

УДК 681.5

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2022.99.0.68

ОСОБЛИВОСТІ ВИПРОБУВАНЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БУЛЬДОЗЕРОМ ІЗ GPS-ІНТЕНСИФІКАТОРОМ

Єфименко О. В., Плугіна Т. В., Єфименко П. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Розглянуто задачу позиціонування робочого органу бульдозера в режимі реального часу. Розроблено методика проведення польових випробувань традиційного бульдозера та бульдозера з інтенсифікатором GPS. Проведено випробування системи управління бульдозером із GPS-інтенсифікатором. Проведено порівняльний аналіз та техніко-економічне обґрунтування результатів дослідження. Доведено, що інтелектуальні компоненти систем оброблення інформації дозволяють підвищити продуктивність машини.*

***Ключові слова:** аналіз, бульдозер, позиціонування, робочий орган, випробування, методика, система управління, дослідження, параметри, ефективність, продуктивність.*

Вступ

На сьогоднішні будівельні та дорожні машини (БДМ), що виконують складні робочі операції, укомплектовано системами оброблення інформації такої структури, що дозволяє змінювати функції машини завдяки зміні конфігурації контурів управління. Використовуються засоби інтелектуалізації БДМ – проблемно-орієнтовані програмні середовища, генерація даних, аналіз цифрових моделей [1].

Система позиціонування є фундаментальною частиною інтелектуальної системи управління БДМ, оскільки в будь-яких робочих будівельних операціях необхідно мати дані щодо положення робочого обладнання в просторі.

У відкритому кар'єрі найпродуктивнішою технологією є просторове позиціонування за допомогою супутникової системи GPS. Необхідно зазначити, що з появою позиціонування в режимі реального часу з'явилася можливість не тільки виконувати розмітку поверхневої сітки, але й створювати системи моніторингу якості виконання робіт [2]. Такі системи потребують багато обчислювальних ресурсів для оброблення великих масивів різнотипних даних.

Аналіз публікацій

Розроблені за останні роки системи управління БДМ об'єднують досягнення в галузі супутникового позиціонування GPS і відповідні мехатронні засоби. Під час досліджень системи управління виконавчим механізмом БДМ найчастіше застосовують геодезичну систему моніторингу з використанням одночасно декількох компонентів [3]. Сукупність

GPS-інтенсифікаторів та проміжних модулів контролю дає змогу здійснити електронну передачу керованих даних у блок управління та безперервно оновлювати дані про хід робочого процесу [4]. Це дозволяє комплексно проводити оброблення та розподіл інформації про стан об'єкта моніторингу.

Поглиблений конкурентний аналіз систем управління бульдозером показав, що польові випробування традиційного бульдозера та бульдозера з інтенсифікатором GPS раніше не проводилися, а також відсутня методика проведення цього типу випробувань [5].

Як наслідок, завдання позиціонування робочого органу БДМ розв'язувалося, не беручи до уваги повною мірою діагностичні параметри [6].

Ці випробування підвищують ступінь інформованості про стан об'єкта моніторингу та вказують на тенденції подальшого розвитку елементної бази системи управління БДМ.

Мета та постановка завдання

Метою дослідження є встановлення впливу системи GPS-інтенсифікатора на техніко-економічні показники машини та отримання інформації про продуктивність й тривалість робочого циклу бульдозера під час використання GPS-інтенсифікатора.

Завдання дослідження:

- встановити керуючі елементи й нормативне обладнання, датчики для контролю за позицією робочих органів;

- розробити методика проведення польових випробувань для розроблення техніко-економічного обґрунтування традиційного

бульдозера та бульдозера з інтенсифікатором GPS;

- провести дослідження з фіксацією робочих параметрів;

- проаналізувати отримані результати.

