



УДК 528:71:332

ANALYSIS AND GENERALIZATION OF THE TECHNOLOGY OF ARRANGEMENT OF THE EARTH SHEET WITH THE INVOLVEMENT OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC LEVELING BY THE WORKING UNIT OF EARTH-MOVING EQUIPMENT**АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ РОБОЧИМ АГРЕГАТОМ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ ТЕХНІКИ****Zakharova E.V. / Захарова Е.В.**
assist. / asistm.

ORCID: 0000-0001-8811-451X

Sarkisian H.S. / Саркісян Г.С.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2343-4461

Onishchenko O.S. / Онищенко О.С.
*assist. / asistm.**Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Yaroslava Mudroho str, 25, 61002**Харківський Національний Автомобільно-Дорожній Університет,
Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002*

Анотація. В роботі розглядається сучасна технологія влаштування земляного полотна із залученням системи автоматичного нівелювання робочим агрегатом землерийної техніки. Сучасні нові технології сприяють розробленню і впровадженню нових, ефективних і економічно доцільних технологічних процесів на базі сучасних наукових досягнень і виробничого досвіду. Одним з головних засобів підвищення продуктивності праці є подальший розвиток механізації будівельних робіт. Питома вага ручної праці в будівельному виробництві все одно залишається досить значною. Тому є потреба не тільки у використанні сучасної техніки для виконання будівельних робіт, а й підготовка висококваліфікованих фахівців, бо будівельна галузь завжди була і залишається однією з найважливіших галузей народного господарства. Для розширення можливостей, а також через більш жорсткі терміни будівництва і вимоги до точності разом з нестачею кваліфікованих операторів стає вкрай важливим впровадження інноваційних технологій в конструкцію сучасної землерийної техніки.

Ключові слова: системи автоматичного нівелювання, влаштування земляного полотна, землерийна техніка.

Вступ. Будівництво – одна з найважливіших галузей матеріального виробництва, оскільки є базовою для успішного функціонування інших галузей господарства, а також обумовлює форму комфортного середовища життєдіяльності людини [1].

Сталий розвиток будівництва сприяє створенню великої кількості робочих місць, що, зі свого боку, приводить до розвитку низки суміжних галузей матеріального виробництва.

Будівельна технологія в загальному розумінні – сукупність методів із виготовлення та оброблення матеріалів або напівфабрикатів, застосовуваних під час отримання продукції. Сучасні нові технології сприяють розробленню і впровадженню нових, ефективних і економічно доцільних технологічних процесів на базі сучасних наукових досягнень і виробничого досвіду [1].



Одним з головних засобів підвищення продуктивності праці є подальший розвиток механізації будівельних робіт. Комплексна механізація означає, що всі процеси: основні й допоміжні, важкі й трудомісткі – виконуються машинами або комплектом машин. Машини, що складають комплект, мають бути подібні технологічно, за призначенням, технічним рівнем і продуктивністю роботи, що забезпечить заданий і стабільний темп роботи.

Показник рівня комплексної механізації визначається як відношення обсягу робіт, виконаних механізованим способом, до загального обсягу того самого різновиду робіт. Для земляних робіт досягнуто близько 98,2 % комплексної механізації [1].

Питома вага ручної праці в будівельному виробництві все одно залишається досить значною. Тому є потреба не тільки у використанні сучасної техніки для виконання будівельних робіт, а й підготовка висококваліфікованих фахівців, бо будівельна галузь завжди була і залишається однією з найважливіших галузей народного господарства [1].

Для розширення можливостей, а також через більш жорсткі терміни будівництва і вимоги до точності разом з нестачею кваліфікованих операторів стає вкрай важливим впровадження інноваційних технологій в конструкцію сучасної землерийної техніки [2].

Основний текст. Системи автоматичного нівелювання для грейдерів і бульдозерів – це програмно-апаратний комплекс, який використовує геодезичні автоматизовані технології тахеометрії та GPS технології, а також різні типи датчиків, для забезпечення часткової автоматизації виконання робіт. Тобто це набір додаткових датчиків, гідравліки та елементів контролю й управління, що забезпечує установку робочих елементів машини в просторі так, як цього вимагає завдання або проєкт, рисунок 1 [3].

