

Рис. 7. Траєкторія руху кромки зуба ковша

### Висновки

В роботі розглянуті приклад побудови імітаційної моделі робочого обладнання екскаватора в MATLAB Simulink з використанням бібліотек SimMechanics та SimHydraulics. MATLAB дозволяє отримувати чисельне рішення диференціальних рівнянь що описують процеси, які протікають при русі елементів механічної системи, розглядаючи не тільки саме рух, а і причини його виникнення. Отримана модель дозволяє вирішувати завдання аналізу і синтезу систем керування роботою екскаватора, що буде висвітлено в наступних статтях.

УДК 681.5.015

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ БДМ ЗА РАХУНОК СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

К.т.н. О.В. Єфименко, к.т.н. Т. В. Плуґіна, к.т.н. С.Г. Ковалевський, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Розглянуто задачу інтенсифікації робочих процесів будівельно-дорожніх машин за рахунок сучасних систем управління. Проаналізовано системи управління за ефективністю використання. Запропоновано критерії визначення діагностичних параметрів систем інтенсифікації.*

*Рассмотрена задача интенсификации рабочих процессов строительно-дорожных машин за счет современных систем управления. Проанализированы системы управления по эффективности использования. Предложены критерии определения диагностических параметров систем интенсификации.*

*The task of intensifying the working processes of construction and road machines due to modern control systems is considered. The management systems for efficiency of use have been analyzed. Criteria for determining the diagnostic parameters of intensification systems are proposed.*

**Ключові слова:** інтенсифікація, робочий процес, система управління, модель, математичне моделювання, діагностичний параметр, оптимізація, ефективність

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика / Г.А. Аврунин, И.В. Грицай, И.Г. Кириченко // Учебное пособие.– Харьков: ХНАДУ, 2008. – 412.
2. Гурко А.Г. Моделирование динамики объемного гидропривода / А.Г. Гурко // Технология приборостроения. - Харьков, 2014. Специальный выпуск – С. 57-60.
3. Крамарь В.А. Моделирование мехатронных модулей движения // В.А. Крамарь, А.А. Кабанов, В.В. Альчаков /Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вып. 146/2014. Серия: Автоматизация процесів та управління. — Севастополь, 2014. –С. 5 – 13.
4. Гусельников Д.А. Оценка возможностей и достоверности MatLab + Simulinkпри моделировании функционирования гидравлической системы летательного аппарата/ Д.А. Гусельников, Н.А. Шелков // Авиационное строительство и транспорт Сибири : сб. статей V Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 16–18 апреля, 2015 г.) – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2015. – С 47-49.
5. Шорников Ю.В. Компьютерное моделирование гидравлических систем / Ю.В. Шорников, С.А. Мяндин// Молодой учёный. – 2017. – № 22 (156). – С. 104–110.
6. Михеева Н.И. Имитационное моделирование гидропривода в нелинейном приближении / Н.И. Михеева //Вестник КРСУ.– 2017. Том 17. № 5. – С.83 – 86.
7. Ярижко О.В. Моделирование складных технических систем з використанням пакету Simscape / О.В. Ярижко, Н.П. Пенкіна // Технология приборостроения. – Харьков, 2017. №2 – С. 57 – 60.
8. SimHydraulics Documentation. Режим доступа: <http://www.mathworks.com/help/physmod/hydro/>
- 9/ Рунпель А.А. Моделирование гидравлических систем в MatLab / А.А. Рунпель, А.А. Сагандыков, М.С. Коротков // Учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009. – 172с.

### Вступ

Існуючі математичні моделі оптимізації параметрів будівельно-дорожніх машин (БДМ) дозволяють підібрати раціональний режим роботи. А машини з такою системою адаптації забезпечують більш ефективне виконання робіт з максимальною продуктивністю, мінімальною вартістю та максимальним прибутком.

Оптимальні потужність та швидкість машини у процесі робочого циклу повинні регулюватися в залежності від збурень, що з'являються, та змін експлуатаційних параметрів відповідно встановленим законам.

