

УДК 69.002.5

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.63

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ БДМ НА БУДІВНИЦТВІ

Єфименко О. В., Плугіна Т. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** У даній роботі проводиться аналіз інформаційно-програмного інструментарію для вирішення завдань позиціонування робочого органу машини у сучасному дорожньому будівництві. Обґрунтовано елементну базу систем позиціонування та переваги впровадження новітніх технологій інтелектуалізації. Висунуто пропозиції щодо використання програмного забезпечення у системах позиціонування, що забезпечує адаптивну оптимізацію робочих процесів.*

***Ключові слова:** аналіз, програмний інструментарій, позиціонування, робочий орган, адаптивна система, сенсор, будівництво, інтерфейс, елементна база, машина.*

Вступ

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 поновлюваною інформацією про їхнє становище. Ці завдання можна вирішити тільки завдяки програмно-інформаційному інструментарію, аналіз якого у повній мірі не проводився. Щоб надати найбільш точні оцінки й можливі прогнози щодо напрямків використання систем позиціонування, необхідна комплексна ітеративна методологія дослідження, спрямована на мінімізацію відхилень [1].

Аналіз публікацій

У відкритих кар'єрах найпродуктивнішою технологією є просторове позиціонування за допомогою супутникової системи GPS [2]. Нові системи управління БДМ, розроблені за останні роки, об'єднують досягнення в галузі супутникового позиціонування GPS і відповідні засоби SAPR. Під час досліджень найчастіше застосовують геодезичну систему моніторингу з використанням одночасно декількох компонентів. Вони дозволяють оператору обладнання у звичайних умовах бачити створений комп'ютером об'єкт та постійно оновлювати топографічну інформацію про нього [3]. 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 [4].

Поглиблений конкурентний аналіз інформаційного інструментарію систем позиціонування БДМ на ринку України дозволив указати тенденції розвитку основних напрямків [5].

Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є підвищення ефективності використання систем позиціонування робочого органу БДМ за рахунок аналізу інформаційно-програмного інструментарію для вирішення завдань позиціонування у сучасному дорожньому будівництві.

Задачі роботи: обґрунтувати ефективність впровадження систем позиціонування робочого органу БДМ; обґрунтувати елементну базу систем позиціонування робочого органу БДМ; провести аналіз сучасного програмно-інформаційного інструментарію систем позиціонування робочого органу машини; провести оцінку результатів та пропозицій щодо дорожнього будівництва України.

Основний матеріал дослідження

Саме від етапів проектування залежить якість і вартість будівельного проекту. Вибір технологічного рішення визначає ефективність впровадження систем позиціонування робочого органу БДМ. Цей факт дозволяє обмежити кількість вершин множини можливих станів системи автоматичного керування робочого органу, яка збільшується у часі, що значно зменшує вимоги до обчислювальної потужності та пам'яті бортової ЕОМ. З іншого боку, з'являється можливість побудови множин можливих станів системи автоматичного керування робочим органом, що еволюціонують у часі.

Спеціальні методи аналізу використовуються у спеціалізованих системах для вирішення завдань вузької спрямованості. При цьому реалізація даних програмних функцій здійснюється, як правило, за допомогою зовнішніх модулів. До таких методів аналізу відносять фрактальний аналіз, метод нейронних мереж, метод нечітких множин, геостатистичний аналіз даних.

Інформаційний інструментарій здійснює введення вихідних даних (оперативної обстановки) щодо об'єкта моніторингу. Визначається ступінь невизначеності даних про об'єкт розвідки (об'єкт моніторингу).

Невизначеність зумовлена як недостатньою кількістю інформації, що необхідна для отримання кількісного опису процесів, що відбуваються в системі, так і складністю самого об'єкта моніторингу як складної системи.

Практика показує, що найчастіше виникає ряд проблем, пов'язаних, зокрема, із впровадженням автоматизованих систем підтримки прийняття рішень щодо визначення стану об'єкта моніторингу в різних умовах апріорної невизначеності. Іншими словами, маємо суперечність між сучасним рівнем технічного забезпечення процесів обробки різноманітної геопросторової інформації та рівнем математичного, програмного та інформаційно-аналітичного забезпечення підтримки прийняття рішень (ПР) щодо стану об'єкта моніторингу в різних умовах невизначеності [6].

В умовах визначеності, як правило, обирається рішення щодо стану об'єкта моніторингу з найкращим значенням критерію якості [7]. Часто такі умови і рішення називають детермінованими. При цьому передбачається, що виконання рішення щодо стану об'єкта моніторингу призведе до заздалегідь відомого, більше того – єдиного результату, що відсутня будь-яка неясність щодо перспектив подальшого стану. У цих умовах домінує повна поінформованість про теперішні та перспективні зміни зовнішнього і внутрішнього середовища. Його, у свою чергу, гарантує досягнення розрахункових (планованих) показників якості та ефективності визначення стану об'єкта моніторингу або його елементів.

