

ЗАДАЧА ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ БДМ З GPS ІНТЕНСИФІКАТОРОМ

Єфименко О.В.¹, Плугіна Т.В.²

^{1,2}Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Проведено дослідження задачі використання систем GPS для підвищення ефективності виконання землерийних робіт. Проведено аналіз точності позиціонування робочих органів будівельно-дорожніх машин. Визначено основні параметри машини та робочого органу при русі у просторі. Запропоновано модель безперервного контролю машини, що базується на застосуванні Kalman та Wiener-фільтрів, що придатні безупинно прогнозувати положення робочих органів БДМ у режимі реального часу.

Ключові слова: GPS-інтенсифікатор, сенсори, траєкторія, аналіз, оптимізація, вплив, фільтр, модель, робочі органи, ефективність.

Вступ

Використання інтелектуальних систем управління будівельною технікою дозволяє підняти будівництво доріг, швидкісних магістралей, аеродромів, мостів на новий якісний рівень.

Системи управління будівельною технікою на основі GPS дають наступні переваги:

- при їх використанні за рахунок скорочення робочого часу підвищується ефективність на 30 – 50 %;
- забезпечується висока точність;
- знижуються витрати палива і матеріалів.

Установка на борту бульдозерів, екскаваторів, грейдерів інтелектуальних систем позиціонування дозволяє ідентифікувати їх місцезнаходження з необхідною точністю, що виключає дорогі роботи бригад по розмітці місцевості. Знання точного розташування ножа бульдозера дозволяє істотно знизити вартість розробки і рекультивациі будівельних ділянок. Виконання земляних робіт і винос запроектованої поверхні ділянки будівництва відбувається одночасно, без попередньої розбивки. Під час копання траншеї для прокладки кабелів і трубопроводів використання засобів позиціонування знижує ризик можливого пошкодження. Дана система дозволяє управляти і асфальтоукладачем, автоматично контролюючи з високою точністю товщину покриття. Сучасні БДМ оснащені системами обробки інформації складної структури, що дозволяє змінювати конфігурацію машини з орієнтацією на виконання конкретних робіт [1]. Проблемно-орієнтовані програмні продукти, а також високоефек-

тивні засоби інтелектуалізації БДМ генерують дані на основі аналізу цифрових моделей роботи БДМ.

Аналіз досліджень і публікацій

Нові системи управління транспортом, розроблені за останні роки, об'єднують досягнення в області супутникового позиціонування (GPS) і відповідні засоби SAPR. Вони дозволяють оператору обладнання в звичайних умовах бачити створений комп'ютером об'єкт та постійно оновлювати топографічну інформацію про нього. Ці системи можуть зберігати схеми виконаних робіт і відразу передавати результати проектувальнику для перевірки. Кінцева мета системи - повністю виключити етап розбивки об'єкта традиційними методами, здійснити електронну передачу проектних даних в транспортне обладнання відразу з офісу і безперервно оновлювати дані про переміщення машин і матеріалів [2].

Система позиціонування є фундаментальною частиною автоматизованої системи управління, оскільки при будь-яких операціях має бути відомо положення всього обладнання у просторі. Система управління повинна забезпечувати операторів обладнання безперервною і поновлювальною інформацією про їхнє становище. У відкритих кар'єрах найпродуктивнішою технологією є просторове позиціонування за допомогою супутникової системи GPS [3]. Слід зазначити, що з появою позиціонування в реальному часі стало можливим не тільки виконувати роз-

бівку сітки поверхні, але і створити інтелектуальні системи управління обладнанням.

Нова методика GPS-інтенсифікаторів – використання кінематичних приладів в реальному часі (RTK) – дозволяє визначати тривимірні координат точок у русі з точністю менше дециметра на ділянках розміром близько 20 км. При цьому точність цих координат можна побачити відразу в ділянці, без необхідності подальших обчислень.

Для складання функціональної RTK-системи потрібні спеціальні двочастотні геодезичні GPS-приймачі і радіомодеми. Базовий приймач розташовується на точці з відомими координатами і передає власні виміри рухомим приймачам за допомогою цифрового радіозв'язку. Рухливі приймачі приймають ці дані, порівнюють зі своїми і за допомогою вбудованих алгоритмів ініціалізації обчислюють своє становище прямо в реальному масштабі часу. RTK-системи дозволяють практично виключити тимчасові витрати на підготовчу розбивку перед будівництвом або земляними роботами [4].