Поточна інформація (про якість виконуваних робіт, якість дорожнього покриття, фізико-механічних властивостях середовища, що розробляється, та інших параметрах) поступає від сенсорів, що вбудовано на робочих органах та елементах підсистем машини. З'являється реальна можливість вже на етапі проектування здійснювати контроль за станом та відповідністю машини об'єкту, що розробляється, а об'єкта – проекту. Бортова система контролю та супутникова навігаційна система зв'язку забезпечують

контроль робочого процесу у строгій відповідності з проектом та попереджує можливі незаплановані витрати. Постає задача інтенсифікації робочих процесів будівельно-дорожніх машин за рахунок сучасних систем управління з віддаленим центром керування.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Впровадження у дорожньо-будівельній галузі електронних офісів виявилось практично можливим насамперед завдяки широкому розповсюдженню комп'ютерів із відкритою архітектурою, що дозволяє змінювати конфігурацію машини з орієнтацією на виконання конкретних робіт, різноманітних проблемно-орієнтованих програмних продуктів, а також високоефективних засобів інтелектуалізації БДМ [1].

Робоче місце оператора поєднується в єдину систему (мережу), що має доступ до всіх обчислювальних ресурсів офісу, баз даних, а також до зовнішніх джерел інформації [2]. При цьому значно прискорюється можливість інформаційного обміну між користувачами мережі, автоматизуються деякі традиційні операції, зв'язані з корекцією робочих параметрів [3]. Наприклад, електронний офіс включає дані, які генеруються на основі аналізу цифрових моделей будівельних ділянок роботи БДМ [4].

#### **Актуальність**

Сучасні будівельні й дорожні машини володіють високими технічними характеристиками і, відповідно, високою вартістю. Незважаючи на наявність систем самодіагностики й фірмове технічне обслуговування брендової техніки, висока вартість і складність конструкції машин вимагають підвищеної уваги при забезпеченні їхньої працездатності й продуктивності на належному рівні протягом усього строку експлуатації.

#### **Мета і задачі роботи**

Метою роботи є інтенсифікація робочих процесів будівельно-дорожніх машин за рахунок використання сучасних систем управління та інтелектуальних мікропроцесорних пристроїв.

Задачі роботи:

- проаналізувати системи управління БДМ за ефективністю використання засобів автоматики та мікропроцесорної техніки.

- обґрунтувати критерії визначення діагностичних параметрів систем інтенсифікації робочих процесів будівельно-дорожніх машин.

#### **Системи інтенсифікації робочих процесів будівельно-дорожніх машин**

Для будівельно-дорожніх машин характерно розташування місць роботи на великій відстані від центрів керування. Поширюються та розвиваються так звані електронні офіси.

Електронний офіс втілює концепцію всебічного використання в офісній діяльності засобів обчислювальної техніки та зв'язку з одночасним збереженням та підсиленням переваг традиційного та виробничого офісу.

Інформаційно-обчислювальні потужності в електронному офісі також персоналізуються із збереженням електронного зв'язку в середині офісу, з централізованими базами даних та віддаленими підрозділами.

Спільний розвиток та поступове об'єднання обчислювальної та комунікаційної техніки забезпечує службовцям офісу необмежений доступ до будь-якої потрібної інформації та користування обчислювальними потужностями, незалежно від місцезнаходження.

Бортова система управління БДМ включає дані, які генеруються на основі аналізу цифрових моделей будівельних ділянок роботи машини (рис.1).

Усі програмні продукти такої системи повинні бути не тільки уніфіковані, але й інтегровані між собою. Використовуючи інформацію від вбудованих у робочі органи машини мікродатчиків та за допомогою систем навігації, бездротового зв'язку, на керуючому комп'ютері у режимі реального часу відображаються як фізико-механічні властивості середовища, що розробляється, так і техніко-експлуатаційні та економічні параметри машини, а також згідно розробленим математичним моделям визначається відповідність машини реальним умовам експлуатації.

