

УДК 004.9

## ВИСОКОТОЧНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРЕЦИЗІЙНОГО ВОДІННЯ

**Касім М. М.**, аспірант кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ),  
E-mail: [masud@i.ua](mailto:masud@i.ua);

**Васюхін М. І.**, д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ),  
E-mail: [vasgeovideo@i.ua](mailto:vasgeovideo@i.ua);

**Касім А. М.**, к.т.н., с.н.с. відділу мікропроцесорної техніки Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, E-mail: [aneesa.qasem@gmail.com](mailto:aneesa.qasem@gmail.com)

*Висвітлено результати теоретичних досліджень точності координат позиціонування рухомих об'єктів засобами супутникових навігаційних систем в режимах DGPS, RTK, VRS, RTX. Показано, що найвищу точність забезпечують методи, які базуються на використанні коригувальних RTK- і RTX- сигналів, причому останній не потребує наявності додаткової базової станції. Запропоновано структуру та склад програмно-технічної системи з функцією моніторингу, яка забезпечує сантиметрову точність паралельного водіння сільськогосподарських агрегатів з використанням програмних модулів комбінованої обробки даних поточної корекції координат.*

*Ключові слова: навігаційні дані, супутники GNSS, комбіновані повідомлення, коригувальний сигнал, референтна станція, диференціальні поправки, точність координат.*

**Вступ.** Супутникові системи стають частиною нашого повсякденного життя і суттєвим елементом комерційної та суспільної інфраструктури. Зокрема, вони знайшли широке застосування в області дистанційного зондування природних ресурсів [1, 2], розвитку інфраструктури та контролю міського господарства, у сільському господарстві [3–6] та соціальних науках. Інтенсивний розвиток космічної навігації дозволив створити супутникові методи точного визначення координат рухомих в просторі об'єктів [7–10]. При цьому використовується сузір'я супутників, координати яких ідентифікуються в будь-який момент часу з метою визначення навігаційних даних рухомих різноманітних об'єктів наземного, морського і повітряного базування.

В даний час існує ряд світових супутникових навігаційних систем GNSS (*Global Navigation Satellite System*): американська NAVSTAR/GPS (*NAVigation System with Time And Ranging; Global Positioning System*); російська ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система – ГНСС); європейська супутникова система Галілео; китайська навігаційна система Бейдоу; японська регіональна навігаційна система QZSS тощо.

Найбільш розповсюдженими з вищенаведеного списку є системи ГЛОНАСС і GPS, які першопочатково використовувалися при вирішенні навігаційних задач переважно для військово-оборонних цілей і флоту. Поступово відкрилася можливість їх успішного застосування в інших сферах людської діяльності, в тому числі у прецизійному землеробстві, тобто для точного визначення просторових координат сільськогосподарської техніки у реальному часі [10].

В області точного землеробства для прийняття управлінських рішень з мінімальними витратами при розв'язанні ряду прикладних задач назріла гостра необхідність високоточного визначення місцезнаходження кожного підконтрольного рухомого об'єкта за допомогою глобальної системи позиціонування [4, 6]. Саме завдяки цій системі – найважливішого компонента системи прецизійного землеробства – з'явилася можливість для переходу від традиційної агротехнології до технології точкового землеробства [11, 12], при використанні якої враховуються дані локальної диференційованості ґрунтового покриву або посіву в полі.

На території України в основному функціонують навігаційні системи з використанням сигналів GPS і ГЛОНАСС, які дозволяють в режимі реального часу і з відносно високою точністю визначати місцеположення необхідного об'єкта, його

швидкість руху та низку інших навігаційних параметрів. Сьогодні на ринку представлена агротехніка (на кшталт приймача AgGPS американської фірми Trimble), яка може приймати одночасно сигнали різних систем, наприклад NAVSTAR і ГЛОНАСС, що в цілому забезпечує досить надійну і високу точність прийому сигналу навіть при наявності факторів, які збільшують ризик появи похибки у супутникових вимірюваннях.

Успіх у розвитку радіонавігаційних систем і в їх широкомасштабному використанні повністю полягає у революції, яку справило впровадження великих інтегральних схем. Це зробило навігаційні приймачі легкими, компактними і на порядок дешевше. Винятковим досягненням виявилась розробка перманентної станції, що генерує поправки, які вносять зміни в кодові та фазові вимірювання на рухомому приймачі, в результаті чого досягається підвищена точність позиціонування. За останні десятиріччя вироблено декілька поколінь приймачів, що базуються на нових технологіях – DGPS (*Differential Global Positioning System*), RTK (*Real Time Kinematics*), RTX (*Real Time eXtended*). Вміст програмно-апаратного забезпечення як DGPS, так і RTK й RTX, є комерційною таємницею їхніх розробників, що ускладнює їх удосконалення при застосуванні у вітчизняних розробках подібного класу.

Альтернативою технології RTK, яка дає точність у плані 2,5 см, є RTX з точністю на рівні 3,8 см. Кориговальний RTX-сигнал доступний, наприклад, для користувачів інтегрованих дисплеїв та приймачів лінійки Trimble, що свідчить про технічну перевагу закордонних розробників в порівнянні з вітчизняними, які вимушені купувати іноземне обладнання та відповідне програмне забезпечення для створення дієвих систем, орієнтованих на аграрний сектор.