Основний матеріал дослідження

Експериментальні дослідження машини з системою управління проводилися за ДСТУ ISO 15998-2013 «Землерийні машини. Системи управління з використанням електронних компонентів. Критерії продуктивності і випробування функціональної безпеки» або ISO 15998-2008* «Earth-moving machinery – Machine-control systems (MCS) using electronic components – Performance criteria and tests for functional safety» [7]. Цей міжнародний стандарт встановлює критерії продуктивності та методи випробувань для систем управління машинами (MCS) з використанням електронних компонентів для землерийних машин та їхнього обладнання, як визначено в ISO 6165.

Об'єктом дослідження обраний трактор Дніпровського механіко-тракторного заводу ДМТЗ-160 (ДМТЗ). Вибір цього типу машини обумовлений: можливістю відстеження руху робочого органа за траєкторією, заданою GPS, із фіксацією змін; можливістю порівняння заданої та реальної траєкторії руху робочого органа завдяки моделюванню робочої обстановки. Мототрактор ДМТЗ-160 використовується з великою кількістю навісного обладнання та причепів.

Для проведення експериментальних досліджень було прийнято рішення використовувати сучасну автоматизовану систему управління фірми *Leica* [8].

Leica PowerGrade – система автоматизації робочого процесу машини, що підвищує продуктивність і оптимізує витрати матеріалу в процесі наземного різання та компонування поверхні. Система може використовуватися з широким спектром датчиків у поєднанні з інтерфейсом користувача *PowerSnap*.

Мікроконтролерна система MCS містить такі компоненти: датчики, пристрій оброблення сигналів, монітора, органів управління і виконавчих механізмів. Монтаж обладнання під час досліджень здійснюється за такою схемою монтажу (рис. 1). У разі встановлення однієї щогли з розміщеною на ній супутниковою антеною GNSS на лопаті бульдозера також встановлюється датчик нахилу з діапазоном вимірювання до 100%. Отже, володіючи сукупною інформацією (від супутникового приймача й датчика нахилу), система

генерує коригувальні сигнали для доведення леза лопати до проектної позначки. Система 3D-GNSS з однією щоглою є найпоширенішою.

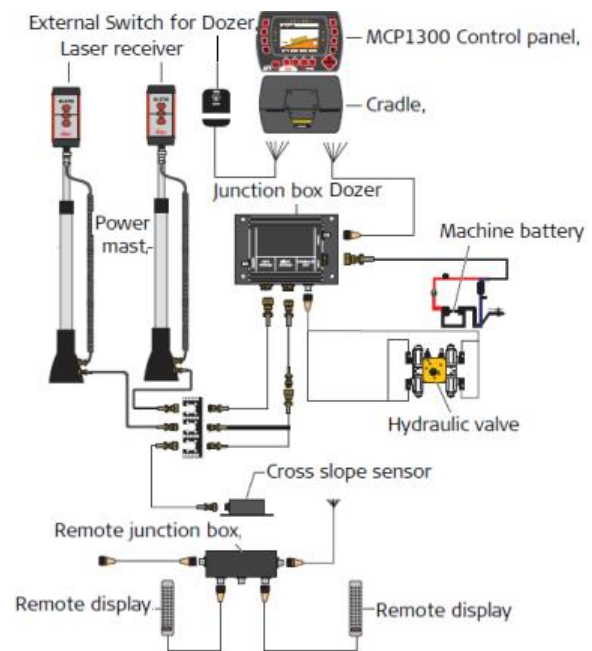


Рис. 1. Схема монтажу установки на бульдозер

Така система рекомендується для використання на машинах будь-якої вагової категорії, оснащених прямим або напівсферичним лезом, що не обертається.

Антену GNSS (одна або дві, залежно від конфігурації системи) використовується для прийому супутникових сигналів від систем ГЛОНАСС і GPS та передачі цієї інформації для оброблення на вбудований у блок управління GNSS-приймач. Конфігурація обладнання з антеною TWIN дозволяє визначити поточну орієнтацію машини до початку її руху, а також врахувати незначний кут руху лопати, якщо вона нахилена вперед щодо вертикальної площини. Для встановлення антен використовується спеціальна щогла, прикріплена до лопати на зручному кронштейні L-типу.