Нещодавно точне визначення положення рухомих платформ за допомогою GPS вимагало дотримання занадто строгих процедур і було неможливо в реальних умовах. Однак, після розробки фірмою Trimble приймача Site Surveyor з'явився перший комплект GPS Total Station для високоточних геодезичних робіт в реальному часі. Спеціальна архітектура чіпу приймача забезпечує субметрову точність визначень ще до завершення ініціалізації, а після неї (менш, ніж через 1 хвилину) вже сантиметрову точність в русі. За допомогою нової технології обробки сигналів Super-trak здійснюється покращене супроводження супутників навіть в складних умовах, наприклад, при сильних радіоперешкодах погоди [5]. Сучасна платформа для позиціонування має 10 портів і 50 входів для аналогової і цифрової інформації, що дозволяє стикувати її із численними датчиками і бортовими системами. На графічному дисплеї, встановленому в кабіні, використовується вбудоване програмне забезпечення, зображується рухома карта з положенням відвалу машини щодо точок різання і перелік можливостей системи.

Один з провідних світових виробників будівельного і гірського устаткування - компанія Caterpillar Inc. бере активну участь в розробці та тестуванні автоматизованих сис-

тем, надаючи своє обладнання і динамічну базу даних [6, 7].

Компанії Trimble і Caterpillar підписали Угоду про наміри щодо спільної розробки пристроїв для візуальної інформації оператора і систем управління транспортом на основі GPS. За цією угодою Caterpillar і Trimble використовують додаткові сили для впровадження GPS технології в дорожнє будівництво. Це дозволить здійснити електронну передачу проектних даних в машину відразу з офісу, а також безперервно оновлювати дані про переміщення ґрунту.

Мета та завдання дослідження

Мета роботи – підвищити ефективність та конкурентоспроможність робочих операцій дорожньої техніки за рахунок розробки математичних моделей позиціонування робочих органів БДМ (РО БДМ) з GPS інтенсифікатором.

Завдання:

- проаналізувати інтенсифікатори РО БДМ та визначення параметрів точності робочих операцій;
- розробити математичну модель позиціонування робочого органу машини із застосуванням інтенсифікаторів робочих процесів.

Аналіз систем позиціонування РО БДМ

Аналіз даних показав, що автоматизовані системи управління в дорожньому будівництві застосовуються головним чином для управління бульдозерами, екскаваторами, скреперами та бетоноукладачами.

Таблиця 1 показує основні види робіт, вимоги точності і стандартні системи управління для основних типів машин, які використовуються в будівництві.

Таблиця 1. Порівняння різних типів БДМ

Тип	Бульдозери	Автогрейдер	Асфальтоукладальники	Бетоноукладачі
Основні типи робіт	Земляні роботи значних об'ємів	Планування основи, фінішна обробка	Асфальтобетонні покриття, покриття для тротуарних доріг	Бетонні покриття різноманітної ширини
Вимоги до точності	До 2 см	До 0,5 см	До 5 mm у плані 3 mm по висоті	До 5 mm у плані 2 mm по висоті
Керування	3-D системи	Лазерні 3-D	Слідуючі по	Слідуючі по струні

системою	ми: GPS або total station	системою: GPS або total station	струні 3-D системи: total station	Лазерні системи 3-D системи: total station
----------	---------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	--

Вимоги точності для будівництва дорожнього полотна представлено у таблиці 2.

Таблиця 2. Вимоги точності

Поверхневий шар	Вертикальне переміщення
Фінішна поверхня	<+ 6 мм
Основний шар	+ 6 мм
Дорожня поверхня	+ 8 мм
Основне тіло	<+ 15 мм
Підстильний шар	+ 10 мм – 30 мм
Формуючий шар	+ 20 мм – 30 мм

Порівнюючи дані таблиць, можна зробити висновок, що вибір тієї чи іншої необхідної для будівництва машини і системи управління залежить від певного виду робіт. Висока точність ведення робіт необхідна тільки при будівництві верхнього одягу і поверхневих слоїв.