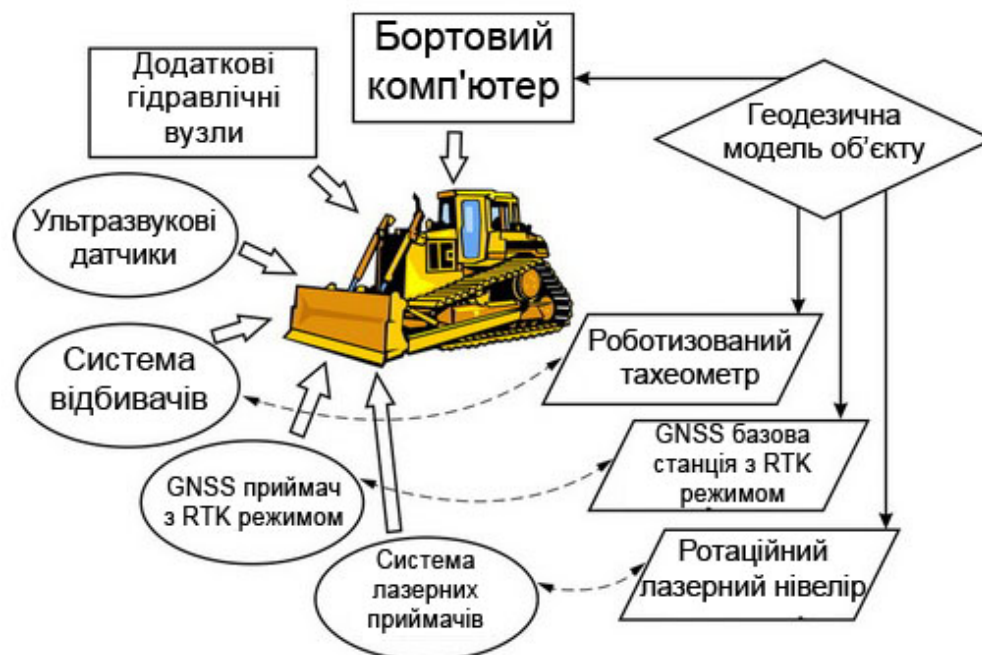


Рисунок 1 - Схема системи автоматичного нівелювання для грейдерів і бульдозерів [3]



Залежно від розв'язуваних завдань існує три основні різновиди рішень [3]:

- 1D система – автоматична робота в одній площині (просто витримування певного рівня або ухилу робочого елемента);
- 2D система – робота в похилій площині (установка перевищення і нахилу, робота в площині з подвійним нахилом);
- 3D система – автоматична установка перевищення і нахилу з урахуванням положення та напрямку руху машини.

Системи автоматичного нівелювання для грейдерів і бульдозерів мають максимальну для свого сегмента гнучкість конфігурації, тобто може працювати в різних режимах (1D, 2D, 3D), використовуючи різні комбінації датчиків (лазерні приймачі, у/з датчики, датчики нахилу, датчики зсуву і повороту), тим самим забезпечуючи саме той режим робіт, який оптимальний виконавцю, крім цього сумісні з найширшим спектром техніки.

Переваги, одержувані завдяки використанню системи автоматичного нівелювання [3]:

- виняток переробок;
- підвищення рентабельності за рахунок економії матеріалів;
- автоматичне управління робочим елементом значно скорочує помилки через людський фактор і знижує втому оператора;
- економія часу на майданчику;
- економія пального;
- поліпшення якості й точності поверхні безпосередньо забезпечує загальну якість майбутнього елемента інфраструктури.

Всі вищеперераховані особливості в більшій мірі відносяться до 2D систем. 3D системи автоматизації грейдерів і бульдозерів – це системи 2D нівелювання, які враховують також положення машини і траєкторію її руху, виключаючи тим самим необхідність базових ліній. Всі необхідні дані для завдання напряму містяться в проєкті. Команди при виконанні робіт в реальному часі видаються на бортовий комп'ютер машини на основі вимірів зовнішнього роботизованого тахеометра або високоточного GPS приймача на борту техніки.

Як це працює: GPS або тахеометр видає координати на бортовий комп'ютер, там вони порівнюються з проєктною моделлю і в результаті порівняння й аналізу здійснюється відповідне переміщення робочого органу машини [3].