Програма експериментальних досліджень реалізована в умовах випробувального майданчика Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Послідовність дій така:

- ручка управління подачею палива зафіксована в положенні максимальної подачі;
- робоче обладнання встановлено в положення щодо програми експерименту;
- педаль управління зчепленням було здавлено до відмови;

- вмикалась необхідна трансмісія; був відрегульований і запущений GPS-інтенсифікатор; бульдозер розганявся і рухався в горизонтальному напрямку;

- після того, як машина пройшла ділянку певної довжини (50–70 м), було виконано гальмування.

Експеримент повторювався в разі зміни завдання на планування, коли фіксувалось наступне кінематичне положення робочого обладнання відповідно до змінених параметрів траєкторії руху за допомогою GPS, лазера або ультразвукового датчика. Аналогічні роботи проводилися на ґрунтах різних категорій відповідно до програми експерименту. За умови зміни передавального числа було проведено низку експериментів трансмісії, калібрування засобів вимірювальної техніки та візуальний огляд технічного стану машини, вимірювання профільованого профілю робочої поверхні.

Необхідна точність дослідів забезпечувалася такими заходами:

- обладнання встановлювалося таким чином, щоб усунути похибку впливу зовнішніх факторів;

- перед початком кожної експериментальної серії проводилися калібрування;

- періодично випробовувалося обладнання та умови безперешкодного проходження сигналів від датчиків.

Під час експерименту були проведені заміри: розмірів траншеї, часу виконання робочої операції, поздовжні та поперечні схили місцевості, довжини різання на робочій ділянці, витрати палива в паливному баку шляхом заправлення.

Ефективність експериментальної системи оцінювалася порівняно з робочим процесом мінібульдозера на базі ДМТЗ, не оснащеного інтенсифікатором в аналогічній послідовності (рис. 2).

Робочий цикл бульдозера складається з послідовно виконуваних етапів: перекопування ґрунту, переміщення ґрунту та повернення.



Рис. 2. Підготовка машини до роботи

Випробування бульдозера проводилися в такій послідовності: оператор бульдозера встановлював і калібрував випромінювач 3D в горизонтальній або в будь-якій з похилих площин; регулював пульт управління в кабіні оператора під необхідні параметри установки леза лопати та руху по площині різання; установлював параметри різання ґрунту на відстані 30–50 м.

Виміряно: відповідність заявленої траєкторії різання проектним завданням та зафіксовано відповідні відхилення, витрати палива, параметри ґрунту та робочої зони.

Проведено повторні вимірювання в процесі варіювання швидкості різання.

У випробувальний період порівнювалися традиційний бульдозер ДМТЗ-160 і бульдозер ДМТЗ-160 з інтенсифікатором робочого процесу (рис. 3).

Кінематичне положення робочої апаратури відстежувалося за розміром відкритої частини штока гідроциліндра підйому робочого обладнання, а потім за допомогою ПК відстежували положення відвалу в просторі. Під час роботи було реалізовано класичний експеримент.

На рис. 4 зображено техніко-економічні показники щодо бульдозера ДМТЗ-160 з лезом, що не обертається.