Основне завдання цих систем - контроль траєкторії робочого органу машини, визначення позиції та орієнтації в 3-х мірній системі координат (у системі координат ділянки будівництва в режимі реального часу).

Система координат машини безпосередньо пов'язана з центром обертання машини або центром тяжіння машини. В такому випадку, орієнтація і переміщення машини в 3-х мірному просторі завжди описуються трьома параметрами. Ці параметри можуть бути отримані із використанням будь-яких трьох точок вимірювання на машині, що визначають її положення або в комбінації з показаннями інших датчиків, наприклад герокомпасів. Для коригування машини керуючий сигнал надсилається гідроприводу робочого органу, щоб витримувати необхідний профіль поверхні та укоси.

Розглянемо принципи управління сучасними 3-ми системами автоматизованого управління в порівнянні із звичайними методами, виявимо їх переваги та недоліки (табл.3).

Головний компонент 3-х мірної системи управління - positioning unit (датчик визначення координат), який прив'язаний до траєкторії руху машини протягом усього робочого циклу (рис. 1). Такі системи отримали розвиток внаслідок сучасних RTK GPS систем і

станцій (total station) з автоматичним плануванням і відстеженням руху транспортних засобів. Вони здатні визначити 3-х мірне положення машини безперервно з високою частотою до 100 Hz, тобто, 100 раз в секунду. У той же час кінематична послідовність положень машини визначає траєкторію машини.

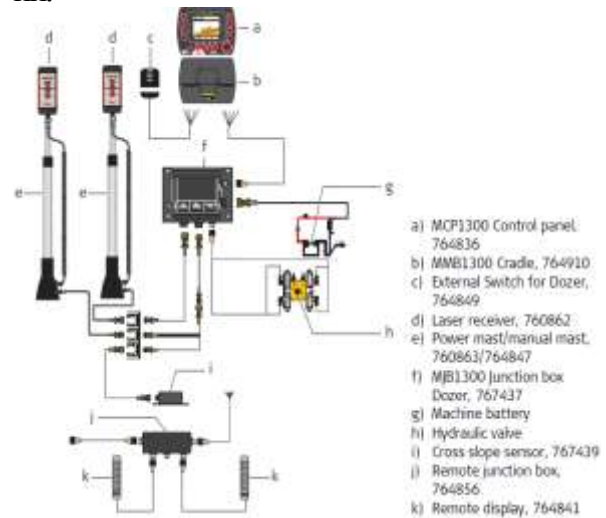


Рис. 1. Склад системи Leica

Рисунок 1 показує головні компоненти 3-D системи управління БДМ. Крім датчиків положення використовуються додаткові датчики, наприклад електронні датчики переміщення і вимірювання кутів повороту, щоб виміряти переміщення і кут нахилу робочого органу.

Таблиця 3- Порівняння систем керування

Тип	Дротові системи	Системи із обертовим лазером	Роботизовані станції	GPS
Координати	3D	1-D висота	3D	3D
Кількість станцій на ділянці	Велика кількість допоміжних станцій	1 та більш	1	1
Установки на ділянці	Не використовуються	Велика кількість	Велика кількість	1
Кількість машин на 1 станцію	Не використовуються	Необмежена	Одна для однієї станції	Необмежена
Максимальний діапазон	Датчики працюють на близькій відстані	До 300 м. В залежності від лінійності ділянки	До 700 м. В залежності від лінійності ділянки	Кілька км
Застосування при плохих умовах видимості	Неефективно	Зменшений	Зменшений	Неефективно
Точність	мм урівень	мм урівень	від мм к см урівень	см урівень

Основне призначення	Керування ЗІМ та БДМ	Точне управління висотою для автогрейдерів ДМі бетоноукладач	Управління бульдозерами, екскаваторами, грейдерами, скреперами	Управління бульдозерами, скреперами у с/г
---------------------	----------------------	--	--	---

Високі вимоги точності для будівництва доріг, бетоноукладання, є чинником, що стимулює подальший розвиток GPS систем управління. Системи потребують подальшого вдосконалення для того, щоб звичайні і трудомісткі методи могли бути замінені інтелектуальними алгоритмами.