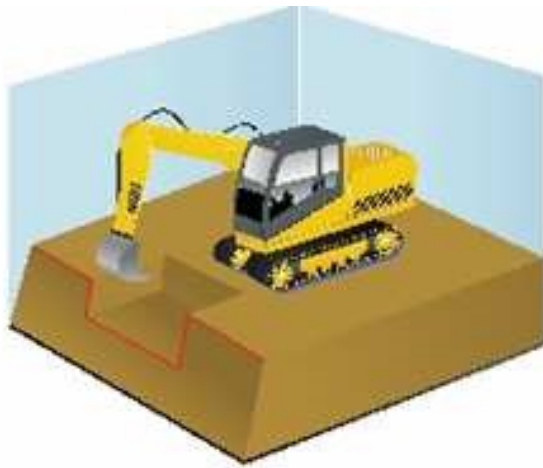
Практична реалізація концепції електронного офісу поступово приводить до зміни стилю і методів керування, до перегляду і перерозподілу функцій виконавців, а також висуває високі вимоги щодо кваліфікації операторів. Ці обставини викликають необхідність підвищення оперативності усунення несправностей і прогнозування технічного стану машин шляхом дистанційного моніторингу технічного стану машин.

Щоб обрати елементну базу системи інтенсифікації управління БДМ (СІУ) скористуємось методом структурно-параметричного синтезу [3].

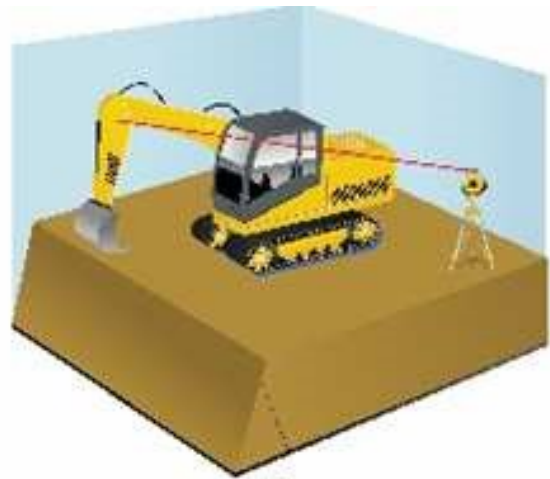
Структурно-параметричний синтез – це процес, в результаті якого визначається структура об'єкта, і знаходяться значення параметрів складових її елементів, таким чином, щоб були задоволені умови завдання на синтез (вимоги технічного завдання). Під структурою будемо розуміти множину елементів і зв'язків між ними.

Задача системного синтезу елементної бази ускладнюється багатомірністю характеристик, які мають елементи системи управління.

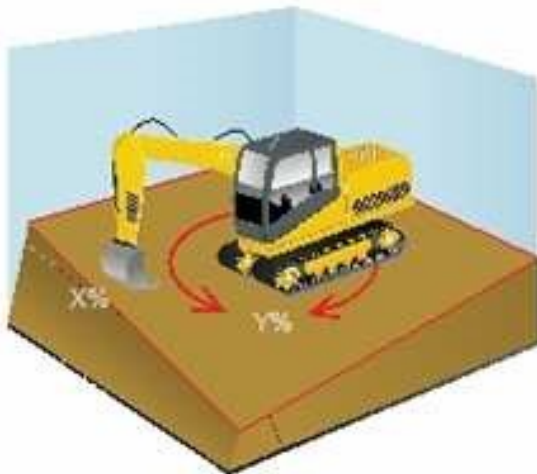
Таким чином, загальна задача, яка має велику розмірність, була декомпозована на часткові задачі оцінки та вибору типів і видів елементів СІУ БДМ [3].