Додаткові переваги при використанні саме 3D систем [3]:

- підвищення продуктивності та гнучкості;
- максимальне підвищення точності робіт;
- економія коштів.

Система 3D нівелювання містить наступні компоненти [3]:

- апаратура позиціонування робочого органу машини (датчики на машині і стаціонарна базова станція);
- бортовий комп'ютер;
- програмне забезпечення.

Системи автоматичного нівелювання використовують при спорудженні земляного полотна бульдозерами і екскаваторами, формуванні дорожнього одягу



автогрейдері та асфальтоукладачами. Їх встановлюють на котки, скрепери, тримери і дорожні фрези. Автоматичні системи управління для дорожніх машин випускають багато компаній. Найбільш відомі MOBA, Lieca Geosystems, Topcon Positioning Systems, Trimble, AccuGrade, рисунок 2 [3].



Рисунок 2 - Система автоматичного 3D нівелювання для грейдеру [3]

Використання систем автоматичного нівелювання підвищує продуктивність праці операторів, допомагає працювати швидко і точно. Наприклад, за даними компанії Caterpillar застосування простої сигнальної системи підвищує продуктивність праці екскаватора на 22-35 %. Йому не потрібно періодично залишати кабіну, щоб перевірити глибину. Немає зупинок, при яких машина споживає паливо на холостому ходу. А 3D-система нівелювання для екскаватора дозволяє збільшити продуктивність на 45 %.

При використанні автоматичних систем нівелювання на кожному етапі дорожніх робіт підвищується якість, зменшуються витрати на оплату послуг сторонніх організацій, паливо [3].

Основні елементи системи автоматичного нівелювання.

Система Trimble нівелювання 3D з Роботизованим Тахеометром на автогрейдер встановлюється на автогрейдері та бульдозері, рисунок 3. Принцип роботи [3]:

- на майданчику встановлюється роботизований тахеометр з відомими координатами. Координати встановлюються за 3 реперами;
- на машині встановлен відбивач з ідентифікатором встановлений на відвалі. Роботизований тахеометр UTS стежить за ідентифікатором, вимірює два кути та дальність до машини з частотою 20 Гц. Потім ці данні передаються по радіоканалу в систему керування машиною, блок керування перераховує ці данні та перетворює у керуючі сигнали положення робочої кромки відвалу;
- отримана точність – не гірше 0,5 см в плані та 1 см по висоті;
- система повністю керує роботою відвала машини;
- оператор може самостійно, не виходячи з машини, контролювати якість робіт.

Застосування систем Trimble нівелювання 3D з Роботизованим Тахеометром [3]:



- чистова обробка, профілювання з міліметровою точністю;
- підготовка до укладання асфальту;
- будівництво, розширення доріг;
- будівництво аеропортів;
- точне профілювання для будівництва доріг та їх розширення.

До складу системи входять [3]:

- ❖ Trimble MT 900 активна призма;
- ❖ Trimble EM 400 електрична щогла;
- ❖ Trimble AS400 датчик нахилу;
- ❖ Trimble RS400 датчик обертання;
- ❖ Trimble PM400 модуль керування живленням;
- ❖ Trimble CB 450 або CB 460 керуючий дисплей з програмним забезпеченням – Trimble GST 900;
- ❖ Trimble SNR радіомодем одно або двох діапазонний;
- ❖ Trimble SNM 940 GSM модем;
- ❖ Гідравлічні шланги та з'єднання для інтеграції в гідравліку машини;
- ❖ Гідроблок beta;
- ❖ Електропроводка beta;
- ❖ Trimble VM430 модуль клапана використовується для одночасного управління до 3 гідравлічних клапанів по шині CAN.