Рис. 3. Види бульдозерів, що досліджуються

Показники	Найменування	Значення показника		
		Бульдозер без GPS інтенсифікатора	Бульдозер з GPS інтенсифікатором	Ефект, %
Потужність двигуна, кВт	<i>N</i>	11,77	11,77	-
Продуктивність, м ³ /ч	<i>П</i>	11,8	18,6	57
Маса бульдозера, кг	<i>G</i>	880	888	-
Питома енергоємність	<i>N/П</i>	0,99	0,63	36
Пит. матеріалоємність, т/м ³ /ч	<i>G/П</i>	0,074	0,047	37
Загальні витрати палива, л/змін	<i>Q</i>	16,2	14,8	8,6
Пит. витрати палива, л/м ³	<i>q</i>	0,16	0,10	37,5
Узагальнений показник, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{т}}{(\text{м}^3/\text{ч})^2}$	$P_{NG} = \frac{NG}{P^2}$	0,074	0,030	60
Пит. витрати палива на одиницю потужності, $\frac{\text{л/змін}}{\text{кВт}}$	<i>Q/N</i>	1,37	1,25	8,75
Пит. витрати палива на одиницю маси, л/змін	<i>Q/G</i>	18,4	16,66	9,5
Загальні витрати палива на одиницю продуктивності, $\frac{\text{л/змін}}{\text{м}^3/\text{ч}}$	<i>Q/П</i>	1,37	0,79	42
Швидкість підйому відвалу, м/с	<i>v</i>	0,25	0,25	-
Тривалість циклу, с	<i>t</i>	60	35	41,6
Собівартість розробки ґрунта, грн/м ³	<i>C_{в0}</i>	4,8	3	37,5

Рис. 4. Техніко-економічні показники бульдозера ДМТЗ-16

Висновки

Аналіз показав, що модернізація бульдозера ДМТЗ-160 шляхом встановлення GPS-інтенсифікатора скоротила тривалість робочого циклу за рахунок зменшення кількості проходів і збільшення швидкості роботи машини на робочих проходах.

У цьому разі знизилася енергоємність (на 36 %) і матеріаломісткість (на 37 %). Загальна і питома витрата палива скоротилися на 8,6 % і 37 % відповідно. Це знизило питому витрату палива на одиницю потужності двигуна бульдозера (на 8,75 %) і загальну витрату палива на одиницю продуктивності (на 42 %).

Розроблена методика проведення польових випробувань відповідає ТУ ГОСТ 23734-

98 і дає змогу повною мірою оцінити вплив нової системи управління на техніко-економічні показники робочого циклу бульдозера: тривалість робочого циклу, загальні та годинні витрати палива.

Установлена вимірювальна й реєструвальна апаратура відображає робочий цикл у модернізованій системі управління бульдозером ДМТЗ-160: процес видобутку ґрунту, планування риття траншей тощо.

Для розроблення математичної моделі управління БДМ за допомогою GPS-інтенсифікатора необхідно використовувати сучасні методи фіксації сигналів і передові алгоритми фільтрації. Ефективний інструментарій позиціонування забезпечує більш високу точність,

допомагає прискорити робочу операцію та вимагає менших витрат на технічне обслуговування. Перешкодою для розвитку цих систем є високі первісні інвестиції.

Інтелектуальні компоненти систем оброблення інформації дозволяють варіювати конфігурацією машини з акцентом на ефективну реалізацію багатофункціональності.

Література

1. Ефименко А. В., Плуцина Т. В. Инновационная система ЗТМ для разработки грунта на основе GPS технологий. *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 Compaction Analyzer. *ASTM Journal of Testing and Evaluation*. 2009. No. 37(5).
3. Kahmen H., Retscher G. Precise 3D Navigation of Construction Machine Platforms. *Papers presented at the 2nd International Workshop on Mobile Mapping Technology*. April 21–23, 1999, Bangkok, Thailand. P. 5A.2.1–5A.2.5.
4. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press. Moscow, 1998. P. 11–30.
5. Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. URL: <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm>
6. Гурко А. Г. Оценка энергоэффективности тракторий рабочего оборудования в виде манипулятора. *Вестник ХНАДУ: сб. науч. трудов / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харьков, 2016. Вып. 73. С. 138–144. (Index Copernicus, DOAJ)*
7. ISO 15998-2008* Earth-moving machinery: веб-сайт. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/>
8. Leica Geosystems: веб-сайт. URL: <https://ngc.com.ua/info/leica-brand.html> (дата звернення: 09.09.2022).
9. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press. Moscow, 1998. P. 11–30.
10. Ефименко О. В., Плуцина Т. В. Задача позиціонування робочого органу БДМ із GPS-інтенсифікатором. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2021. Вип. 92. Т. 1. С. 80–86. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.80
11. Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. URL: <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm> (дата звернення: 14.09.2022).