Задача визначення траєкторії машини та робочого органу

Для керування машиною у 3-х мірному просторі орієнтація відносно кутів φ , θ , ψ машини та її РО повинні бути визначені безперервно у 3-х мірній системі координат (x, y, z) . На рис. 2 показано ситуацію, коли координати бази машини (ξ, ζ, η) визначено і описано у відповідній декартовій системі координат ділянки будівництва (x, y, z) .

Рівняння, яке описує цей процес

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = R(\varphi, \psi, \theta) \cdot \begin{pmatrix} \xi \\ \zeta \\ \eta \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де матриця обертання машини - $R(\varphi, \psi, \theta)$.

База машини (ξ, ζ, η) може бути визначена із використанням осі ξ направленої від точки 1 в точку 2, η - ось визначає лівостороннє переміщення, а ζ - ось правостороннє.

Зрозуміло, що розташування точки 1 можливо або в центрі мас машини або на відвалі машини. Більшість систем керування використовує тільки одну точку вимірювання, такі системи, як правило, обладнані GPS антеною або наземними сенсорами для визначення абсолютного положення машини. У таких ситуаціях може використовуватися електронний вимірювач уклону (inclinometer) з подвійною віссю, щоб виміряти обертання щодо осі θ та вертикальне переміщення відносно осі ψ . Невідомі параметри безпосередньо можуть бути отримані шляхом перетворення координат бази машини (ξ, ζ, η) до системи координат ділянки (x, y, z) (2).

Щоб переміщати відвал машини автоматично, відхилення поточного стану леза і відхилення від даного вирівнювання повинні бути заздалегідь визначені. Рухи ножа і орієнтація повинні бути описані щодо необхідного вирівнювання ножа. Рисунок 2 показує відносини між базою машини (ξ, ζ, η) та необхідним вирівнюванням k .

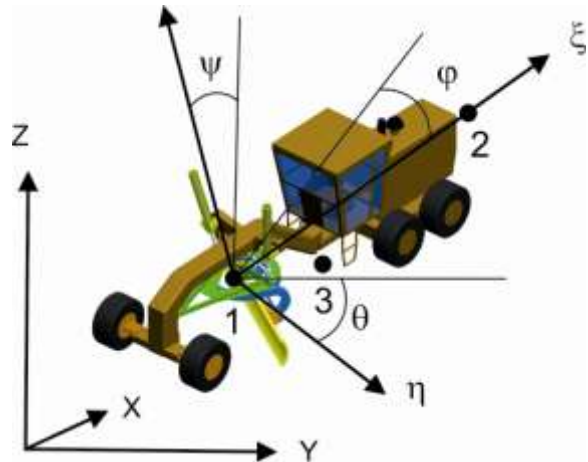


Рис. 2. Параметри орієнтації машини в системі координат (x, y, z)

На початковому етапі контрольна точка P і напрямок P_k в деякому положенні k бази машини описано щодо траєкторії в системі координат ділянки (x, y, z) з використанням параметрів відхилень координат Δx , Δy и Δz (рис.3). Так як ось машини (ξ, ζ, η) також змінюється з часом, зміни в параметрах відношень $\Delta\varphi$, $\Delta\theta$, $\Delta\psi$ будуть визначатися як тангенси кутів в контрольній точці P . В процесі визначення відхилень відмінності між координатами та відносну зміну параметрів треба визначати разом.

Алгоритм визначення параметрів БДМ при русі повинен відповідати трьом основним завданням: визначення розташування бази машини в 3-х мірній системі координат (автоматизована Total station або GPS), пов'язаним з положенням інших датчиків (наприклад inclinometer або компенсатором обертання); фільтрування вимірювання; прогнозування положення відвалу машини між цими двома точками вимірювань.

Таким чином, вся інформація, що надходить, повинна використовуватися, щоб оптимальна оцінка положення і параметрів відносини була доступною в будь-який час.

Для оптимальної оцінки невідомих параметрів доцільно використовувати модифікований Kalman-фільтр або Wiener-фільтр. Це було запропоновано Kahmen i Retscher [3].