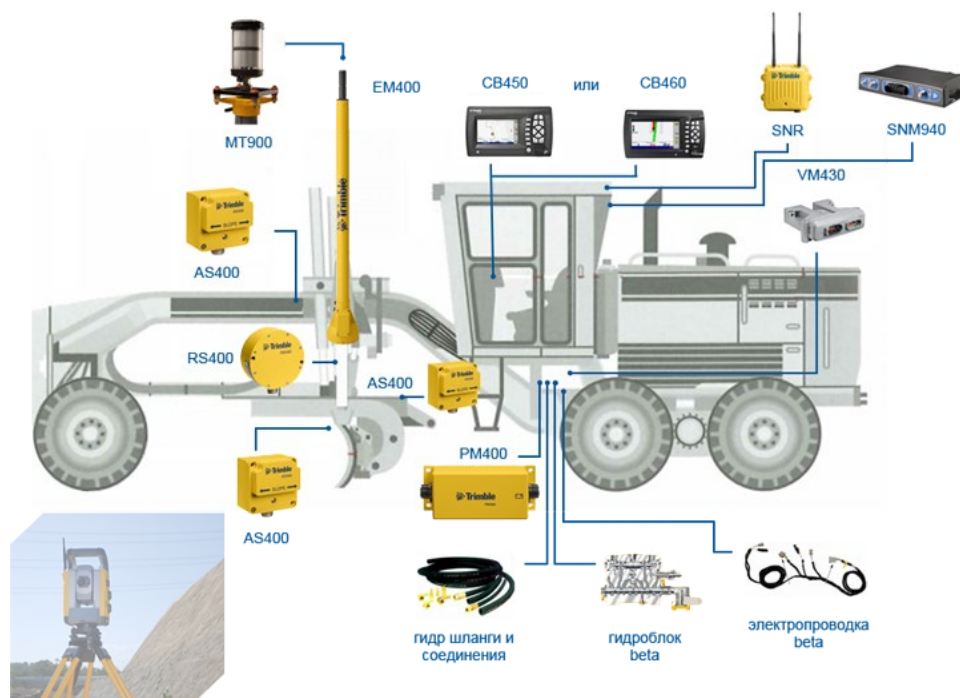


Рисунок 3 - Система автоматичного нівелювання Trimble 3D з Роботизованим Тахеометром для автогрейдера [3]

Система автоматичного нівелювання 3D GPS DisCAV для грейдера – це супутникова система нівелювання, встановлюється в кабіні і автоматично управляє роботою грейдера. Висота, будова насипу, нахил, поворот – машина в точності повторює вкладену в бортовий комп'ютер модель дороги.



Грейдер приїжджає на заплановану ділянку дороги. Зйомка проводиться оператором безпосередньо з кабіни, по центру уздовж дороги відзначається точка А (початок) і точку В (кінець) планованої ділянки, водяться дані нахилів по краях, взяті з проекту, бортовий комп'ютер робить необхідні обчислення і вже через кілька хвилин оператор може приступити до роботи по плануванню ділянки. 3D GPS системи дозволяють економити час і ресурси, рисунок 4 [3].



Рисунок 4 - Система автоматичного нівелювання 3D GPS DisCAV для автогрейдеру [3]

Системи автоматичного нівелювання Leica PowerGrade для грейдерів і бульдозерів – це програмно-апаратний комплекс, який використовує геодезичні автоматизовані технології тахеометрії та GPS технології, а також різні типи датчиків, для забезпечення часткової автоматизації виконання робіт. Тобто це набір додаткових датчиків, гідравліки та елементів контролю й управління, що забезпечує установку робочих елементів машини в просторі так, як цього вимагає завдання або проект.

Leica PowerGrade має максимальну для свого сегмента гнучкість конфігурації, тобто може працювати в різних режимах (1D, 2D, 3D), використовуючи різні комбінації датчиків (лазерні приймачі, у / з датчики, датчики нахилу, датчики зсуву і повороту), тим самим забезпечуючи саме той режим робіт, який оптимальний виконавцю, крім цього сумісна з найширшим спектром техніки [3].



Однією з унікальних особливостей системи PowerGrade від Leica Geosystems є функція автоматичного бокового зміщення. У цьому випадку положення леза щодо базової лінії (струни, бордюру) встановлюється автоматично в час руху, використовуючи при цьому свої власні датчики з технологією TriSonic, що дозволяють максимально точно орієнтуватися на опорний об'єкт. Звідси знову ж – зменшення втоми оператора, спрощення виконання робіт для менш досвідченого персоналу та загальне підвищення точності. Використання 3D датчиків (GPS і відбивачів з роботизованим тахеометром) дозволяє з максимальною точністю та в реальному часі встановлювати бічний зсув відвала навіть при поворотах (тобто при роботі з непрямолінійними ділянками), рисунок 5 [3].

