

УДК 62-531.4

ІННОВАЦІЙНА СИСТЕМА ЗТМ ДЛЯ РОЗРОБКИ ГРУНТУ НА ОСНОВІ GPS-ТЕХНОЛОГІЙ

ЄФІМЕНКО О. В.^{1*}, к.т.н., доц.,
ПЛУГІНА Т. В.², к.т.н., доц.,

^{1*} Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Харківський національний автомобільно – дорожній університет», вул. Петровського 25, м. Харків, Україна, Тел. +38(057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua, e-mail: alef_khadi@mail.ru

² Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Харківський національний автомобільно – дорожній університет», вул. Петровського 25, м. Харків, Україна, Тел. +38(057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua e-mail: plutan2016@ukr.net

Анотація. Постановка проблеми. Актуальність роботи полягає в створенні і вдосконаленні будівельних і дорожніх машин (ЗТМ). Розвиток елементної бази систем керування виставляє нові вимоги до виконавчих механізмів ЗТМ, підвищуються вимоги до процесу виконання робочих операцій а також до прийняття рішень оператором у режимі реального часу. Ці фактори формують завдання розробки інноваційних систем роботи ЗТМ, які спрямовані на підвищення продуктивності дорожніх робіт. **Мета.** Підвищити ефективність виконання дорожніх робіт за рахунок впровадження інноваційних систем на основі GPS, скорочення робочого циклу, мінімізації енергетичних витрат на виконання робочого процесу і максимізації продуктивності. Для реалізації поставленої мети необхідно виконати наступні завдання: 1) провести аналіз інноваційних систем, застосованих на ЗТМ; 2) обґрунтувати вибір елементної бази систем керування на основі GPS; 3) розробити алгоритм функціонування системи керування робочим процесом 4) провести експериментальні дослідження основних параметрів робочого процесу; 5) запропонувати рекомендації щодо підвищення ефективності роботи машин. **Висновок.** Проаналізовано інноваційні системи управління ЗТМ. Розглянуто впровадження та використання інноваційних систем робочих органів машини закордонних виробників. Запропоновано ускладнену структуру інноваційної системи розробки ґрунту ЗТМ. Висунуто основні її підсистеми. Запропоновано функціональну схему інноваційної системи розробки ґрунту.

Ключові слова: інноваційна система; GPS; структурна схема, функціональна схема робочого процесу

ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЗТМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ГРУНТА НА ОСНОВЕ GPS-ТЕХНОЛОГИЙ

ЄФІМЕНКО А. В.^{1*}, к.т.н., доц.,
ПЛУГІНА Т. В.², к.т.н., доц.,

^{1*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Харьковский национальный автомобильно – дорожный университет», ул. Петровского 25, г. Харьков, Украина, Тел. +38(057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua, e-mail: alef_khadi@mail.ru

² Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Харьковский национальный автомобильно – дорожный университет», ул. Петровского 25, г. Харьков, Украина, Тел. +38(057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua, e-mail: plu_tan@mail.ru

Аннотация. Постановка проблемы. Актуальность работы заключается в создании и совершенствовании строительных и дорожных машин (ЗТМ). Развитие элементной базы систем управления выставляет новые требования к исполнительным механизмам ЗТМ, повышаются требования к процессу выполнения рабочих операций а также к принятию решений оператором в режиме реального времени. Эти факторы формируют задачи разработки инновационных систем работы ЗТМ, направленных на повышение производительности дорожных работ. **Цель.** Повысить эффективность выполнения дорожных работ за счет внедрения инновационных систем на основе GPS, сокращение рабочего цикла, минимизации энергетических затрат на выполнение рабочего процесса и максимизации производительности. Для реализации поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: 1) провести анализ инновационных систем, применяемых на ЗТМ; 2) обосновать выбор элементной базы систем управления на основе GPS; 3) разработать алгоритм функционирования системы управления рабочим процессом 4) провести экспериментальные исследования основных параметров рабочего процесса; 5) предложить рекомендации по повышению эффективности работы машин. **Вывод.** Проанализированы инновационные системы управления ЗТМ. Рассмотрены внедрения и использования инновационных систем рабочих органов машин зарубежных производителей. Предложено усложненную структуру инновационной системы разработки ґрунта ЗТМ. Выдвинута основные ее подсистемы. Предложена функциональная схема инновационной системы разработки ґрунта.