Kalman-фільтр використовується для оцінки вимірювань у реальному масштабі часу. Вектор спостереження в алгоритмі фільтру вміщує відмінність координат $\Delta x(k)$, $\Delta y(k)$ та $\Delta z(k)$, напрямку P_k від контрольної точки P при зміні відносних параметрів $\Delta\varphi(k)$, $\Delta\psi(k)$ та $\Delta\theta(k)$ в період часу k (рис.4). Більш детально процедура оцінки описана раніш [4].

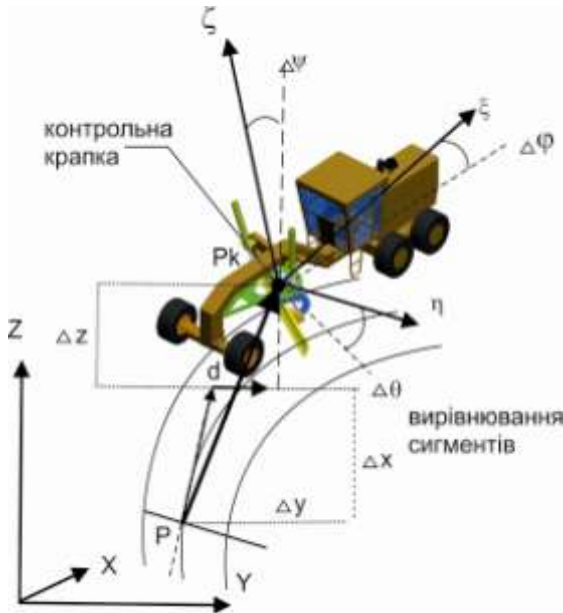


Рис. 3. Відносини між станом машини в різні часові інтервали

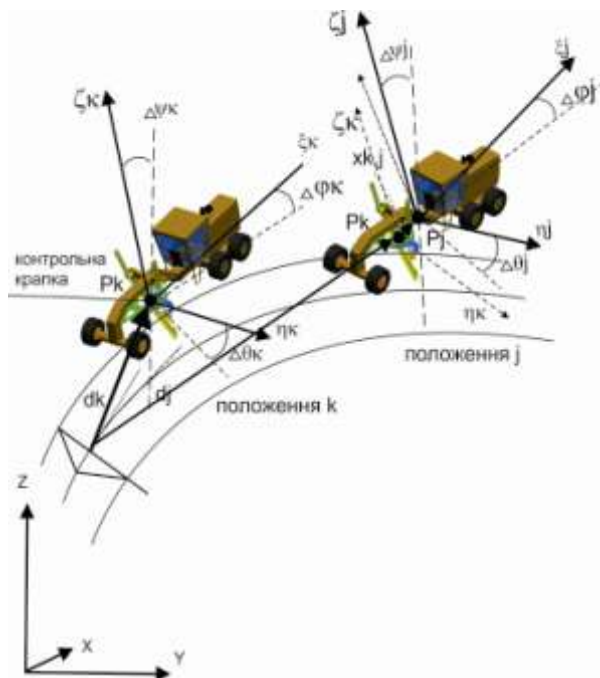


Рис. 4. Зміна положення машини

Стан, показаний на рис. 4 при 2x положеннях k і j можливо описати, перетворивши та розширивши вираз (1):

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = x_{k,j} + R(\Delta\varphi_{k,j}, \Delta\psi_{k,j}, \Delta\theta_{k,j}) \cdot \begin{pmatrix} \zeta \\ \eta \\ \xi \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де x_{kj} – є додатковим вектором між оригінальним положенням машини в час k та j .

Цей вектор описує зсув машини між двома послідовними «кадрами» часу.

Так як орієнтація осі може також змінюватися за часом в межах двох положень матриця обергання в рівнянні (2) містить відмінності, тобто:

$$\Delta\varphi_{k,j} = \Delta\varphi_j - \Delta\varphi_k$$

$$\Delta\psi_{k,j} = \Delta\psi_j - \Delta\psi_k$$

$$\Delta\theta_{k,j} = \Delta\theta_j - \Delta\theta_k$$

Кут $\Delta\theta_{kj}$ показано як приклад.