**Постановка задачі.** Положення, час і додаткову інформацію можна збирати засобами GNSS, рухаючись по суші, воді та в повітрі, отримуючи географічні координати поточного місцезнаходження та складові вектора швидкості рухомого об'єкта. Особливої актуальності набула проблема розробки інтегрованих навігаційно-моніторингових геоінформаційних систем (ГІС) для спостереження та управління рухомими об'єктами, які переміщуються як в повітрі, так і на поверхні Землі. В аграрній галузі найбільш складною є задача паралельного водіння, для розв'язання якої в ГІС зазначеного класу має бути закладений потужний функціонал, що дозволяє отримувати високоточні навігаційні дані для прецизійного відображення визначеного місцеположення об'єкта на електронній карті бортового комп'ютера.

За допомогою глобальної системи позиціонування визначаються світові координати мобільної сільськогосподарської техніки на полі в будь-який момент часу. У подальшому ці координати перетворюються на екранні, відповідно до яких на електронну карту наноситься символ рухомого об'єкта [13], за яким ідентифікується візуальне відхилення рухомого об'єкта від заданого курсу.

Навігаційна підсистема, якою оснащується сільськогосподарська техніка, включає в себе багатоканальні GPS/GLONASS-приймачі, що підключені до бортового комп'ютера з програмним забезпеченням, необхідного для виконання обчислень. Даний комплекс дозволяє вести запис поточних координат агрегату, його висоти та інших параметрів із будь-якими заданими інтервалами часу. При цьому фіксація навігаційних даних проводиться в широко відомих форматах ESRI Shapefile і Mapinfo, що дозволяє імпортувати їх в офісні ГІС для подальшої обробки і виконання потрібних розрахунків.

**Метою статті** є дослідження високоточних методів отримання супутникових навігаційних даних для задач прецизійного водіння, які виникають в предметній області точкового землеробства, наприклад, забезпечення точного внесення посівного матеріалу, добрив і гербіцидів з метою їх економії, точного сапання різних культур, точного збирання врожаю та ін., при виконанні агротехнологічних операцій з використанням наземної техніки і сільськогосподарської авіації.

**Основна частина.** Найбільшого поширення в прецизійному землеробстві отримала приймальна апаратура американської системи у зв'язку з добре налагодженим виробництвом і повністю розгорнутим угрупованням космічних апаратів [4–6]. Як відомо, складові частини навігаційної системи GPS розділяються на три сегменти, рис. 1:

1. Космічний сегмент, який включає систему штучних супутників Землі (ШСЗ).
2. Сегмент управління, в який входить мережа наземних станцій управління та контролю.
3. Користувачський сегмент (споживачі навігаційних даних).

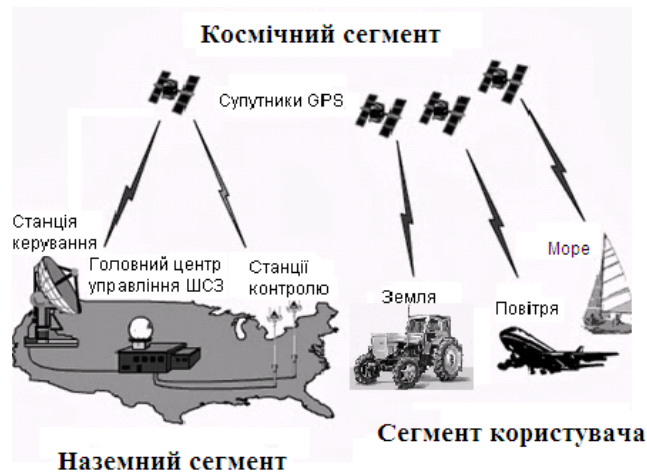


Рисунок 1 – Склад і взаємодія сегментів супутникової навігаційної системи GPS

До космічного сегменту належить сузір'я з 24 діючих і 4 запасних супутників, які обертаються навколо Землі по орбітах на висоті приблизно 20200 км. Час одного повного обороту супутника навколо Землі складає 12 годин. Запасні супутники дозволяють оперативно замінити супутник, який вийшов з ладу. Орбіти супутників обрано так, щоб з будь-якого пункту Землі можна було приймати сигнали щонайменше, ніж з 4 супутників.

Передавачі супутників безперервно випромінюють коливання двох частот L1 (1575.42 МГц) і L2 (1227.60 МГц), перша з яких модулюється кодами C/A (1.023 МГц) і P (10.23 МГц), а друга лише P-кодом. Причому C/A – код цивільного доступу, а P – захищений код. Крім формування і випромінювання навігаційних сигналів, вони передають інформацію про свою орбіту, а також про стан інших супутників системи і параметри їхніх орбіт. Супутники мають також приймачі, які отримують сигнали від основної станції сектора управління, яка надає інформацію про орбіти супутників. Траєкторії супутників коригуються з основної наземної станції керування.

Точність визначення місцезнаходження об'єктів і стабільність функціонування GNSS у великій мірі залежить від взаємного орбітального розташування супутників і параметрів їх сигналів та забезпечується спільним функціонуванням названих сегментів системи.

Наземний сегмент управління становлять:

- головний обчислювальний центр управління ШСЗ (*Master Control Station*),
- основна станція керування (*Ground Control Station*),
- групи пов'язаних стаціонарних станцій контролю (*Monitor Station*).

Наземна частина системи GPS складається з основної станції керування, суміщеної з обчислювальним центром, групи контрольно-вимірювальних станцій, пов'язаних з основною станцією і між собою каналами зв'язку, наземним еталоном часу і частоти. Координати контрольно-вимірювальних станцій визначено в трьох вимірах з максимальною точністю.