Ключевые слова: инновационная система; GPS; структурная схема, функциональная схема рабочего процесса

INNOVATIVE SYSTEM OF ROAD AND BUILDING MACHINES FOR DEVELOPING THE GROUND ON THE BASIS OF GPS TECHNOLOGIES

YEFYMENKO A. V.^{1*}, *Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor,*
 PLUGINA T. V.², *Ph. D., Associate Professor,*

¹ Department of building and road machines, State Higher Education Establishment «Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslav Mudry str. 25, Kharkiv, Ukraine, Tel. +38 (057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua, e-mail: alef_khadi@mail.ru

² Department build and road wave, State Higher Education Establishment «Kharkov National Automobile and Highway University, str. Petrovsky 25, Kharkov, Ukraine, Tel. +38 (057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua, e-mail: plu_tan@mail.ru

Annotation. Formulation of the problem. The urgency of the work lies in the creation and improvement of construction and road machinery. The development of the elemental base of control systems sets new requirements for executive mechanisms, raising requirements for the process of performing work operations and also for making decisions by the operator in real time. These factors form the task of developing innovative machines work systems aimed at increasing the productivity of road works. **Goal.** Increase the efficiency of road works by introducing innovative systems based on GPS, reducing the work cycle, minimizing energy costs for the execution of the workflow and maximizing productivity. To achieve this goal, it is necessary to fulfill the following tasks: 1) conduct an analysis of innovative systems used in construction and road machinery; 2) justify the choice of the element base of control systems based on GPS; 3) develop an algorithm for the functioning of the workflow control system; 4) carry out experimental studies of the main parameters of the working process; 5) propose recommendations for improving the efficiency of machines. **Conclusion.** Innovative control systems for construction and road machinery are analyzed. The introduction and use of innovative systems of working bodies of foreign manufacturers are considered. A complicated structure of the innovative construction and road machinery soil development system is proposed. Its main subsystems have been put forward. A functional scheme of an innovative soil development system is proposed.

Keywords: an innovative system; GPS; structural diagram, functional diagram of the working process

Проблема. Зараз розвивається більш ускладнена структура інноваційної системи розробки ґрунту ЗТМ. Основними підсистемами цієї структури є: підсистема високошвидкісних комп'ютерних пристроїв; підсистема інформаційних високоточних сенсорів; підсистема математичних моделей оптимізації параметрів та режимів роботи машин. Кожна з цих підсистем характеризується набором програмно-технічного забезпечення зі своїми вимогами щодо функціонування та експлуатації.

Концентрація будівельно-дорожніх робіт вимагає застосування високопродуктивної техніки. З огляду на вимоги щодо габаритів цих машин, екстенсивні шляхи їхнього вдосконалювання тільки за рахунок підвищення потужності приводів та міцності конструкцій не можуть забезпечити істотного зростання показників ефективності. Одним з ефективних шляхів удосконалювання ЗТМ є впровадження мехатронних принципів проектування [2, 3], що вимагає рішення актуальної наукової задачі створення теорії робочих процесів ЗТМ як мехатронних систем.

Таким чином, з одного боку ми маємо високорозвинуту елементну базу систем керування машинами із іншого, оптимальне керування машиною часто пов'язане із значним досвідом роботи і навичками оператора машини, які формуються роками.

Аналіз показує, що закордонні фірми почали широко використовувати системи позиціонування робочих органів машин. Наприклад, визначення точного місця розташування ножа бульдозера дозволяє істотно знизити вартість розробки й рекультивативної будівельних ділянок. Аналіз даних закордонних джерел

показує, що за рахунок скорочення робочого часу підвищується ефективність на 30-50%, заощаджується паливо й матеріали.

GPS-приймачі використовуються в рішенні завдань контролю руху за об'єктами в роботизованих комплексах на кар'єрних розробках. Інформація про границі виробітку із сантиметровою точністю може автоматично надходити в єдину систему керування роботами на всьому об'єкті [7].