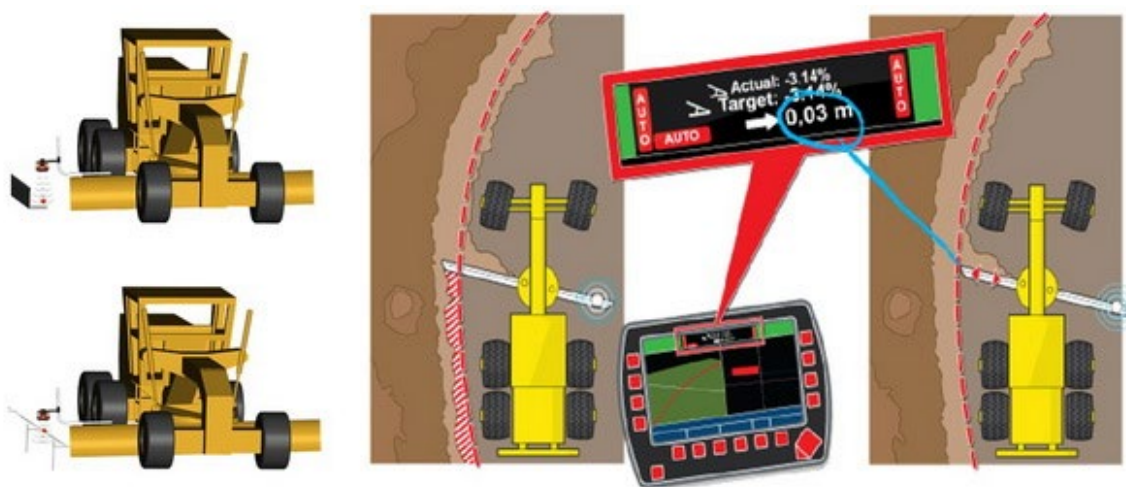


Рисунок 5 - Програмно-апаратний комплекс Leica PowerGrade для грейдерів і бульдозерів на повороті [3]

Принцип роботи 3D системи управління ґрунтується на тому, що в бортовий комп'ютер системи завантажується цифрова модель проектної поверхні. Система управління постійно контролює поточне просторове положення та усунення робочого обладнання машини (відвалу бульдозера або грейдера, що вигладжує плити асфальтоукладача тощо) щодо цієї проектної поверхні. Для цього системі потрібно постійно знати розташування машини та її орієнтацію (напрямок руху) на території будмайданчика.

Одним із способів позиціонування будівельної техніки є використання роботизованого електронного тахеометра. Така технологія отримала у Торсон назву 3D LPS (Local Positioning System – локальна система позиціонування). Слід зазначити, що Торсон належить пальма першості у створенні систем на основі роботизованих електронних тахеометрів стосовно управління будівельною технікою – перша система Торсон 3D LPS була випущена в 1999 році [3].

Роботизований електронний тахеометр встановлюється над точкою з відомими координатами та орієнтується на точку зворотного орієнтування, після чого готовий до роботи. У процесі роботи тахеометр безперервно стежить в автоматичному режимі за круговою призмою, яка встановлюється на спеціальній щоглі, що закріплена на робочому органі будівельної машини (наприклад, на



відвалі грейдера). Оскільки машина постійно перебуває в русі, для забезпечення точної роботи системи тахеометр визначає координати призми з високою частотою 20 Гц (20 разів на секунду) і радіоканалом передає цю інформацію в бортовий комп'ютер системи управління. Програмне забезпечення системи управління використовує отриману з тахеометра координатну інформацію для розрахунку поточного положення робочої кромки обладнання та обчислює зміщення робочого органу машини по висоті та ухилу щодо проектної поверхні в кожній точці. Після цього система віддає команди гідравліці машини для автоматичного приведення робочого органу проектного положення.