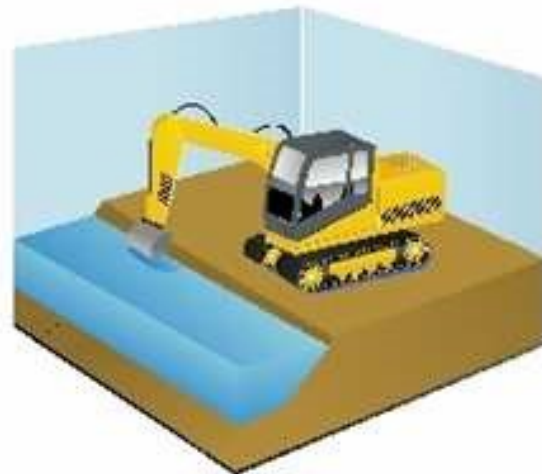
а)



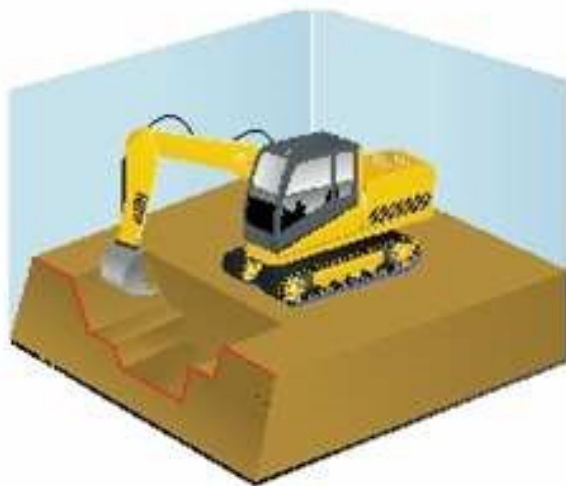
б)



в)



г)



д)



е)

а) вирівнювання, траншея, відкоси; б) лазерна опорна лінія або крапка; в) одинарний та подвійний уклін; г) робота всліпу; д) вимірювання, копіювання, комплексний профіль; е) сигналізація по висоті та глибині, детектування

Рис. 1. Аналіз цифрових моделей будівельних ділянок роботи БДМ

Загальне завдання синтезу полягає у наступному [4].

Відомо:

- множина типів робочих процесів БДМ -  $PP = \{PP^e\}, \overline{e=1, e'}$ ;

- множина видів операцій у кожному типі РП  $PO^e = \{PO_n^e\}, \overline{n=1, n'}$ ;

- множина різних елементів СІУ  $ES = \{ES^m\}, \overline{m=1, m'}$ ;

- множина різних типів елементів СІУ  $ES^m = \{ES_o^m\}, \overline{o=1, o'}$ ;

- множина різних видів у кожному типі елементів СІУ  $ES_o^m = \{ES_{ow}^m\}, \overline{w=1, w'}$ .

Введемо змінні  $X_{en} = \{0;1\}$ , де  $X_{en} = 1$ , якщо обрано РП  $e$ -го типу  $n$ -го виду,  $X_{en} = 0$  у противному випадку;  $\tilde{X}_{mow} = \{0;1\}$ , де  $\tilde{X}_{mow} = 1$ , якщо  $m$ -й елемент СІУ обраний  $o$ -го типу  $w$ -го виду,  $\tilde{X}_{mow} = 0$  у противному випадку.

Необхідно визначити тип і вид РП, елементів СІУ за обраними критеріями і обмеженнями.

Система інтенсифікації вирішує завдання адаптивної оптимізації робочих процесів підсистем машини.

Сучасні засоби технічних комунікацій повною мірою дозволяють вирішити дане завдання, але виникає ще одна задача вибору оптимальної кількості й переліку діагностичних параметрів, необхідних для обробки й аналізу у віддаленому технічному центрі.