На кожній контрольно-вимірювальній станції використовуються GPS-приймачі для пасивного спостереження за супутниками, що знаходяться в їхній зоні видимості. Вони безперервно приймають навігаційні сигнали, що надсилаються супутниками, здійснюють

первинну обробку прийнятої інформації і виробляють обмін даними з основною станцією. Результати обробки сигналів супутників з контрольних станцій передаються в головний центр управління, де з метою поновлення обчислюються ефемериди (список координат) орбіт супутників. Далі отримані дані передаються на ШСЗ за допомогою основної станції керування, яка до того ж має можливість маневрувати двигунами супутників, коректуючи їх орбіти. Отже, на основній станції відбувається збір інформації від всіх контрольних-вимірвальних станцій, її математична обробка та обчислення різних координатних і коригувальних даних, які завантажуються в бортовий комп'ютер супутника.

Сегмент користувача складається з приймачів GPS-сигналів, які використовуються для виконання найрізноманітніших завдань на землі, в небі та на морі. У споживчому обладнанні присутній радіочастотний тракт, в якому реалізуються: прийом сигналів від кожного супутника із зони видимості, їх первинна обробка, а також обчислення для вторинної обробки кожного сигналу. Як правило, на початку обчислюються поточні координати супутників і дальності до них, а потім географічні координати споживача. Далі в залежності від призначення приймача інформація може надходити в пристрій відображення, в канал передачі або на блок управління зовнішніми механізмами.

Для цілей паралельного водіння в прецизійному землеробстві GPS є порівняно точною глобальною системою поточного місцевизначення рухомих об'єктів. Зрозуміло, що для підвищення цієї точності ідеальним рішенням було б усунення можливих недоліків та вдосконалення кожного з виділених сегментів GPS-системи. По аналогії з геодезичними вимірюваннями [14], більш точне отримання координат рухомих споживачів, ґрунтується на максимально точному знанні координат деякої опорної точки, зафіксованої на земній поверхні, відносно якої ведеться розрахунок похибок координат рухомих точок. Ця ідея лежить в основі таких методів, як-от DGPS (диференціальної GPS) і RTK (кінематики реального часу).

Суть методу DGPS полягає в тому, що за допомогою додаткового приймача (базової станції), що знаходиться на місцевості в точці із заздалегідь точно визначеними координатами, обчислюються похибки, які виникають в далекомірних супутникових сигналах, що надходять на GPS-приймачі. В результаті виходить псевдонова точка відліку, з якої передаються по каналах радіозв'язку сигнали корекції на будь-які інші приймачі GPS, рис. 2, що розташовуються в зоні дії так званого опорного (еталонного) приймача в деякій обмеженій області, для якої похибки однакові.

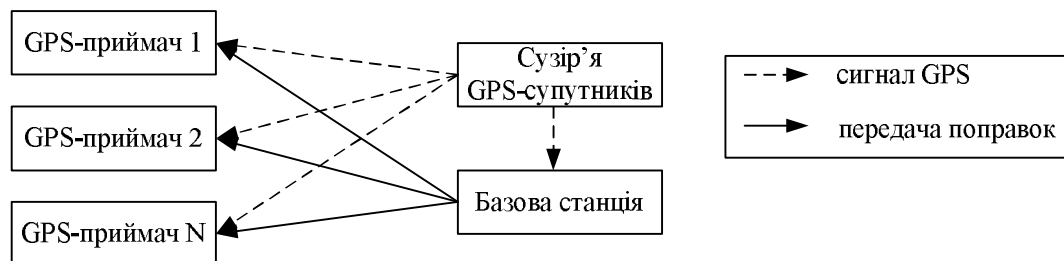


Рисунок 2 – Схема взаємодії елементів диференціальної GPS

Завдяки простій організації супутникових повідомлень єдиний коригувальний сигнал, що формується на базовій станції, усуває можливі помилки системи, незалежно від причин їх виникнення – через відхилення за часом, внаслідок похибок у визначенні поточного положення супутника чи від іоносферних і тропосферних затримок. Повідомлення про корекцію, яке посилає в ефір така еталонна (базова) станція, може бути організовано двома способами. У першому варіанті залежним приймачем по бездротових каналах зв'язку надсилаються дані про помилки (кодові диференційовані поправки), які потім на боці адресата обробляються програмним способом спільно з власними даними про місцезнаходження, для уточнення координат.

Другий варіант перетворює опорну станцію в псевдосупутник (pseudolite). Станція передає сигнали такої ж структури, як і супутники, тобто такі, що містять псевдовипадкові

коди та інформаційні повідомлення. Ведені приймачі обробляють сигнали базової станції в одному зі своїх невикористаних каналів, отримуючи дані корекції тим же шляхом, що і дані про ефемериди від реальних супутників. Система має той недолік, що при деяких умовах станція-псевдосупутник може бути джерелом перешкод в системі.

Створені до теперішнього часу нові GPS-приймачі, що працюють в режимі RTK [15, 16], ще більш автоматизовані за рахунок миттєвої реєстрації точних координат кожної чергової точки траєкторії руху об'єкта. Технологія RTK являє собою сукупність прийомів і методів отримання точних координат (на сантиметровому рівні) за допомогою GNSS. Ці методи базуються на вимірюванні фаз несучої GNSS-сигналу на частоті L1 одночасно на двох GNSS-приймачах, один з яких відіграє роль базової станції, а другий є її «клієнтом». Координати першого з приймачів (базового) повинні бути точно визначеними, адже його функціональне призначення полягає у формуванні та передачі по радіомодему набору фазових поправок. Інший супутниковий приймач може скористатися даними корекцій для точного визначення свого місця розташування в субсантиметровому діапазоні на відстанях порядку до 40 км від базового приймача. При більшій віддаленості ефективність поправок буде поступово знижуватися. Основною перевагою режиму є можливість точної обробки сигналу в режимі реального часу.

