

УДК 622.520

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.80

ЗАДАЧА ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ БДМ ІЗ GPS-ІНТЕНСИФІКАТОРОМ

Єфименко О.В., Плугіна Т.В.

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 під час руху в просторі. Запропоновано модель безперервного контролю машини, що базується на застосуванні Kalman та Wiener-фільтрів, які 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 такі переваги:

– у їхньому 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 щодо розмітки 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 траншей для прокладки кабелів і трубопроводів використання засобів позиціонування знижує ризик можливого пошкодження. Ця система дозволяє управляти й 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 високо-ефективні засоби інтелектуалізації БДМ ге-

нерують дані на основі аналізу цифрових моделей роботи БДМ.

Аналіз публікацій

Нові системи управління транспортом, розроблені за останні роки, об'єднують досягнення у сфері 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 у транспортне обладнання відразу з офісу і безперервно оновлювати дані про переміщення машин і матеріалів [2].

Система позиціонування є фундаментальною частиною автоматизованої системи управління, оскільки під час будь-яких операцій 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 виконання розбивки сітки поверхні, але й створення інтелектуальних систем управління обладнанням.

Нова методика GPS-інтенсифікаторів – використання кінематичних приладів у ре-

льному часі (RTK) – дозволяє визначити тривимірні координати точок у русі з точністю меншою за дециметр на ділянках розміром близько 20 км. До того ж точність цих координат можна побачити відразу в ділянці, без необхідності подальших обчислень.

Для складання функціональної RTK-системи потрібні спеціальні двочастотні геодезичні GPS-приймачі й радіомодеми. Базовий приймач розташовується на точці з відомими координатами та передає власні виміри рухомим приймачам за допомогою цифрового радіозв'язку. Рухливі приймачі приймають ці дані, порівнюють зі своїми й 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 чітких процедур і було неможливе в реальних умовах. Однак після розробки фірмою Trimble приймача Site Surveyor з'явився перший комплект GPS Total Station для високоточних геодезичних робіт у реальному часі. Спеціальна архітектура чипа приймача забезпечує субметрову точність визначень ще до завершення ініціалізації, а після неї (менш ніж через 1 хв) уже сантиметрову точність у русі. За допомогою нової технології обробки сигналів Super-trak здійснюється покращене супроводження супутників навіть у складних умовах, наприклад, за умови сильних радіоперешкод погоди [5]. Сучасна платформа для позиціонування має 10 портів і 50 входів для аналогової та цифрової інформації, що дозволяє стикувати її з численними датчиками і бортовими системами. На графічному дисплеї, установленому 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 у розробці та тестуванні автоматизованих систем, надаючи своє обладнання і динамічну базу даних [6, 7].

Компанії Trimble і Caterpillar уклали 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 у машину відразу з офісу, а також безперервно оновлювати інформацію 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 статті:

– проаналізувати інтенсифікатори РО БДМ та визначити параметри 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 – Порівняння різних типів БДМ

Тип	Бульдозери	Автогрейдери	Асфальтоукладачі	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 системою	3D-системи: GPS або total station	Лазерні 3D-системи: GPS або total station	Спостерегаючи по струні 3D-системи: total station	Спостерегаючи по струні Лазерні системи 3-D системи: total station

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

Вимоги точності для будівництва дорожнього полотна представлено у табл. 2.

Таблиця 2 – Вимоги точності

Поверхневий шар	Вертикальне переміщення
Фінішна поверхня	$<\pm 6$ мм
Основний шар	± 6 мм
Дорожня поверхня	± 8 мм
Основне тіло	$<\pm 15$ мм
Підстильний шар	$\pm 10\text{--}30$ мм
Формувальний шар	$\pm 20\text{--}30$ 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 для будівництва верхнього одягу і поверхневих шарів.

Основне завдання цих систем – контроль траєкторії робочого органу машини, визначення позиції та орієнтації в тривимірній 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. У такому випадку орієнтація і переміщення машини в тривимірному просторі завжди описуються трьома параметрами. Ці параметри можуть бути отримані з використанням будь-яких трьох точок вимірювання на машині, що визначають її положення або в комбінації з показаннями інших датчиків, наприклад герокомпасів. Для коригування машини керувальний сигнал надсилається гідроприводу робочого органу, щоб витримувати необхідний профіль поверхні та укоси.

Розглянемо принципи управління сучасними трьома системами автоматизованого управління порівняно із звичайними методами, виявимо їхні переваги та недоліки (табл. 3).