Для забезпечення роботи системи управління на основі технології 3D LPS необхідно забезпечити виконання на будмайданчику наступних умов [3]:

– наявність закріплених точок планово-висотного обґрунтування. У процесі роботи системи електронний тахеометр встановлюється на точці із відомими координатами. Це означає, що для роботи системи 3D LPS на будмайданчику повинні бути закріплені точки планово-висотного обґрунтування. Важливо забезпечити збереження цих закріплених точок протягом усього роботи 3D LPS систем управління будівельної техніки;

– забезпечення прямої видимості між тахеометром та машиною. Оскільки електронний тахеометр повинен постійно визначати поточні координати машини, необхідно забезпечити постійну наявність прямої видимості між інструментом та круговою призмою. Якщо пряма видимість втрачається в результаті її короткочасного перекриття (наприклад, машиною, що проїжджає повз), необхідна короткочасна зупинка будівельної техніки з системою 3D LPS для того, щоб електронний тахеометр знову захопив призму і продовжив передачу координатної інформації в бортовий комп'ютер системи управління.

На сьогоднішній день технологія 3D LPS забезпечує досягнення максимально можливої точності роботи систем керування будівельною технікою. Завдяки використанню високоточних роботизованих електронних тахеометрів Topcon досягається точність визначення висотної позначки на рівні перших міліметрів. Більш того, інтегрована в тахеометри Topcon технологія швидкого захоплення та надійного супроводу призми PowerTrack гарантує надійну роботу системи навіть в умовах недостатнього освітлення та за наявності оптичних перешкод (відблисків від блискучих поверхонь тощо) [3].



Рисунок 6 - Схема роботи технології 3D LPS [3]



Важливо розуміти, що для роботи кожної одиниці техніки із системою 3D LPS потрібен свій роботизований електронний тахеометр. За наявності великої кількості техніки з системами керування на будмайданчику забезпечити умови постійної видимості між кожним тахеометром та його машиною може бути важко. Однак самі електронні тахеометри можуть використовуватися як у складі систем керування технікою, так і самостійно (коли машина із системою не працює) для вирішення традиційних геодезичних завдань на будмайданчику.

Системи управління на основі технології 3D LPS можуть використовуватися як на відкритих територіях, так і там, де застосування інших методів позиціонування (зокрема, ГНСС) неможливе через проблеми з прийомом супутникових сигналів, або з неможливістю організувати роботу ГНСС обладнання в RTK режимі. Такими можливими областями застосування технології 3D LPS можуть бути роботи в тунелях, в умовах щільної висотної міської забудови, в ангарах і на закритих територіях, поблизу спеціальних об'єктів, де відсутня можливість передачі RTK поправок через GSM або УКХ канали зв'язку [3].

У всіх високоточних додатках з використанням сигналів глобальних супутникових навігаційних систем (ГНСС) використовується принцип відносних вимірювань. Це означає, що з високою точністю визначається не абсолютне положення кожного окремого ГНС приймача, а збільшення координат (вектори) між парами приймачів. Важливою умовою супутникових відносних вимірювань є факт одночасних спостережень парою приймачів тих самих супутників, тільки в цьому випадку можна розрахувати вектор між цими приймачами. При цьому якщо якийсь із приймачів знаходиться на пункті з відомими координатами, то можна точно визначити щодо нього координати інших приймачів у цій системі координат.

Базові станції застосовуються практично у всіх додатках, в яких використовуються супутникові координатні визначення – інженерні дослідження, геодезичні роботи, картографія, ГІС, кадастрові роботи, будівництво доріг та складних інженерних споруд, системи управління будівельною технікою, системи точного землеробства, моніторинг деформацій інженерних об'єктів, навігація транспорту тощо [3].

Зазвичай базовий приймач встановлюють на штатив над вихідною точкою, і він продовжує роботу доти, доки разом із ним працюють ровери. Робота може виконуватися в режимі кінематики з постобробкою, коли координати роверів згодом розраховуються в офісі в результаті постобробки накопичених усіма приймачами результатів вимірювань. Робота також може здійснюватися в режимі кінематики в реальному часі (RTK), коли базовий приймач каналом зв'язку (радіо або GSM/GPRS) передає деяку інформацію (поправки) на ровер, а ровер за допомогою цієї інформації обчислюють свої поточні координати.

У наші дні відбувається активний розвиток інфраструктури базових станцій, що постійно діють (або референсних). Їхня принципова відмінність від польових базових станцій полягає в тому, що референсні станції монтуються стаціонарно і працюють цілодобово, забезпечуючи в зоні своєї дії роботу необмеженого числа ГНСС приймачів.