Алгоритм вибору рішення щодо стану об'єкта моніторингу спирається як на ймовірності отримання тих чи інших результатів, так і на їх корисності.

Насамперед, варто вибрати графічну платформу, на якій повинні працювати прикладні системи. Це повинен бути досить потужний редактор з функціональними можливостями, що постійно розширюються. Крім того, варто вибрати відкриту систему, що надає користувачеві можливість розробки власних додатків, що збільшують можливості базових систем.

Початок моделювання робочої ділянки пов'язаний з підготовкою топогеодезичної основи, в якості якої можуть служити електронні карти (як растрові, так і векторні) або зображення, отримані з космосу. Потім «піднімається» рельєф, на якому будуть розташовуватися моделі об'єктів. Тут на допомогу приходять ГІС, що обробляють дані дистанційного зондування землі.

При цьому застосовується цифрова фотографія за стереопарами аеро- або космічних фотознімків або ж будується рельєф по ізолініях оцифрованих паперових карт. Паралельно з розрахунком і створенням об'єктів йде робота з інформаційного наповнення залежно від специфіки застосування моделі.

Програмний продукт повинен автоматизувати всі етапи будівельного проектування й містити інструментальні засоби, необхідні геодезістам, топографам, розробникам генерального плану, шляховикам та іншим фахівцям.

Важливий момент будь-якого будівництва на місцевості – одержання інформації про землю, тому обраний продукт повинен мати інструмент аналізу поверхні з наступною побудовою цифрової моделі місцевості, використовуючи крапки геодезичної зйомки, крапки із планшетів, векторизовані горизонталі, структурні лінії різних типів.

Продукт повинен забезпечувати роботу всіх учасників проекту в єдиному інформаційному середовищі, що дозволяє поліпшити взаємодію між різними організаціями й підрозділами.

Інформацію про всі спроектовані 3D-об'єкти необхідно зберігати в базі даних проекту. При цьому потрібен зручний засіб для їхньої візуалізації.

У цей час на ринку програмних продуктів є безліч систем, що дозволяють автоматизувати процес планування будівництва й побудувати віртуальну модель майбутньої забудови, а також управляти БДМ.

Розглянемо декілька з них. Модуль Польових Даних Terramodel (FDM) – почат-

ковий рівень системи Terramodel [8]. FDM стандартно поставляється з усіма тахеометрами Trimble і надає безліч функцій підтримки, керування даними і для додатків. Дані можуть бути передані з інструментів Trimble на додаток до різноманітних інструментів інших виробників і програмних систем. Передбачено наступні функції: обчислення, перегляд і аналіз геодезичних даних, попередній перегляд графіки, креслення проєкту зйомки, генерація звіту й запити даних. FDM може бути модернізований за допомогою додавання інших модулів Terramodel для вирішення різноманітних геодезичних завдань. Засоби CAD редагування включають вирізку, продовження, приєднання, підключення, розбивку, переміщення, обертання і зсув.

Інтелектуальні засоби цифрового моделювання заощаджують час, автоматизуючи створення ЦММ (цифрова модель місцевості). Склад ЦММ: кожний шар може бути незалежною цифровою моделлю; кілька ша-

рів можуть бути згруповані для формування багатшарової ЦММ; побудова за один крок криволінійних горизонталей; швидка побудова профілів для оцінки місцевості; 3D візуалізація моделі поверхні; обчислення площі поверхні; вимір обсягів може бути зроблено між двома ЦММ; terramodel автоматично створює вид поперечника й табличний шар з декількох креслень поперечників; підземні й наземні об'єкти можуть бути автоматично розміщені на кресленнях поперечників – наприклад, труби, кабелі й т.п.

Система Leica ConX дозволяє відслідковувати робочий процес у режимі реального часу за допомогою будь-якого пристрою. Дані візуалізують, обробляють за допомогою хмарного рішення й вебінтерфейсу. Leica ConX дозволяє візуалізувати і перевіряти проєктні моделі, дані зйомки й хід будівництва за допомогою інструментів аналізу з метою моніторингу й ведення звітності щодо продуктивності ділянки (рис. 1).



Рис. 1. Інструментарій Leica ConX

Для підвищення інформативності операторів машин та робітників робочої ділянки створено безпечне робітниче середовище Leica PA10 (рис. 2).

PA10 – система виявлення небезпечного зближення об'єктів, що надає інформацію про робітників навколо транспортних засобів і машин на ділянках для будівництва великих споруджень. Мітка PA забезпечує звукову, візуальну й тактильну навігацію, а анкер забезпечує операторові машини або водієві візуальну та звукову навігацію.