Завдяки методу RTX сантиметрова точність позиціонування в будь-якій точці Землі може бути досягнута без використання локальної базової станції. Так, служба корекції Trimble RTX CenterPoint забезпечує стійкий потік даних GNSS-корекції в реальному часі з точністю до сантиметра без використання тимчасових, постійних (перманентних) базових станцій або VRS-мереж (*Virtual Reference Station* – віртуальна референтна станція).

Зазначимо, що VRS – це технологія створення віртуальної базової станції всередині мережі перманентних станцій, рис. 3. Використовуючи дані як мінімум від трьох базових станцій (із середньою відстанню між найближчими станціями 50-70 км), програмна надбудова над GPSNet, під назвою RTKNet, здійснює обробку даних всіх вхідних в мережу GPS-станцій. При цьому серверна програма RTKNet може забезпечувати роботу як в режимі DGPS (точність 1–3 м), так і у високоточному RTK-режимі (точність 2–3 см) з ініціалізацією «на льоту».

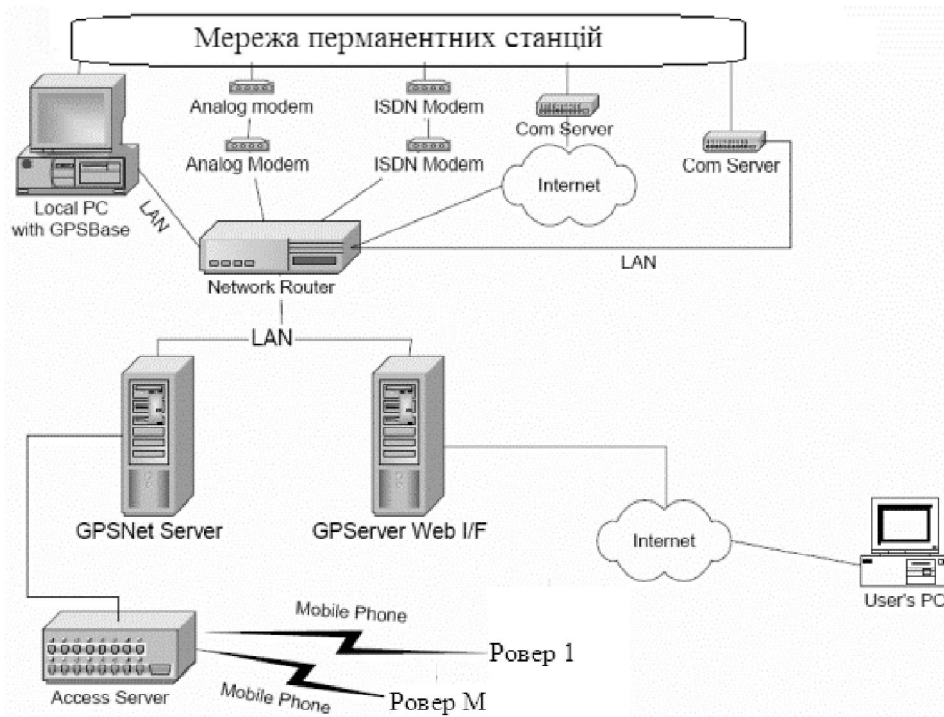


Рисунок 3 – Схема передачі даних при застосуванні VRS-технології

Основною перевагою VRS-системи є підвищення точності (за рахунок мінімізації помилок) і швидкості (через істотне, в декілька разів, зменшення часу від моменту встановлення зв'язку з обчислювальним центром до моменту фіксації рішення) визначення координат незалежно від віддалення до базових станцій мережі. В той же час користувач має можливість працювати без встановлених власних базових станцій і на значній відстані від базової станції мережі, отримуючи сантиметрову точність. Крім того, він застрахований від можливих помилок при установці і від збоїв у роботі системи: програмне забезпечення автоматично створює віртуальну базову станцію для кожного приймача в безпосередній близькості від нього. Повідомлення з коригуючими поправками генеруються в одному з форматів RTCM, CMR/CMR+. Якість і надійність даних, що отримуються за допомогою методу VRS, в порівнянні з традиційним RTK-режимом, підвищується на 30–40 %.

В свою чергу, в основу дії системи корекції RTX CenterPoint, рис. 4, закладена запатентована Trimble технологія RTX, яка заснована на використанні ряду методик, які в сукупності дають можливість користувачеві визначити своє місцеположення в будь-якій точці земної поверхні з сантиметровою точністю без прямого використання диференціальних поправок з базової станції.