Критеріями, що визначають необхідність і можливість використання того або іншого структурного, регульовального або діагностичного параметру при безперервному моніторингу технічного стану вилученого об'єкта, можуть бути наступні фактори:

- інтегральність параметра, тобто, наявність у діагностичному сигналі інформації про зміну зовнішніх показників машини або силової установки, що мають в основі відхилення від номінальних значень множини регульовальних або структурних параметрів. Такі параметри (наприклад, продуктивність машини, потужність двигуна, витрата палива) вимагають наступного поглибленого пошуку несправностей, але дозволяють оперативно реагувати на можливу зміну показників працездатності машин і зменшують кількість переданої інформації;

- наявність систем самодіагностики будівельно-дорожніх машин, що дозволяють передавати необхідні відомості про технічний стан окремих вузлів і агрегатів зовнішньому споживачеві;

- вплив контрольованих параметрів на неможливість запуску машини в роботу або на інтенсивне зношування елементів, ймовірність аварійної зупинки машини;

- можливість прогнозування на основі одержуваної інформації процесу зміни параметрів технічного стану машини залежно від її наробітку;

- необхідність встановлення додаткових датчиків, що не входять у штатну комплектацію машини;

- вартість або питомі витрати технічного контролю обраних параметрів залежно від способу передачі діагностичної інформації: дискретний або безперервний контроль.

У перспективі передбачається створення матриці діагностичних параметрів, що дозволяє визначати оптимальний склад діагностичної інформації на підставі певних пріоритетів (техніко-економічні показники, ресурсні показники, показники безпеки, можливості комунікаційної системи й т.п.).

Система інтенсифікації робочих процесів БДМ повинна бути оснащена усім необхідним програмним забезпеченням та обладнанням: необхідна кількість основних та вторинних ІТ центрів, інтегрованих серверів, підключених через захисні мережі; комплекс сучасних комп'ютерів; програмне забезпечення, як для внутрішнього, так і для стандартного користування, яке забезпечує різні департаменти автономними та високоєфективними інструментами; електроні системи управління документацією для проведення спільної роботи із захищеним і оптимальним доступом і виробничим розподіленням (Intranet, Bentley ProjectWise, Microsoft Sharepoint).

Система інтенсифікації робочих процесів БДМ залежить пропорційно від удосконалення інструментів у областях: управління проектом, проектування та дослідження, контролю робіт, стійкого розвитку і т.п. Найбільш широко застосовуються інструменти, які включають в себе: оцінку, контроль витрат, облік і управління операціями і робочими контрактами з розвитку транспортної інфраструктури, управління проектними ризиками і статистичного модулювання ризиків; трасування дороги на етапі експлуатації; оптимізація земляних робіт; розрахунки для всіх типів підсистем (гідравлічних, електричних та ін.).

Сучасним прикладом втілення інформаційних технологій і системи інтенсифікації робочих процесів є компанія Egis International - єдина французька група у сфері будівельного інжинірингу. Система Egis International базується на різних модулях: SIGMA - облік і управління операціями; VARIWAYS - це «еко-компаратор» для трасування дороги на етапі експлуатації; MASSTER - модуль досліджень, моніторинг земляних робіт; ORAGE - модуль розрахунків підсистем; QUATRA - управління об'ємами робіт і постачанням; COUCHE - модуль дорожнього покриття; GEOMACAO - проектування підвищеної складності.

### Висновки

Порівняльний аналіз даних з будівництва фундаментів споруд (Caterpillar) показує, що втілення систем інтенсифікації БДМ (GPS 3D) дозволяє значною мірою покращити точність виконання робіт, підвищити продуктивність та знизити енерговитрати (рис.2).