References

1. Yefimenko A. V., Pluhina T. V. Innovatsionnaya sistema ZTM dlya razrabotki grunta na osnove GPS tekhnologiy. *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*, 2009, no. 37(5).
3. Kahmen H., Retscher G. Precise 3-D Navigation of Construction Machine Platforms. *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. URL: <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm>
6. Gurko A. G. Ocenka energoeffektivnosti traektorij robochego oborudovaniya v vide manipulyatora. *Vestnik KhNADU: sb. nauch. tr. / Khar'k. nac. avtomob.-dor. un-t. Khar'kov, 2016, Vyp. 73, s. 138–144. (Index Copernicus, DOAJ)*
7. ISO 15998-2008* Earth-moving machinery. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/>
8. Leica Geosystems. URL: <https://ngc.com.ua/info/leica-brand.html> (last accessed 09.09.2022).
9. Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow, 1998, pp. 11–30.
10. Yefymenko O. V., Pluhina T. V. Zadacha pozitsionuvannya robochoho orhanu BDM iz GPS-intensyifikatorom. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*. Kharkiv, 2021, vyp. 92, t. 1, s. 80–86. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.80
11. Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. URL: <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm>

Єфименко Олександр Володимирович, канд. техн. наук, доцент, каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, khadi.alef@gmail.com, тел. +380(95)012-42-62;

Плуцина Тетяна Вікторівна, канд. техн. наук, доцент, каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, plutan2016@ukr.net, тел. +380(99)903-38-82;

Єфименко Павло Олександрович, аспірант каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, khadi.alef@gmail.com, тел. +380(96) 625-78-92.

Features of testing bulldozer control system with a GPS intensifier

Abstract. Problem. The task of positioning the working mechanism of the bulldozer in real time is considered. It has been proven that modern road machines control systems combine achievements in the field of GPS satellite positioning and mechatronic means. A competitive analysis of bulldozer control systems showed that field tests of a traditional bulldozer and a bulldozer with a GPS intensifier have not been conducted before. The task of positioning the working mechanism of the CRM was solved without fully taking into account the diagnostic parameters. **Goal.** The goal is to establish the influence of the GPS-intensifier system on the technical and economic indicators of the machine and to obtain information about the productivity and duration of the bulldozer's working cycle when using the GPS-intensifier. **Methodology.** Test and simulation methods for machine control systems using electronic components for earthmoving machines and their equipment were used in the work. A methodology for conducting field tests of a traditional bulldozer and a bulldozer with a GPS intensifier has been developed. **Results.** The bulldozer control system with GPS intensifier was tested. Comparative analysis and technical and economic substantiation of the research results were carried out. The influence of the GPS-intensifier system on the technical and economic indicators of the machine has been established. Data were obtained on the performance and duration of the bulldozer's work cycle when using the GPS intensifier.

The developed method of conducting field tests meets the standards and allows you to fully assess the impact of the new control system on the technical and economic indicators of the bulldozer's work cycle: the duration of the work cycle, total and hourly fuel consumption. **Originality.** The originality lies in the fact that the using intelligent components of information processing systems allow to increase machine productivity. Field tests of a traditional bulldozer and a bulldozer with a GPS intensifier have not been conducted before. **Practical value.** The use of a GPS intensifier makes it possible to predict the work of actuators CRM in real time.

Key words: analysis, bulldozer, positioning, working mechanism, test, technique, control system, research, parameters, efficiency, productivity.

Yefymenko Oleksandr, PhD, Associate Professor, Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, khadi.alef@gmail.com, tel. +380(95) 012-42-62;

Pluhina Tetiana, PhD, Associate Professor, Department of automation and computer-integrated technologies, Kharkiv National Automobile and Highway University plutan2016@ukr.net, tel. +380(99) 903-38-82;

Yefymenko Pavlo, Graduate student, Department of Construction and Road-Building Machinery Kharkiv National Automobile and Highway University, khadi.alef@gmail.com, tel. +380(96) 625-78-92.
