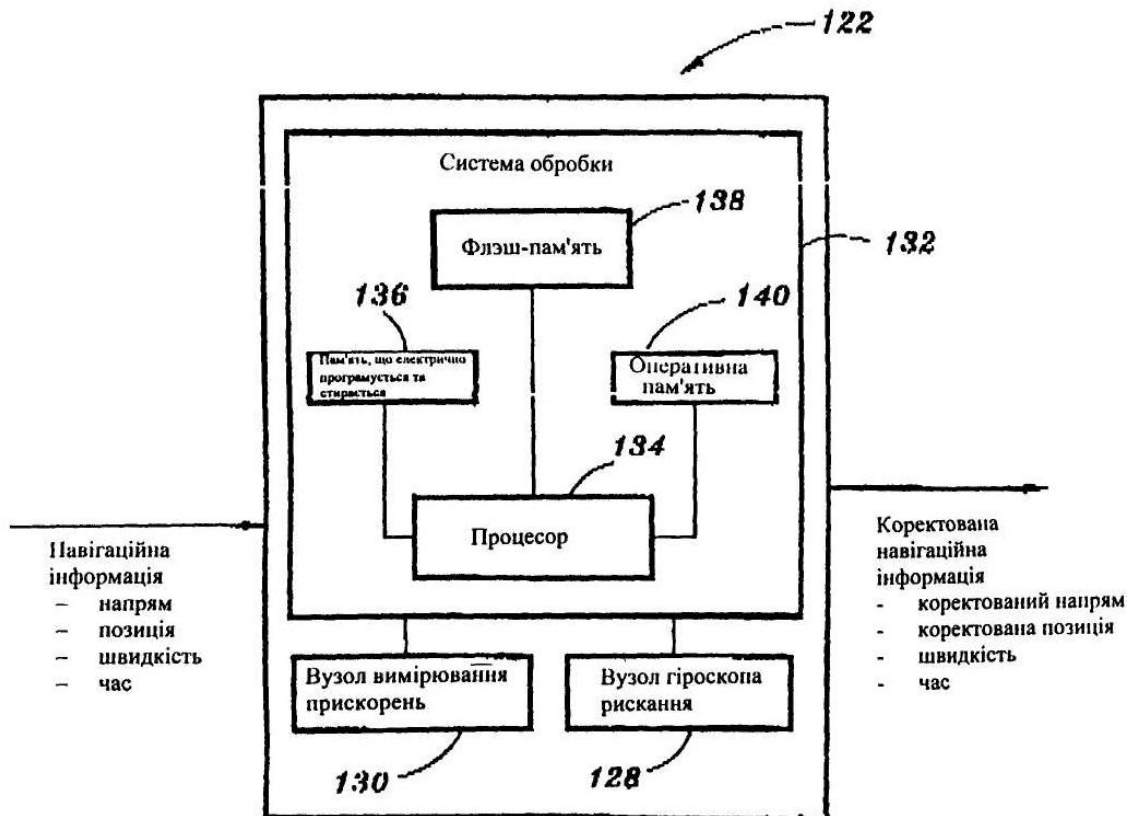
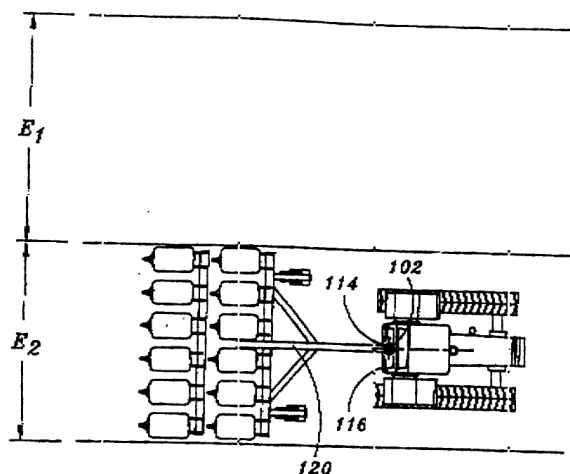
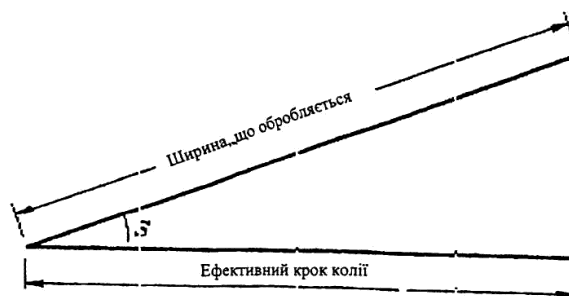


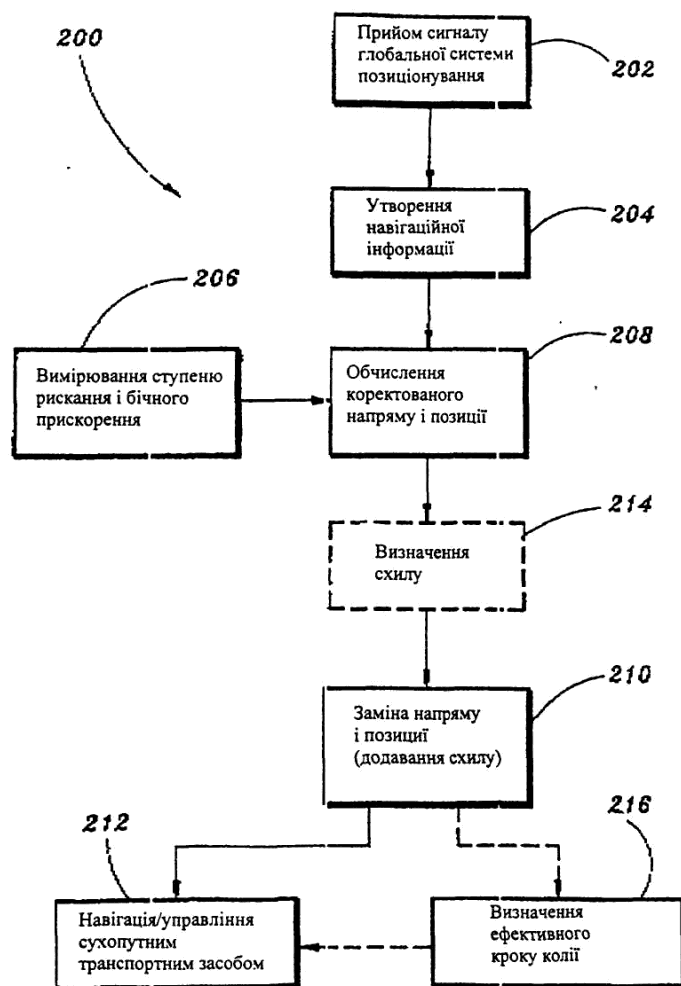
Fig. 6



Фіг. 7



Фіг. 8



Фіг. 9