Машиніст може витримувати проектні оцінки, використовуючи візуальну інформацію й на дисплеї встановленому в кабіні машини. Дисплей підключається до датчика й дублює його показання. Дисплей також може бути підключений до гідравлічного піднімального пристрою ножа, що дозволяє системі відслідковувати задану висоту автоматично.

Нові системи керування ЗТМ, розроблені за останні роки, поєднують останні досягнення в області супутникових систем (GPS) і засобів САПР. Вони дозволяють операторові машин бачити створений комп'ютером об'єкт і безупинно оновлювати топографічну інформацію про нього. Ці системи можуть зберігати схеми виконаних робіт і передавати результати проектувальникові для перевірки. Кінцева мета цих систем - виключити етап розбивки об'єкта традиційними методами, здійснити електронну передачу проектних даних і безупинно оновлювати дані про переміщення машин і матеріалів.

Методика GPS-зйомки - кінематика в реальному часі (RTK) - дозволяє визначати тривимірні координатні крапки у русі з точністю менш дециметра на ділянках розміром близько 20 км.

Головний компонент 3-х мірної системи керування – positioning unit (датчик визначення координат), що прив'язаний до траєкторії руху машини протягом усього робочого циклу [4,5,6]. Такі системи одержали розвиток внаслідок сучасних RTK GPS систем і станцій (total station) з автоматичним плануванням і відстеженням руху транспортних коштів. Вони здатні визначити 3-х мірне положення машини безупинно з високою частотою до 10 Hz. У той же

час кінематична послідовність положень машини визначає траєкторію машини.

Рис. 1 показує головні компоненти 3-D системи керування автогрейдером. Крім датчиків положення, використовуються додаткові датчики включені до складу системи, наприклад електронні датчики переміщення й виміри кутів повороту, щоб виміряти переміщення й кут нахилу робочого органа.

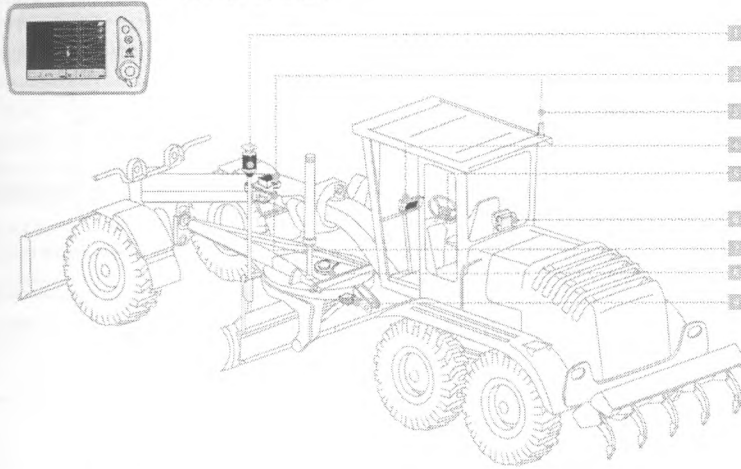


Рис. 1 Розташування компонентів на автогрейдері

Датчики переміщення або кутоміри використовуються, для фіксування розміри поздовжнього й поперечного переміщення машини щодо параметрів відвала. Поздовжній датчик (long slope sensor) вимірює положення транспортного засобу в напрямку руху й зв'язує ці показання з показаннями всіх датчиків системи.

Датчик з високими динамічними властивостями відслідковує бічний ухил машини для точного контролю щодо бічної поверхні. В доповнення, для точного визначення кута зарізання відвала, використовується так званий компенсатор обертання (rotation compensator), що забезпечує оптимальний бічний ухил. Цей датчик є в принципі електронним гірокомпасом. Всі датчики об'єднані з positioning unit в єдину мультисенсорну систему.

Поточний бічний ухил леза може також бути визначений, використовуючи дві призми або GPS антени, які встановлені на кожній стороні леза машини. GPS системи керування бульдозерів використовують дві GPS зв'язані антени й один приймач, GPS система вказує точне положення, нахил і орієнтацію ножа (Trimble Site vision GPS, Trimble) [8].