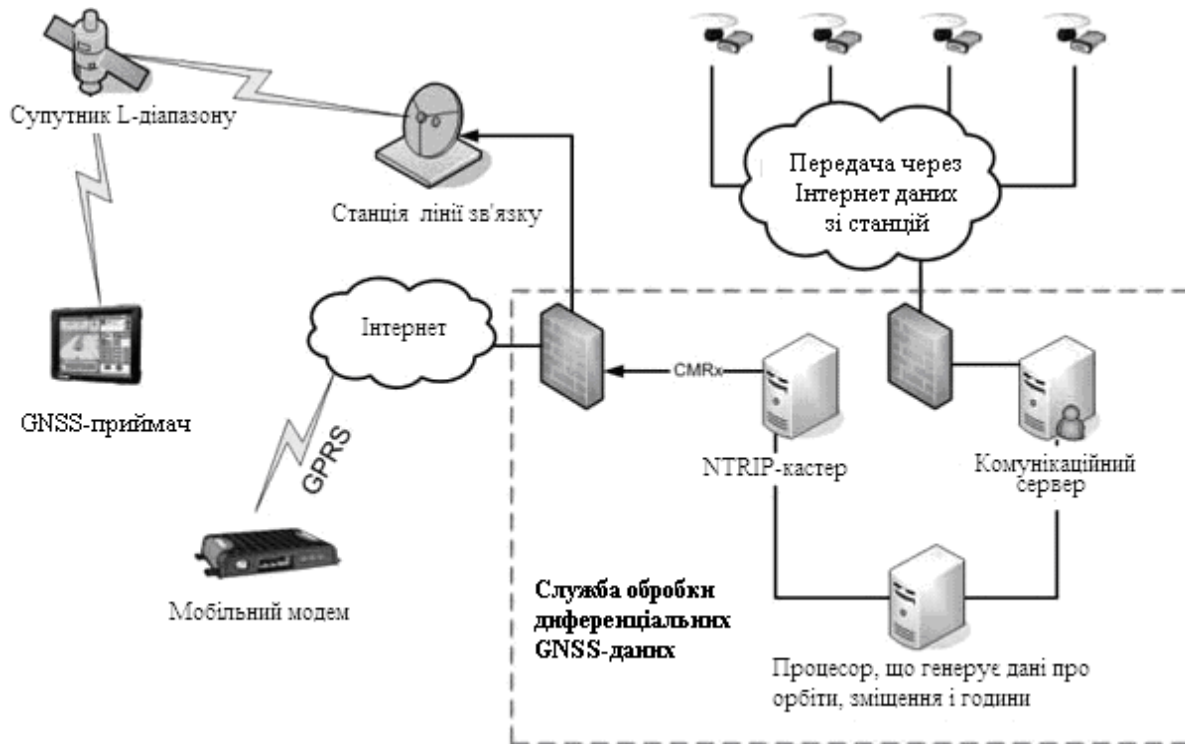


Рисунок 4 – Структурна схема системи RTX CenterPoint

Крім того, рішення RTX може бути застосовано до мульти-GNSS сузір'їв. Структурно сервіс корекції RTX складається з трьох основних частин:

- служби збору диференціальних GNSS-даних, яка представляє собою мережу моніторингових референтних станцій, розподілених по поверхні геоїда;
- служби обробки диференціальних GNSS-даних (на рис. 4 виділено пунктиром) і формування поправок для кінцевих користувачів, яка являє собою мережу операційних центрів, так само розміщених в різних точках Землі;
- служби доставки поправок до кінцевого користувача через Інтернет (по каналах радіо- чи стільникового мобільного зв'язку) або через супутниковий сигнал. В останньому випадку для передачі коригувального сигналу використовуються геостационарні супутники зв'язку дециметрового L-діапазону.

Принцип функціонування технології RTX полягає в наступному. Дані з моніторингових станцій збираються і передаються по Інтернету в операційні центри. Повні операційні центри є надлишковими з метою забезпечення стовідсоткової доступності та максимально високої надійності системи. При необхідності, джерело потоку коригувальних даних може перемикатися між операційними центрами та/або серверами обробки даних в межах цих центрів.

Зміни операційних даних обробляються детермінованим способом всіма частинами системи, включаючи приймач користувача. В операційних центрах резервні сервери зв'язку використовуються для передачі даних мережі спостереження на сервери обробки даних, мережні процесори яких генерують дані точних ефемерид орбіт, помилки годин і зміщення для будь-якої точки земної кулі.

Після обробки точні супутникові дані стискаються в повідомлення, сумісні з форматом CMRx (*Compact Measurement Record* – компактний запис вимірювань), який спеціально розроблено для компактної передачі супутникової інформації. Потім повідомлення передаються або на трансляючу станцію, або стають доступними для користувачів через Інтернет.

Варто зауважити, що супутниковий коригуючий сигнал RTX приймається власною антеною GNSS-приймача без використання будь-якого додаткового обладнання.

Основні порівняльні характеристики вищезгаданих методів, що є суттєвими для задач прецизійного водіння, зведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння характеристик високоточних методів для задач прецизійного водіння

<i>Метод</i>	<i>Точність</i>	<i>Потреба у додатковому обладнанні (базовій станції)</i>	<i>Тип каналу зв'язку</i>	<i>Радіус дії</i>	<i>Час ініціалізації</i>
DGPS	5-20 см	+	радіо	обмежений	Залежно від типу диференціальних сервісів
RTK	2,5 см	+	радіо	обмежений	< 1 хв
VRS	2,5 см	-	Інтернет	необмежений	< 1 хв
RTX	3,8 см	-	Інтернет	необмежений	30 хв

Досліджені методи склали основу запропонованої програмно-технічної системи, призначеної для розв'язання задач прецизійного землеробства (рис. 5), до якої входять навігаційний та інформаційно-аналітичний модулі, інтегруючою основою яких є геоінформаційне забезпечення, що базується на цифровій картографічній основі сільгоспугідь, єдиних класифікаторах інформації, форматах і узгоджених структурах баз даних. Ключовими елементами системи є:

- ГІС-модуль з функціями диспетчеризації сільгосптехніки і управління агротехнологічними операціями (оранка, внесення добрив, посів, боротьба зі шкідниками, збирання врожаю тощо);

- модуль моніторингу, що використовує бортове навігаційне обладнання, яке встановлюється на машино-тракторних агрегатах, з підтримкою диференціального і більш точних режимів, та приймально-передавальне обладнання для обміну даними за наявними каналами безпроводного зв'язку з подальшим зберіганням телеметричної інформації на сервері бази даних;

- модуль паралельного водіння, що забезпечує на полях сантиметрову точність водіння сільськогосподарської техніки, яка включає в себе інтегроване з датчиками і агрегатами бортове навігаційне обладнання з підтримкою режиму RTK на основі базової RTK-станції для генерації фазових поправок.