Головний компонент тривимірної системи управління – positioning unit (датчик визначення координат), який прив'язаний до траєкторії руху машини протягом усього робочого циклу (рис. 1). Такі системи отримали розвиток унаслідок сучасних RTK GPS систем і станцій (total station) з автоматичним плану-

ванням і відстеженням руху транспортних засобів. Вони здатні визначити тривимірне положення машини безперервно з високою частотою до 100 Hz, тобто 100 разів за секунду. У той самий час кінематична послідовність положень машини визначає траєкторію машини.

Таблиця 3 – Порівняння систем керування

Тип	Дротові системи	Системи з обертовим лазером	Роботизовані станції	GPS
Координати	3D	1D-висота	3D	3D
Кількість станцій на ділянці	Велика кількість допоміжних станцій	1 та більше	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. Залежно від лінійності ділянки	До 700 м. В залежності від лінійності ділянки	Кілька км
Застосування за поганої видимості	Неефективно	Зменшений	Зменшений	Неефективно
Точність	мм рівень	мм урівень	від мм к см урівень	см урівень
Основне призначення	Керування ЗТМ та БДМ	Точне управління висотою для автогрейдерів ДМ і бетоноукладач	Управління бульдозерами, екскаваторами, грейдерами, скреперами	Управління бульдозерами, скреперами у с/г

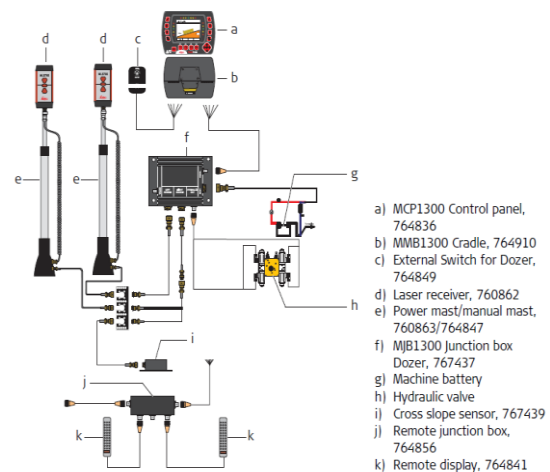


Рис. 1. Склад системи Leica

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

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

Задача визначення траєкторії машини та робочого органу

Для керування машиною у тривимірному просторі орієнтація щодо кутів φ , θ , ψ машини та її РО мають бути визначені безперервно у тривимірній системі координат (x, y, z) . На рис. 2 показано ситуацію, коли координати бази машини (ξ, ζ, η) визначено й 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 у точку 2, η -вісь визначає лівостороннє переміщення, а ζ -вісь 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-антенною 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 щодо 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 ві-

дхилення від цього вирівнювання мають бути заздалегідь визначені. Рухи ножа й орієнтація повинні бути описані щодо необхідного вирівнювання ножа. Рис. 2 показує відношення між базою машини (ξ, ζ, η) та необхідним вирівнюванням k .

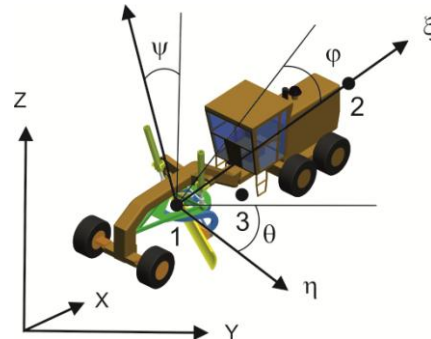


Рис. 2. Параметри орієнтації машини в системі координат (x, y, z)

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

Алгоритм визначення параметрів БДМ під час руху має відповідати трьом основним завданням: визначення розташування бази машини в тривимірній системі координат (автоматизована Total station або GPS), пов'язаним із положенням інших датчиків (наприклад inclinometer або компенсатором обертання); фільтрування вимірювання; прогнозування положення відвалу машини між цими двома точками вимірювань.

Отже, уся інформація, яка надходить, повинна використовуватися, щоб оптимальна оцінка положення і параметрів відношень була доступною в будь-який час.

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

Kalman-фільтр використовується для оцінки вимірювань у реальному масштабі часу. Вектор спостереження в алгоритмі фільтра

вміщує відмінність координат $\Delta x(k)$, $\Delta y(k)$ та $\Delta z(k)$, напрямку P_k від контрольної точки P за умови зміни відносних параметрів $\Delta\varphi(k)$, $\Delta\psi(k)$ та $\Delta\theta(k)$ у період часу k (рис. 4). Більш детально процедура оцінки описана раніше [4].