Мета і постановка задачі. Метою роботи є підвищення продуктивності будівельно-дорожніми машинами за рахунок оптимізації процесу взаємодії робочого органу з середовищем із використанням інноваційної системи розробки ґрунтів ЗТМ.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати типову структуру інноваційної системи управління ЗТМ, визначити основні модулі, проаналізувати існуючі інструментальні засоби реалізації та висунути вимоги, щодо їх функціонування, визна-

чити вплив фізико-механічних властивостей середовища та інших параметрів на процес функціонування інноваційної системи керування ЗТМ.

Аналіз інноваційної системи управління ЗТМ. Структура інноваційної системи ЗТМ у найбільш класичному вигляді складається із трьох рівнів. Нижній рівень введення/виводу містить у собі датчики, виконавчі механізми. Середній рівень складається з контролерів. Їхнє завдання - обробити отримані дані, видати керуючий вплив, передати дані на верхній рівень. На верхньому рівні розташовані сервери баз даних і операторських станцій, завдання яких надати людино-машинний інтерфейс операторові й здійснювати обмін із сервером і програмувальними логічними контролерами (ПЛК) [12]. Структура інноваційної системи ЗТМ представлена на рис.2.

Мехатронний підхід припускає високий ступінь інтеграції механічної, електричної, гідравлічної, електронної й інформаційної підсистем у конструкції ЗТМ [1]. Таким чином, машина повинна представлятися як сукупність взаємозалежних виконавчих механізмів та базових корпусних елементів конструкції, що змінюють своє положення в просторі під дією приводів її силових систем у результаті комп'ютерного керування. Принципи керування повинні бути закладені в систему інтелекту ЗТМ [2] - програмне забезпечення бортового комп'ютеру для рішення завдання багатокритеріальної оптимізації робочого циклу за критеріями продуктивності, енергоспоживання й надійності з урахуванням обмежуючих факторів, а також прогнозування відмов елементів на основі поточних даних про параметри, що характеризують стан елементів машини й властивості зовніш-

нього середовища, завдань, одержуваних від оператора й зовнішньої керуючої системи.

Система інтелекту ЗТМ виконує наступні завдання: адаптивна оптимізація робочих процесів підсистем ЗТМ; оцінка працездатності виконавчих механізмів – аналіз відповідності технічній характеристиці показників виконуваних операцій і технічного стану елементів конструкції машини; прогнозування залишкового ресурсу елементів конструкції на підставі

аналізу навантажень за весь час її функціонування історії заміни відповідних вузлів; збір даних про параметри робочих процесів і відмови елементів конструкції ЗТМ; узгодження робочого процесу машини функціонуванням іншого встаткування комплексу машин; забезпечення безпеки експлуатації машини.