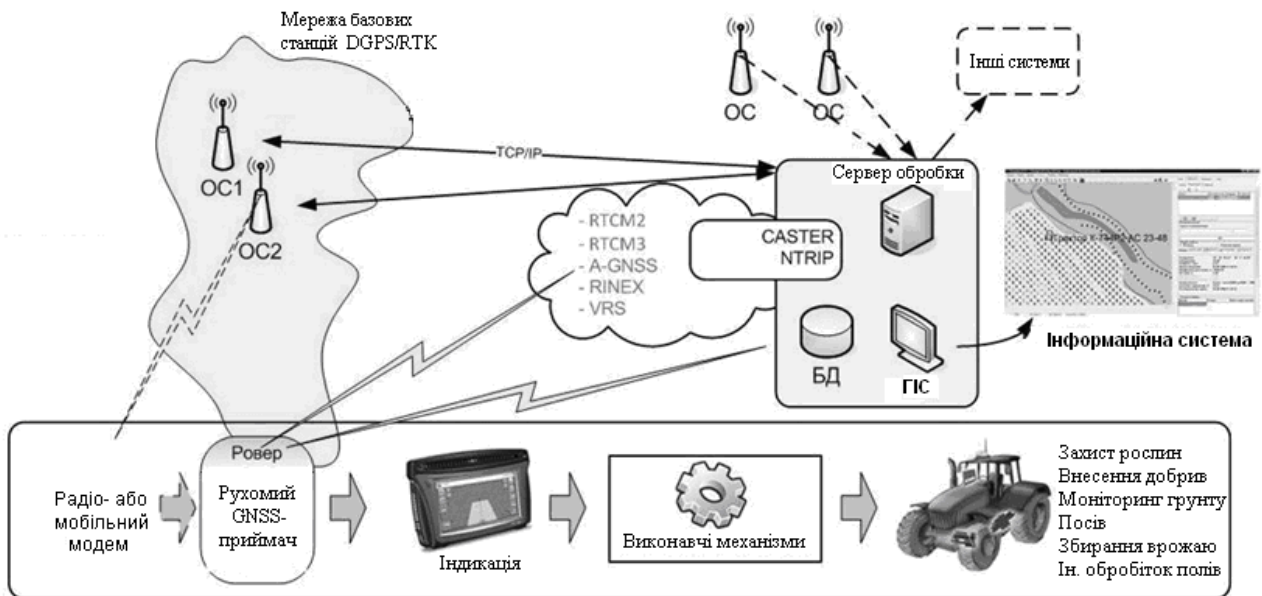


Рисунок 5 – Схема роботи програмно-технічної системи для розв’язання задач прецизійного землеробства: напрямки обміну інформацією між основними елементами

Функціонал системи розрахований на розв’язання таких основних задач з використанням розробленого програмного забезпечення:

- визначення місцеположення, побудова траєкторії і контроль за швидкістю руху (простою) транспорту, сільськогосподарської техніки та механізмів при проведенні агротехнологічних операцій, розрахунок пройденої або обробленої площі;
- задання маршруту (траєкторії) руху та контроль відхилень;
- запис в оперативну пам’ять за певний проміжок часу просторових даних, технічних (для сільськогосподарської техніки – обороти двигуна, швидкість, витрати палива) і технологічних (для сільськогосподарських робіт – площа оранки, дози внесення добрив) параметрів, з функцією їх контролю.

Ключовою перевагою запропонованої системи є комплексний підхід при розробці програмного забезпечення обробки навігаційних даних та асоційованої коригувальної інформації, яке інтегрує модулі на основі чотирьох високоточних методів.

**Висновки:**

1. Аналіз засобів збору та передачі навігаційних даних із підвищеною точністю для геоінформаційних систем реального часу (на прикладі предметної області точкового землеробства) показав, що в світі є ряд навігаційних систем, які забезпечують визначення прецизійного місцеположення рухомих об’єктів наземного та повітряного базування, які задіяні у процесі реалізації технології точного землеробства. Але відмічені система не забезпечують бажаної точності, необхідної для технології паралельного водіння.

2. Встановлено, що диференціальні вимірювання в GPS можуть бути набагато більш точними, ніж звичайні. Це обумовлено введенням опорної (базової) станції з відомими координатами, яка обчислює поправки і передає в ефір комбіновані повідомлення, здійснюючи корекцію супутникових вимірювань. Цими повідомленнями може скористатися будь-яка кількість ведених GPS-приймачів, для усунення практично всіх помилок у своїх вимірюваннях. Аналогічна технологія підтримується програмним забезпеченням для базових станцій, які дозволяють підвищити необхідну точність позиціонування об’єктів, використовуючи в роботі сигнали двох супутникових систем GPS і ГЛОНАСС.

3. Система корекції RTX дозволяє підвищити точність визначення місцеположення в обхід наземних базових станцій, використовуючи безпосередньо коригувальні сигнали з супутників або через мережу Інтернет.