Визначення додаткових невизначених величин можливо виконати у фільтраційному підході Редшера та Егбона [7].

Висновки

Порівняльний аналіз систем інтелектуалізації управління машинами за критерієм мінімального відхилення від проектованого профілю показав, що вибір тієї чи іншої машини і системи управління залежить від виду земляних робіт. Більш висока точність необхідна тільки при будівництві верхнього одягу і дорожніх поверхневих шарів. Системи, що використовують RTK GPS, не настільки точні як системи, що використовують автоматизовані станції (total station). Високі вимоги точності для БДМ і особливо бетоноукладачів, є чинником, що стимулює подальший розвиток 3-D систем управління.

Для розробки математичної моделі керування БДМ із застосуванням GPS інтенсифікаторів необхідно використовувати сучасні методи фіксації сигналу та розширені алгоритми фільтрування.

Якщо використовувати Kalman або Wiener-фільтри для оцінки положення машини у просторі тоді доцільно розглядати окремі «кадри», описуючи траєкторію в системі координат базової машини відповідно до точкового вимірювання, а потім описувати співвідношення між зміненими координатами, формуючи алгоритм змін положень.

Цей алгоритм може враховувати наяв-

ність коливань машини, зсуви початку процесу, зміну положення вісі обертання, а також зміну мас БДМ внаслідок завантаження та перевантаження будівельного матеріалу.

Інтелектуальні складові систем обробки інформації дозволяють змінювати конфігурацію машини з орієнтацією на ефективне виконання окремої робочої операції.

Література

1. Єфименко О.В. Вибір оптимальних параметрів машин для земляних робіт на основі статистичного аналізу / О.В. Єфименко, Т.В. Плухіна, З. Мусаєв. Вестник ХНАДУ.-2017- вип. 77. с. 68-73.
2. Єфименко А.В. Инновационная система ЗТМ для разработки грунта на основе GPS технологии / А.В. Єфименко, Т.В. Плухіна, Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование – Днепр: ГВУЗ «ЛГАСА», 2018, С. 69-74.
3. Kahmen H., G. Retscher. Precise 3-D Navigation of Construction Machine Platforms. in: Papers presented at the 2nd International Workshop on Mobile Mapping Technology, April 21-23, 1999, Bangkok, Thailand, pp. 5A.2.1-5A.2.5.
4. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11-30.
5. Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm>
6. Плухіна, Т. В. Інтелектуальна система контролю якості робочих процесів будівельно-дорожніх машин (БДМ) / Плухіна Т. В., Єфименко О. В. // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. - Харків, 2019. - Вип. 87. - С. 66-73.
7. Spectra Precision. The Next Dimension in Machine Control: Spectra Precision BladePro 3D and GPS 3D. Technical Notes, Spectra Precision Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.splp.com/BladePro3D.HTM>

References

1. Yefymenko O.V. Vybir optimalnykh parametrov mashyn dlya zemlyanykh robit na osnovi statystichnoho analizu / O.V. Yefymenko, T.V. Pluhina, Z. Musayev. Vestnyk KHNADU.-2017-vip. 77. s. 68-73. [The choice of optimal parameters of machines for earthworks on the basis of statistical analysis] [in Ukraine].
2. Yefymenko A.V. Innovatsionnaya sistema ZTM dlya razrabotki grunta na osnove GPS tekhnologiy/A.V. Yefymenko, T.V. Pluhina, Pod'yemno transportnyye, stroitel'nyye i dorozh-

nyye mashiny i oborudovaniye – Dnepr: GVUZ «PGASA», 2018, S. 69-74. [Innovative ZTM system for the development of soil based on GPS technology]. [in Ukraine].

3. Kahmen H., G. Retscher. Precise 3-D Navigation of Construction Machine Platforms. in: Papers presented at the 2nd International Workshop on Mobile Mapping Technology, April 21-23, 1999, Bangkok, Thailand, pp. 5A.2.1-5A.2.5.
4. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11-30.
5. Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm>
6. Pluhina, T. V. Intelktualna sistema kontrolyu yakosti robochyx procesiv budivel'no-dorozhnyx mashyn (BDM) / Pluhina T. V., Yefymenko O. V. // Visnyk Xarkivskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universytetu. - Xarkiv, 2019. - Vyp. 87. - S. 66-73.
7. Spectra Precision. The Next Dimension in Machine Control: Spectra Precision BladePro 3D and GPS 3D. Technical Notes, Spectra Precision Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.splp.com/BladePro3D.HTM>

Єфименко Олександр Володимирович¹, к.т.н., доцент, +380(95)012-42-62, khadi.alef@gmail.com.