Слід зазначити, що управління роботою базової станції, що постійно діє, як правило, здійснюється дистанційно з центру управління за допомогою спеціального програмного забезпечення, тобто постійного знаходження персоналу в місці встановлення обладнання не потрібно. Програмне забезпечення для управління роботою базової станції, що постійно діє, виконує такі функції:

- дистанційне налаштування параметрів роботи базового приймача; оновлення версій внутрішнього програмного забезпечення;
- передача результатів вимірювань базового приймача (у внутрішньому форматі) персональний комп'ютер центру управління;
- перетворення результатів вимірювань у міжнародний формат обміну даними RINEX, збереження файлів даних у цьому форматі, надання RINEX файлів користувачам для їхньої спільної обробки з файлами даних, отриманими власними приймачами;
- передача RTK поправок користувачам RTK роверів для забезпечення координатних визначень на сантиметровому рівні точності, передача поправок може здійснюватися різними способами через мережу Інтернет (NTRIP), з використанням УКХ або GSM модемів;
- передача DGPS поправок для забезпечення координатних визначень на субметровому рівні точності мобільними приймачами (додаток ГІС, навігація тощо).

У лінійці ГНС обладнання Topcon є приймачі NET-G3A, спеціально розроблені для використання на базах, що постійно діють. Для управління роботою базової станції Topcon, що постійно діє, пропонує програмний продукт TopNET RTK з модулями TopNET-S (Сервер), TopNET-N (Формування КЕЛ поправок) і TopNET-R (Віддалене управління базовою станцією). Базова станція може працювати як в автономному режимі (одиночна станція), і у складі мережі станцій. Поодинокі базові станції використовуються тоді, коли район робіт у діаметрі не перевищує в середньому 50 км. Таке обмеження пов'язане з принципами ГНС визначень – чим більша відстань між пунктами, тим менша точність отримання координат. Видалення RTK ровера більш ніж на 25 км від базової станції призводить до помітної деградації точності координат, що отримуються. Якщо потрібно забезпечити покриття більшої території, станції можуть бути об'єднані в мережу [3].

Висновки.

У даній роботі було розглянуто аналіз та узагальнення технології влаштування земляного полотна із залученням системи автоматичного нівелювання робочим агрегатом землерийної техніки. Розглянуто системи автоматичного нівелювання для грейдерів і бульдозерів. Проаналізовано переваги, одержувані завдяки використанню системи автоматичного нівелювання. Розглянуто основні елементи системи автоматичного нівелювання: Trimble нівелювання 3D з Роботизованим Тахеометром на автогрейдер; 3D GPS DisCAV для грейдера; Leica PowerGrade для грейдерів і бульдозерів; технології 3D LPS від Topcon.



Література:

1. Якименко О. В. Технологія будівельного виробництва : навч. посібник. О. В. Якименко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва. ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 410 с
2. ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016. Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг. [Чинний від 2017–01–01]. Київ, 2016. 98 с. (Національний стандарт України).
3. Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади: підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. Львів: ІЗМН, 2000. 324 с

***Abstract.** The paper deals with the modern technology of laying the earth bed with the involvement of the automatic leveling system by the working unit of the earthmoving equipment. The introduction of new technologies is intended to contribute to the development and implementation of new, efficient and economically feasible technological processes based on modern scientific achievements and production experience. One of the main means of increasing labor productivity is the further development of the mechanization of construction works. The specific weight of manual labor in construction production still remains quite significant. Therefore, there is a need not only to use modern equipment for construction work, but also to train highly qualified specialists, because the construction industry has always been and remains one of the most important sectors of the national economy. In order to expand opportunities, as well as due to stricter construction deadlines and accuracy requirements, together with a lack of qualified operators, it is extremely important to introduce innovative technologies into the design of modern earthmoving equipment.*

***Key words:** automatic leveling systems, arrangement of earth bed, earthmoving equipment.*

Науковий керівник: д.т.н., проф. Батракова А.Г.

Статья отправлена: 24.11.2023 г.

© Захарова Е.В., Саркісян Г.С., Онищенко О.С.