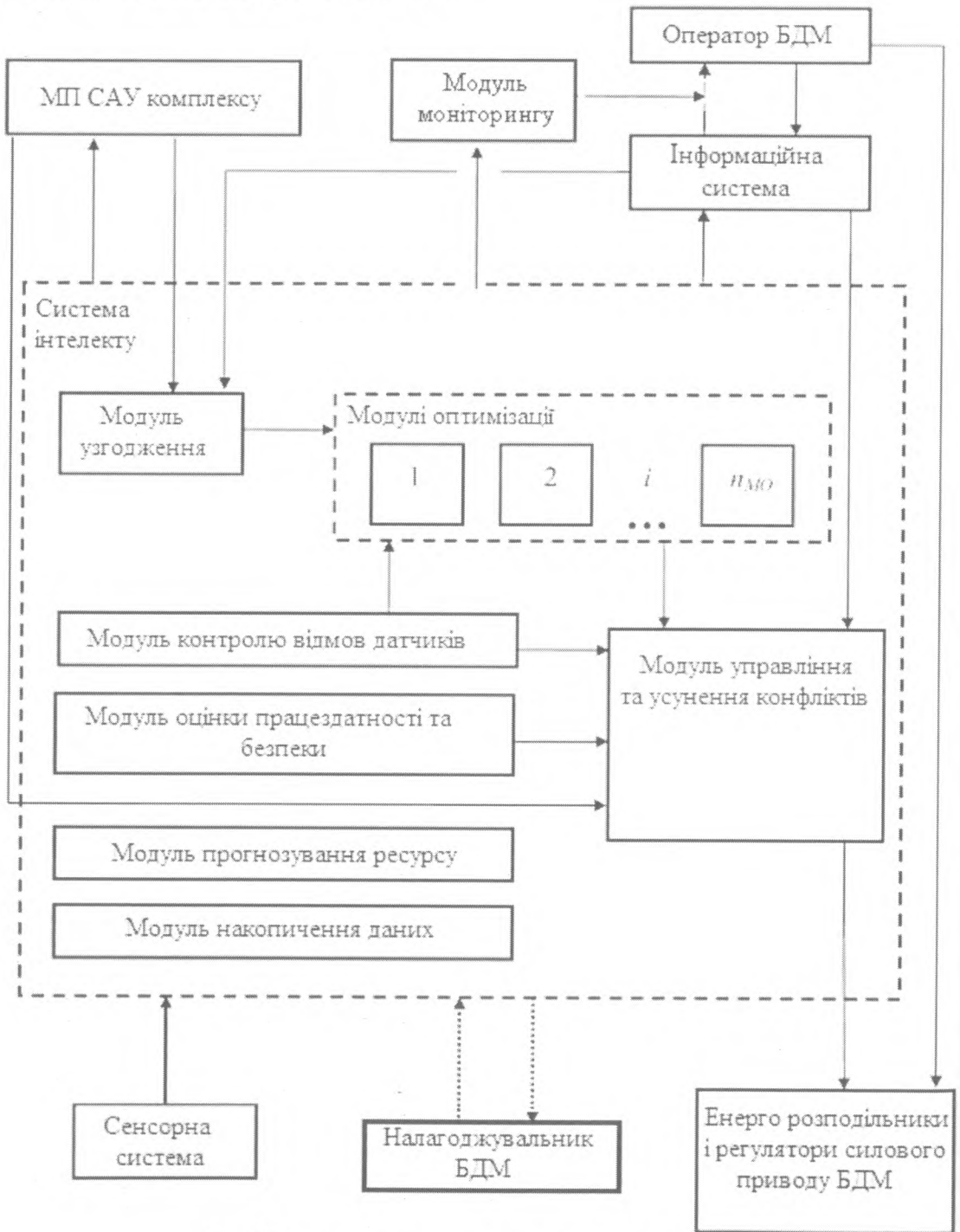


Рис. 2 Структура інноваційної системи розробки ґрунту

Сучасні засоби технічних комунікацій повною мірою дозволяють реалізувати модульний принцип системи управління, але виникає задача вибору оптимальної кількості й переліку діагностичних параметрів, необхідних для обробки й аналізу у віддаленому технічному центрі [9,10].

Функціональну схему інноваційної системи «ЗТМ» представлено на рисунку 3. Система складається із задаючої частини I, частини II, що контролює та слідкує, і програмно-управляючої частини III.

Задаюча частина за допомогою лазерного випромінювача задає паралельно проектної поверхні дороги світову опорну площину. Частина II, що контролює та слідкує, перетворює лазерний сигнал фотоприймача в електричний, що поступає у блок команд управління, де формуються сигнали управління для

виконавчих механізмів з одночасним відображенням на індикаторному табло положення кромки відвалу відносно проектної поверхні.

Програмно-управляюча частина III складається з вимірювача переміщення машини, мікропроцесорного блоку формування команд управління висотним положенням фотоприймача, його механізму переміщення, та пристрою запису даних. Фотоприймач автоматично тримається у площині лазерного випромінювача, а величина його переміщення несе інформацію щодо нерівностях ґрунту [11]. Світлова опорна поверхня дозволяє не тільки управляти роботою машини, а також здійснювати постійний контроль геодезії висотних відміток у точках на будь-якому етапі будівництва дороги.