4. З урахуванням прикладних задач предметної області точкового землеробства запропоновано гнучку структуру та склад програмно-технічної системи з функцією моніторингу, яка забезпечує сантиметрову точність паралельного водіння сільськогосподарських агрегатів з використанням програмних модулів комбінованої обробки даних поточної корекції координат.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Касім М. М. Деякі аспекти цифрової обробки космічних знімків земної поверхні / М. М. Касім, С. О. Ясенев // Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XI Міжнар. наук.-практ. конф. студентів та молодих учених. – Т. 2. – К. : НАУ, 2011. – С. 360.
2. Касім М. М. Можливості обробки і використання даних дистанційного зондування землі на базі ГІС / М. М. Касім, С. О. Ясенев // Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих учених. – К. : НАУ, 2012. – С. 156.
3. Аніскевич Л. В. Навігація і управління рухом безпілотних польових машин / Л. В. Аніскевич, Д. Г. Войтюк, Ф. М. Захарін. – Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М., 2012. – 96 с.
4. Белавцева Т. М. Технологии точного земледелия, их перспективы и возможности использования на мелиорированных землях : научно-технический обзор / Т. М. Белавцева. – М. : Федеральное государственное научное учреждение (ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ»), 2009. – С. 8–15.
5. Якушев В. В. Система поддержки принятия решений в земледелии. Принципы построения и функциональные возможности / В. В. Якушев // Современная агрофизика – Высоким агротехнологиям : материалы Международной конференции. – СПб. : АФИ, 2007.
6. Касім М. М. Основні тенденції розвитку геоінформаційних навігаційних систем прецизійного землеробства в Україні / М. М. Касім., М. І. Васюхін // Энергетика і автоматика : електрон. наук. фак. вид. – К. : Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, 2016. – № 2 (28). – С. 64–73.
7. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування / [Б. Гоффман-Велленгоф, К. Легат, М. Візер; пер. з англ. за ред. Я. С. Яцків]. – Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2005. – 443 с.
8. Методи та засоби побудови динамічних сценаріїв у навігаційних геоінформаційних системах / [О. В. Палагін, М. І. Васюхін, А. М. Касім та ін.] // Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем : збірник матеріалів наук.-практ. конф. (29 січня 2015 року, м. Львів). – Львів : АСВ, 2015. – С. 185–200.
9. К вопросу управления подвижными средствами / [И. М. Скубилин, А. Н. Ткаченко, А. М. Касим и др.] // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и автоматика. – ПАРУСА-2013 : сборник трудов II Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Геленджик : Издательство Южного федерального университета, 2013. – Т. 1. – С. 91–105.
10. Касім М. М. Алгоритмічні методи підвищення точності визначення просторово-часових координат мобільних агрегатів в системах цифрового землеробства / М. М. Касім, А. М. Касім // Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні '2016 : збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23–24 червня 2016). – Немішаєве : НМЦ «Немішаєве», 2016. – С. 58–60.
11. Кравчук В. І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин : монографія / В. І. Кравчук. – К. : НАУ, 2005. – 208 с.
12. Проблеми побудови системи прецизійного землеробства на Україні / [М. І. Васюхін, О. М. Ткаченко, А. М. Касім, Ю. Ю. Іваник] // Проблеми інформаційних технологій. – 2014. – № 1 (015). – С. 112–117.

13. Методы формирования динамических сценариев в системах прецизионного вождения / [М. И. Васюхин, А. М. Касим, В. В. Долынный, Ю. Ю. Иваник] // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2015. – № 2 (13). – С. 294–300.

14. Васюхін М. І. Програма – план робіт з топографічного знімання місцевості для визначення точного місцеположення об'єктів на сільськогосподарських полях (на прикладі с. Пшеничне Васильківського р-ну київської обл.) / М. І. Васюхін, М. М. Касим, О. В. Сініцин // Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні '2016 : збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23–24 червня 2016). – Немішаєве : НМЦ «Немішаєве», 2016. – С. 51–52.

15. Віват А. Й. Дослідження точності визначення координат GNSS методом у режимі RTK / А. Й. Віват, В. О. Літинський, В. М. Колгунов, І. Я. Покотило // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Вип. 74. – 2011. – С. 52–59.

16. Патент 6133000 В1 США, US6553299, US20030187560. Методи та апаратура для точного землеробства операцій з використанням реального часу кінематичних систем глобальної системи позиціонування / Рассел Дж. Келлер, Марк Е. Ніколос, Артур Ф. Ланге; патентовласник Trimble Navigation Limited; заявл. 15.07.1998; опубл. 06.03.2001; пріоритет 15.06.1998, № 09/116, 312 (США)

## REFERENCES

1. Kasim, M. M., & Yasenev, S. O. (2011). Deiaki aspekty tsyfrovoy obrobky kosmichnykh znmkiv zemnoi poverkhni. *Polit. Suchasni problemy nauky: XI Mizhnar. nauk.-prakt. konf. studentiv ta molodykh uchenykh*. Kyiv: NAU, 360.

2. Kasim, M. M., & Yasenev, S. O. (2012). Mozhlyvosti obrobky i vykorystannia danykh dystantsiinoho zonduvannia zemli na bazi HIS. *Polit. Suchasni problemy nauky: XII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. studentiv ta molodykh uchenykh*. Kyiv: NAU, 156.

3. Aniskevych, L. V., Voitiuk, D. H., & Zakharin, F.M. (2012). *Navihatsiia i upravlinnia rukhom bezpilotnykh polovykh mashyn*. Nizhyn: Vydavets PP Lysenko M.M.

4. Belavtseva, T. M. (2009). *Tekhnolohyy tochnoho zemledelyia, ykh perspektyvy u vozmozhnomy yspolzovaniia na melyoryrovannykh zemliakh*. Moskva: FHNU TsNTY «Melyovodynform».

5. Yakushev, V. V. (2007). Systema podderzhky pryniatyia reshenyi v zemledelyu. *Pryntsypy postroeniia y funktsyonalnye vozmozhnomy. Sovremennaia ahrofyzyka – vysokym ahrotekhnolohiyam: materyaly Mezhdunar. konf.* – SPb.: AFY.