Рис. 2. Інструментарій PA10

iCON office забезпечує передачу даних з офісу на ділянку будівництва завдяки інтеграції програмного інструментарію у систему Leica ConX. В iCON office можна відобразити доступні машини та їх розташування. Інтеграція дозволяє обмінюватися проектними даними безпосередньо між iCON office і устаткуванням на ділянці.

Програма Leica iCON office сумісна із системами керування машинами. Програмне забезпечення підтримує ряд систем керування й вимірювальними датчиками від Leica Geosystems, а також інших виробників: AutoCAD DWG і DXF; IFC; мікростанцій DGN; LandXML; MX / Moss; REB. Опціональний модуль моделі рельєфу місцевості в Leica iCON дозволяє розрахувати обсяг виконуваних робіт на поверхні й на висоті для складання кошторису. Цей модуль дозволяє повністю контролювати моделі поверхні, використовувати для розрахунку, включаючи границі й лінії розриву. Модуль також можна використовувати для створення профілів і ділянок місцевості, формування різних стандартних звітів контролю якості. На додаток до користувальницького інтерфейсу Leica iCON office працює, використовуючи вбудований механізм AutoCAD® для відкриття й редагування власних креслень AutoCAD®. HxGN SmartNet – це інтегрована цілодобова GNSS мережа, для забезпечення GNSS і RTK вимірів, побудована на найбільш референтній мережі, що дозволяє пристроям з підтримкою GNSS вимірів швидко визначити точне місце розташування (рис. 3–4).

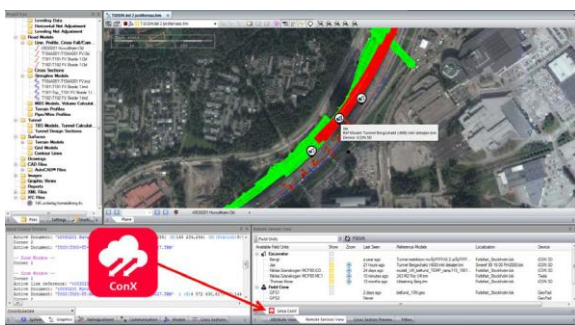


Рис. 3. Інструментарій iCON office

HxGN SmartNet – це служба корекції місця розташування, яку можна використовувати з будь-яким пристроєм ГНСС; її постійно перевіряють на цілісність, доступність і точність.

Володіючи більш ніж 4500 референтними станціями на основі технології Leica Geosystems, які забезпечують точність ви-

значення місця розташування в будь-якому додатку, система HxGN SmartNet забезпечує одержання максимально швидких і точних координат.



Рис. 4. Інструментарій HxGN Smartnet

Програма iCON site призначена для підвищення продуктивності, дозволяє перевірити й визначити роботу на правильній глибині, із правильним профілем, ухилом або поверхнею. iCON site розроблений для повної інтеграції з будь-якими сенсорами й рішеннями для машин Leica iCON.

Можливість обміну устаткуванням і даними із пристроїв, установлених на машинах і поза ними, проектами й персоналом на ділянці підвищує гнучкість і зменшує можливі простоя в роботі. Особливості програми: інформація про проект і статистика в реальному часі на ділянці; мінімізація помилок і доробок; збільшення коефіцієнта використання машини та зниження витрат на паливо; розрахунок точного обсягу ґрунту або інших матеріалів; вимір і калібрування на ділянці; зниження часу простою машини й підвищення продуктивності.

Висновки

В умовах сталої конкуренції в будівельній галузі України використання системи позиціонування робочого органу БДМ є надзвичайно вигідним для робітників на будівельних майданчиках у довгостроковій перспективі, оскільки ця система скорочує час простою машин і допомагає ефективно використовувати ресурси [10]. Обґрунтовано обчислювальну ефективність використання математичного апарату для побудови множин можливих станів системи автоматичного керування робочим органом, що еволюціонують у часі. Програмний інструментарій,

завдяки методу розрахунку керуючого впливу, дозволяє бортовій ЕОМ визначити керування за один програмний цикл, у порівнянні з багатьма циклами, наявними методами. Зокрема в гідроприводі екскаватора MH-City застосована мікропроцесорна адаптивна система контролю і регулювання робочих об'ємів насосів за допустимим навантаженням двигуна (система PMS – Pump-Managing-System), що забезпечує [11]: можливість вибору одного з трьох режимів використання потужності приводного ДВЗ за рахунок зменшення подачі насосів; автономне регулювання насосів з автоматичним об'єднанням потоків, за необхідності підвищення швидкості робочого органу; переклад регуляторів насосів на мінімальне значення робочого об'єму при досягненні тиску спрацьовування відповідного запобіжного клапана, що сприяє зниженню нагрівання робочої рідини та економії палива; автоматичне зменшення частоти обертання вала ДВЗ до значення холостого ходу при перервах у роботі більш ніж 10 с; діагностування гідроприводу екскаватора; контроль і регулювання температури охолоджувальної рідини у ДВЗ.