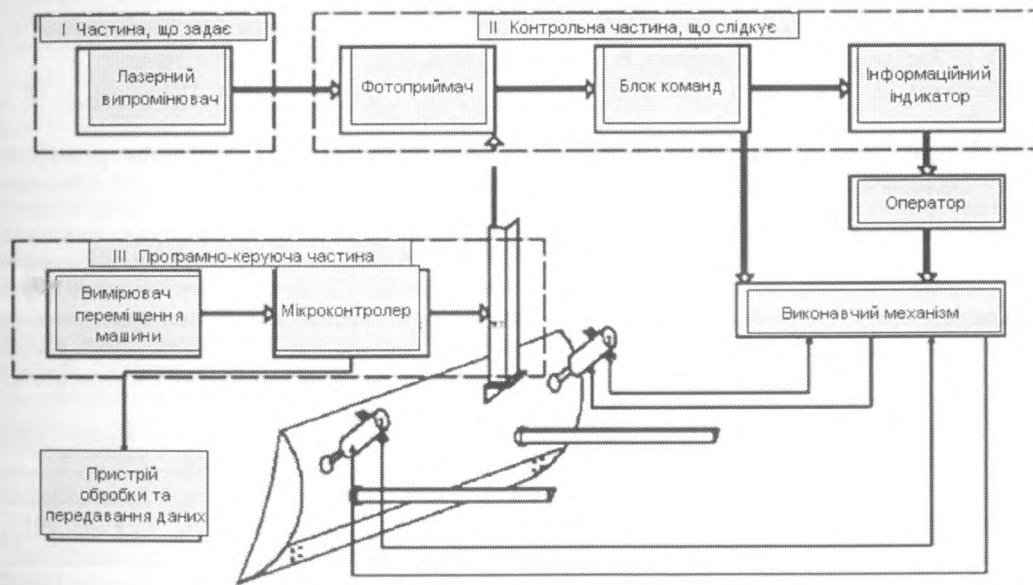


Рис. 3 Функціональна схема інноваційної системи розробки ґрунту

Висновки. Досвід розробки теоретичних основ і практичної реалізації інтелектуальних систем ЗТМ свідчить про їхню велику перспективність для застосування в галузі дорожніх робіт.

Проектування інноваційних систем підтримки оператора ЗТМ носить ітеративний характер і базується на проектуванні окремих модулів, підсистем і їхньої інтеграції в єдине ціле на основі штучного ін-

телекту й використання сучасних інструментальних засобів створення інтелектуальних додатків.

При використанні сучасних методів автоматизації в сполученні із ЗТМ алгоритм виконання земляних робіт може докорінно змінитися, процес будівництва буде головним чином управлятися й управлятися автоматично. Системи керування дорожніми машинами на основі GPS значно знизять час на будівництво, вартість, зросте продуктивність робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шабаев О.Е. Принципы интеллектуализации рабочих процессов мехатронной горной выемочной машины / О.Е. Шабаев, А.К. Семенченко, Н.В. Хиценко. // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю, №1, 2010. С.68 – 77.

2. Амелин В.М. Электронные системы управления и контроля строительных и дорожных машин / В.М. Амелин, Ю.М. Иньков, В.И. Марсов. // М.: Интекст, 1998. – 134 с.
3. Плугина Т.В. Проектирование интеллектуальных операторских станций распределенных систем управления / Т.В. Плугина, Д.О. Маркозов // Вестник ХНАДУ, Вып. 63, 2013. С. 93 – 97.
4. Хмара Л.А. Сетевые технологии в эффективном сопровождении дорожно-строительной техники / Л.А. Хмара, С.И. Кононов. // Вестник ХНАДУ, Вып. 57, 2012. С. 36 – 42.
5. Плугина Т.В. Задача інтелектуалізації сучасних будівельно-дорожніх машин / Т.В. Плугина, В.О. Стоцький // НТЖ Технологія приборостроєння, Спец. вып., 2014. С. 40 – 43.
6. Gurko O.G. Дослідження параметрів руху автогідропідіймача з обертальними зчленуваннями / О.Г. Гурко, Ю.О. Доля // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. – №2. – С. 121–127.
7. Alexander Gurko, Oleg Sergiyenko, et al. Guaranteed Control of a Robotic Excavator During Digging Process. SciTePress, Colmar, France (2015), Vol. 2, pp. 52–59.
8. Нефедов Л.И. Обобщенная модель системного синтеза автоматической трансмиссии / Л.И. Нефедов, А.А.Осьмачко. // Восточно-европейский журнал передовых технологий, № 4 (42), том 6, 2009, С. 10–13.
9. Писарчук О.О. Технологія ситуаційного структурно-параметричного синтезу складної інформаційно керуючої системи / О.О.Писарчук. // Збірник наукових праць ЖВІ ДУТ. - Вип. 9, С.56-61.
10. Харченко А.В. Сложные технические и эргатические системы: метод использования / А. Н. Воронин, Ю. К. Зиатдинов, А. В. Харченко, В. В. Осташевский. // Х. : Факт, 1997. – 240 с.
11. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М. : Наука, 1986. – 288 с.
12. Основы моделирования сложных систем: учеб. пособ. для студентов вузов; под ред. И. В. Кузьмина. К. : Высшая школа, 1981. – 360 с.