6. Kasim, M. M., & Vasiukhin, M. I. (2016). Osnovni tendentsii rozvytku heoinformatsiinykh navihatsiinykh system pretsyziinoho zemlerobstva v Ukraini. *Enerhetyka i avtomatyka*, 2 (28), 64–73.

7. Hoffman-Vellenhof, B., Legat, K., & Vizer, M. (2005). *Navihatsiia. Osnovy vyznachennia mistsepolozhennia ta skerovuvannia*. Lviv: Lvivskiy natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka.

8. Palahin, O. V., Vasiukhin, M. I., Kasim, A. M., Ivanyk, Yu. Yu., Dolynnyi, V. V. (2015). Metody ta zasoby pobudovy dynamichnykh stsenariiv u navihatsiinykh heoinformatsiinykh systemakh. *Perspektyvy rozvytku avtomatyzovanykh system upravlinnia viiskamy ta heoinformatsiinykh system: nauk.-prakt. konf.* – Lviv: ASV, 185–200.

9. Yvanyk, Yu. Yu., Kasim, A. M., Tkachenko, A. N., Skubylyn Y. M. (2013). K voprosu upravleniya podvyzhyimyy sredstvamy. *Problemy avtomatyzatsyy. Rehyonalnoe upravlenye. Sviaz y avtomatyka. – PARUSA-2013: II Vserossyiskaia nauchn. konf. molodykh uchenykh, aspyrantov y studentov*. Helendzhik: Yzdatelstvo Yuzhnoho federalnogo unyversyteta, 91–105.

10. Kasim, M. M., Kasim, A. M. (2016). Alhorytmichni metody pidvyshchennia tochnosti vyznachennia prostorovo-chasovykh koordynat mobilnykh ahrehativ v systemakh tsyfrovoho zemlerobstva. *Hlobalni ta rehionalni problemy informatyzatsii v suspilstvi ta pryrodokorystuvanni: IV Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Nemishaieva: NMTs «Nemishaieva», 58–60.

11. Kravchuk, V. I. (2005). *Teoretychni osnovy adaptatsii silskohospodarskykh mashyn*. Kyiv: NAU.
12. Vasiukhin, M. I., Tkachenko, O. M., Kasim, A. M., Ivanyk, Yu. Yu. (2014). Problemy pobudovy systemy pretsyziinoho zemlerobstva na Ukraini. *Problemy informatsiinykh tekhnolohii, 1 (015)*, 112–117.
13. Vasiukhyn, M. Y., Kasim, A. M., Dolinnii, V. V., Yvanyk, Yu. Yu. (2015). Metodi formyrovanyia dynamycheskykh stsenaryev v systemakh pretsyzyonnoho vozhdennia. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii, 2 (13)*, 294–300.
14. Vasiukhin, M. I., Kasim, M. M., Sinitsyn, O. V. (2016). Prohrama – plan robit z topohrafichnoho znimannia mistsevosti dlia vyznachennia tochnoho mistsepolozhennia ob'ektiv na silskohospodarskykh poliakh (na prykladi s. Pshenychnе Vasykivskoho r-nu Kyivskoi obl.). *Hlobalni ta rehionalni problemy informatyzatsii v suspilstvi ta pryrodokorystuvanni: IV Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* Nemishaieva: NMTs «Nemishaieva», 51–52.
15. Vivat, A. Y., Litynskyi, V. O., Kolhunov, V. M. et al. (2011). Doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat GNSS metodom u rezhymi RTK. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia, 74*, 52–59.
16. Patent USA 6133000 B1, US6553299, US20030187560. Metody ta aparatura dlia operatsii tochnoho zemlerobstva z vykorystanniam kinematychnykh system realnoho chasu hlobalnoi systemy pozytsionuvannia / Russel Dzh. Keller, Mark E. Nikolos, Artur F. Lanhe; patentovlasnyk Trimble Navigation Limited; zaiavl. 15.07.1998; opubl. 06.03.2001; priorytet 15.06.1998, # 09/116, 312 (USA).

**Касим М. М., Васюхин М. И., Касим А. М.** ВЫСОКОТОЧНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРЕЦИЗИОННОГО ВОЖДЕНИЯ  
*Представлены результаты теоретических исследований точности координат позиционирования подвижных объектов средствами спутниковых навигационных систем в режимах DGPS, RTK, VRS, RTX. Показано, что самую высокую точность обеспечивают методы, основанные на использовании корректирующих RTK- и RTX- сигналов, причем последний не требует наличия дополнительной базовой станции. Предложена структура и состав программно-технической системы с функцией мониторинга, которая обеспечивает сантиметровую точность параллельного вождения сельскохозяйственных агрегатов с использованием программных модулей комбинированной обработки данных текущей коррекции координат.*

**Ключевые слова:** навигационные данные, спутники GNSS, комбинированные сообщения корректирующий сигнал, референтная станция, дифференциальные поправки, точность координат.

**Kasim M. M., Vasyuhin M. I., Qasem A. M.** PRECISION METHODS OF RECEIVING SATELLITE NAVIGATION DATA FOR PRECISION DRIVING PROBLEMS

*The results of theoretical research of precision positioning coordinates of moving objects by means of satellite navigation systems in DGPS, RTK, VRS, RTX. It is shown that the highest accuracy provide methods based on the use of corrective RTK- and RTX- signals, the latter does not require additional base station. The structure and composition of software and technical system monitoring feature that provides centimeter precision parallel driving agricultural units using software modules combined data correction current coordinates.*

**Keywords:** data navigation satellites GNSS, combined messages adjustment signal reference station differential corrections, accuracy coordinates.

© Касим М. М., Васюхин М. И., Касим А. М.

Статтю прийнято  
до редакції 31.03.16