Плухіна Тетяна Вікторівна², к.т.н., доцент, +380(99)903-38-82, plutan2016@ukr.net,

^{1,2}Харківський національний автомобільно-дорожній університет

The task of positioning the working mechanisms CRM with a GPS intensifier

Abstract. The study of the task of positioning the working mechanisms of construction and road machines (CRM) of using GPS intensifier was carried out. The analysis of existing researches and publications, in which the main **problem** is highlighted, namely that the task of positioning the working mechanisms CRM at this time is not enough. As a result of the analysis the **purpose** of research is set, namely: to increase of functioning efficiency mechanisms CRM with working environment using mathematical models and adaptation algorithm in a limited time decision. The **task** of monitoring parameters using Kalman or Wiener filters which to take machine vibrations into account, deviations in working operations, changes in weight, etc. have been substantiated. The use of a GPS intensifier makes it possible to predict the work of actuators CRM in real time. The result of the research is algorithm of positioning the working mechanisms CRM: determination of the location of the base CRM in a 3-dimensional coordinate system; filtering measurements; predicting the position of the working mechanism. The **originality** lies in the fact that the using Kalman or Wiener filters allows to describe the trajectory in the coordinate system of the base machine in

accordance with the point measurement, and describe the relationship between changed coordinates, which makes it possible to model and predict the workflow.

Keywords: GPS intensifier; sensor; trajectory; analysis; optimization; impact; filter; model; working mechanisms; efficiency.

Yefymenko Oleksandr¹, PhD, Associate Professor, tel. +380(95) 012-42-62, khadi.alef@gmail.com,

Pluhina Tetiana², PhD, Associate Professor, tel. +380(99) 903-38-82, plutan2016@ukr.net.

^{1,2}Kharkiv National Automobile Road University, Yaroslava Mudrogo ave., 25, Kharkiv, Ukraine, 61000.

Задача позиционирования рабочего органа СДМ с GPS интенсификатором

Аннотация. Проведено исследование задачи позиционирования рабочего органа строительно-дорожной машины с использованием GPS интенсификатора. Проведен анализ существующих исследований и публикаций, в которых выделено, что задача позиционирования строительно-дорожных машин и их рабочих органов в настоящее время разработана недостаточно. В результате анализа выделена цель исследования: повышение эффективности функционирования органов БДМ с рабочей средой за счет математических моделей и алгоритмов позиционирования в условиях ограниченного времени на принятие решения. Обоснована задача непрерывного позиционирования парамет-

ров с использованием Kalman или Wiener-фильтров, которые учитывают колебания машины, отклонения в рабочих операциях, изменения масс и др. Применение GPS интенсификатора дает возможность непрерывно прогнозировать работу исполнительных механизмов БДМ в режиме реального времени. Результатом исследования является алгоритм решения задачи позиционирования рабочих органов БДМ: определение расположения базы машины в 3-х мерной системе координат; фильтрация измерений; прогнозирование положения рабочего органа. Оригинальность заключается в том, что использование Kalman или Wiener-фильтров позволяет описывать траекторию в системе координат базовой машины в соответствии с точечным измерением, а затем описывать соотношения между измененными координатами, что дает возможность моделировать и прогнозировать рабочий процесс.

Ключевые слова: GPS-интенсификатор, сенсоры, траектория, анализ, оптимизация, воздействие, фильтр, модель, рабочие органы, эффективность.

Ефименко Александр Владимирович¹, к.т.н., доцент, +380(95)012-42-62, khadi.alef@gmail.com,

Плугина Татьяна Викторовна², к.т.н., доцент, +380(99) 903-38-82, plutan2016@ukr.net

^{1,2}Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, улица Ярослава Мудрого, 25, Харьков, Харьковская область, 61000.