З іншої сторони, існують фактори, що стримують розвиток систем позиціонування. Екскаватори, бульдозери та грейдери є дорогими машинами, а використання інформаційного інструментарію позиціонування в будівельному встаткуванні збільшує витрати на установку й інтеграцію. Таким чином, будівельним компаніям будівельних організацій потрібен великий капітал для покупки, встановлення та обслуговування БДМ, інтегрованого з технологіями позиціонування. Виникає потреба у висококваліфікованих кадрах щодо інформаційних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Ефективний інструментарій позиціонування забезпечує більш високу точність, допомагає прискорити завершення проєктів і вимагає менших витрат на технічне обслуговування; високі первинні інвестиції є стримуючим чинником для розвитку цих систем.

Література

1. Ефименко А.В. Инновационная система ЗТМ для разработки грунта на основе GPS технологии / А.В. Ефименко, Т.В. Плугина, Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Днепр: ГВУЗ «ПГАСА», 2018, С. 69–74.
2. Commuri S., Mai A.T., Zaman M. Calibration Procedures for the Intelligent Asphalt Compac-

tion Analyzer. ASTM Journal of Testing and Evaluation, 37(5), 2009.

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. Шишацький А. В., Башкиров О. М., Костина О. М. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил. // Науково-технічний журнал “Озброєння та військова техніка”. 2015. № 1(5). С. 35–40.
7. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2007. – Т. 2.
8. 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.
9. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11–30.
10. 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> (дата звернення: 14.09.2021).
11. Гурко А. Г. Оценка энергоэффективности траекторий рабочего оборудования в виде манипулятора // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харьков, 2016. Вып. 73. С. 138–144. (*Index Copernicus, DOAJ*)
12. 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> (дата звернення: 12.09.2021).

References

1. Yefimenko A.V. Innovatsionnaya sistema ZTM dlya razrabotki grunta na osnove GPS tekhnologiy/A.V. Yefimenko, T.V. Pluhina, Pod'yemno transportnyye, stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny i oborudovaniye – Dnepr: GVUZ «PGASA», 2018, S. 69-74. [Innovative ZTM system for the development of soil based on GPS technology].[in Ukraine].
2. Commuri S., Mai A.T., Zaman M. Calibration Procedures for the Intelligent Asphalt Compaction Analyzer. ASTM Journal of Testing and Evaluation, 37(5), 2009.

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. Shyshatskyi A. V., Bashkyrov O. M., Kostyna O. M. Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. // Naukovo-tekhnichnyi zhurnal "Ozbroiennia ta viiskova tekhnika". 2015. № 1(5). S. 35–40.
7. Kim D. P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Mnogomernyye, nelineynyye, optimal'nyye i adaptivnyye sistemy. 2-ye izd., ispr. i dop. M.: FIZMATLIT. – 2007. – T. 2. [Theory of automatic control. Multidimensional, nonlinear, optimal and adaptive systems] [in Russian].
8. 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.
9. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11-30.
10. 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>.
11. Gurko A. G. Ocenka energoeffektivnosti traektorij rabochego oborudovaniya v vide manipulyatora // Vestnik HNADU: sb. nauch. tr. / Har'k. nac. avtomob.-dor. un-t. Har'kov, 2016. Vyp. 73. S. 138–144. (Index Copernicus, DOAJ).
12. 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 Володимирович, к.т.н., доцент, +380(95)012-42-62, khadi.alef@gmail.com,
Плугіна Тетяна Вікторівна, к.т.н., доцент, +380(99) 903-38-82, plutan2016@ukr.net,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків

The analysis of modern tools of positioning of the working mechanism road construction machines on building

Abstract. *The task of analysis of information and software tools for solving problems of positioning the working mechanism of the machine in modern road construction is considered. 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. Such methods of analysis include fractal analysis, neural network method, fuzzy set method, geostatistical data analysis. The element base of positioning systems and benefits of implementation are 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 algorithm for choosing a solution for the state of the monitored object is based on both the probability of obtaining certain results and their usefulness). The originality lies in the fact that the using modern information and software tools 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. Proposals for the use of software in positioning systems, which provides adaptive optimization and advantages of introduction of the newest technologies of intellectualization of work processes.*

Key words: *analysis, programmatic tool, positioning, working organ, adaptive system, touch-control, building, interface, element base, machine.*

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

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

Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo ave., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.