REFERENCES

1. Shabaev O.E. *Principy intelektualizacii rabochih processov mehatronnoj gornoj vyemochnoj mashiny*. [Principles of the intellectualization of the working processes of the mechatronic mining excavator.]. Vinnitsya: Donec'kogo girnichogo institutu: Vseukraïns'kij naukovo-tehnichnij zhurnal girnichogo profilju, №1, 2010. S.68 – 77.
2. Amelin V.M. *Jelektronnyye sistemy upravlenija i kontrolja stroitel'nyh i dorozhnyh mashin* [Electronic control and monitoring systems for construction and road machinery]. M.: Intekst, 1998. – 134 s.
3. Plugina T.V. *Proektirovanie intellektual'nyh operatorskih stancij raspredelennyh sistem upravlenija* [Designing intelligent operator stations of distributed control systems]. Vestnik HNADU, VYP. 63, 2013. S. 93 – 97.
4. Hmara L.A. *Setecentricheskie tehnologii v jeffektivnom soprovozhdenii dorozhno-stroitel'noj tehniki* [Network-centric technologies in efficient support of road construction equipment]. Vestnik HNADU, Vyp. 57, 2012. S. 36 – 42.
5. Plugina T.V. *Zadacha intelektualizacii' suchasnyh budivel'no-dorozhnyh mashyn* [The task of intellectualization of modern construction and road machines]. NTZh Tehnologija pryborostroenija, Spec.vyp., 2014. S. 40–43.
6. Gurko O.G. *Doslidzhennja parametriv ruhu avtogidropidijmacha z obertal'nymy zchlenuvannjamy* [Investigation of the parameters of the motion of an auto-hydraulic pickup with rotational joints] Novi materialy tehnologii' v metalurgii' ta mashynobuduvanni. – 2016. – №2. – S. 121–127.
7. Alexander Gurko, Oleg Sergiyenko, et al. Guaranteed Control of a Robotic Excavator During Digging Process. SciTePress, Colmar, France (2015), Vol. 2, pp. 52–59.
8. Nefedov L.I. *Obobshhennaja model' sistemnogo sinteza avtomaticheskoy transmissii*. [A generalized model of system synthesis of automatic transmission] Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, № 4 (42) tom 6, 2009, S. 10-13.
9. Pisarchuk O.O. *Tehnologija situacijnogo strukturno-parametrichnogo sintezu skladnoi informacijno kerujuchoi sistemi*[Technology of situational structural-parametric synthesis of complex information-control system] Zbirk naukovih prac' ZhVI DUT. - Vip. 9, S.56-61.
10. Harchenko A.V. *Slozhnye tehicheskie i jergaticheskie sistemy: metod ispol'zovanija* [Complex technical and ergatic systems: method of use]. H. : Fakt, 1997. – 240 s.
11. Pospelov D. A. *Situacionnoe upravlenie: teorija i praktika* [Situational management: theory and practice] M. : Nauka, 1986. – 288 s.
12. I. V. Kuz'min. *Osnovy modelirovanija slozhnyh sistem* [Fundamentals of simulation of complex systems]. K. Vysshaja shkola, 1981. – 360 s.