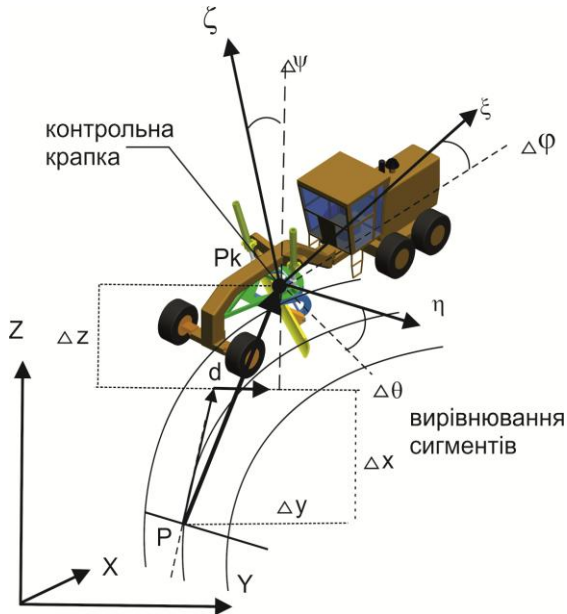


Рис. 3. Відношення між станом машини в різні часові інтервали

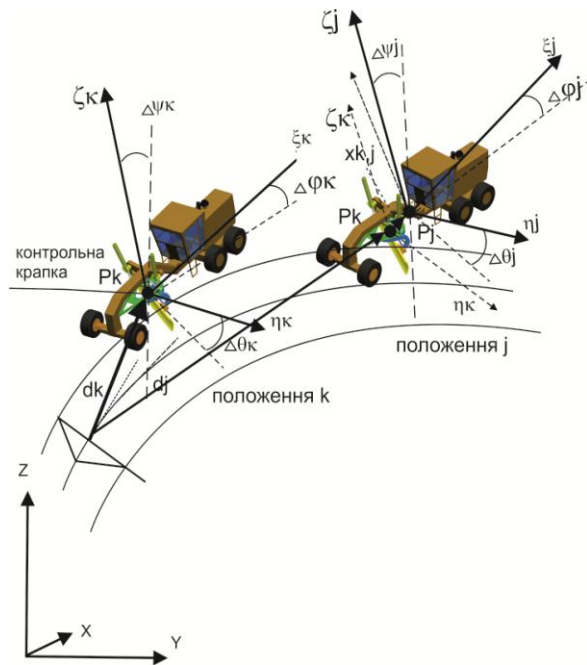


Рис. 4. Зміна положення машини

Стан, показаний на рис. 4 за умови двох положень k і j можна 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 $x_{k,j}$ – додатковий вектор між оригінальним положенням машини в час k та j .

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

Оскільки орієнтація осі може також змінюватися за часом у межах двох положень, матриця обертання 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 можна виконати у фільтраційному підході Редшера та Егбона [7].

Висновки

Порівняльний аналіз систем інтелектуалізації управління машинами за критерієм мінімального відхилення від проєктованого профілю показав, що вибір тієї чи іншої машини і системи управління залежить від виду земляних робіт. Більш висока точність необхідна тільки для будівництва верхнього одягу й 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 3D-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 в 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 наявність коливань машини, зсуви початку процесу, зміну положення осі обертання, а також

зміну мас БДМ унаслідок 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., Плуґіна Т.В., Мусаєв З. Вибір оптимальних параметрів машин для земляних робіт на основі статистичного аналізу. Вісник ХНАДУ. 2017. Вип. 77. С. 68–73.
2. Єфименко А.В., Плуґіна Т.В. Инновационная система ЗТМ для разработки грунта на основе GPS технологи. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Днепр: ГВУЗ «ПГАСА», 2018. С. 69–74.
3. Kahmen H., Retscher G. 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. Плуґіна Т.В., Єфименко О.В. Інтелектуальна система контролю якості робочих процесів будівельно-дорожніх машин (БДМ). 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., Pluhina T.V., Musayev Z. Vybir optymalnykh parametriv mashyn dlya zemlyanykh robit na osnovi statystychnoho analizu. Vestnyk KHNADU. 2017. Vyp. 77. s. 68–73. [The choice of optimal parameters of machines for earthworks on the basis of statistical analysis] [in Ukraine].
2. Yefimenko A.V., Pluhina T.V. Innovatsionnaya sistema ZTM dlya razrabotki grunta na osnove GPS tekhnologiy. Pod'yemno transportnyye, stroitel'nyye i dorozhnyye mashyny 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., Retscher G. 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., Yefymenko O.V. Intelktualna sistema kontrolyu yakosti robochyx procesiv budivel'no-dorozhnykh mashyn (BDM). Visnyk Kharkivskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universytetu. Harkiv, 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.
Плуґіна 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.*

Key words: *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 параметров 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 трехмерной 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}Харковський національний автомобільно-дорожній університет, вулиця Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61000.