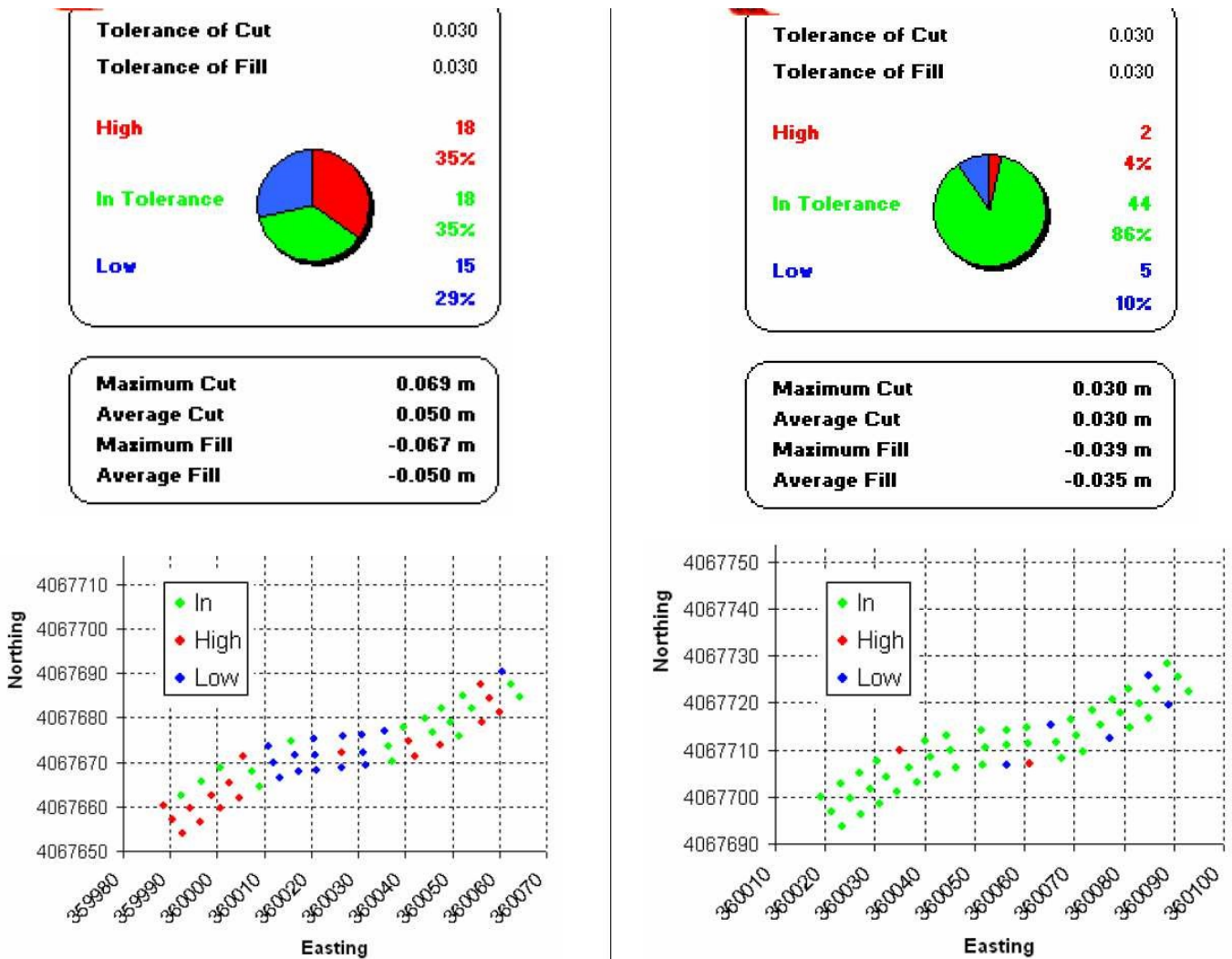


Рис. 2. Результати досліджень процесу будівництва фундаментів без використання інформаційних технологій (ІТ) (зліва) та з використанням GPS 3D керування)

З метою оптимізації нагляду за виконанням робіт, необхідно високопродуктивне програмне забезпечення, яке включає в себе багаточисленні інтерфейси, для встановлення ідеального сполучення між дослідженнями проектування та управлінням роботами (управління передбаченими об'ємами робіт і постачанням на стадії завершення, дорожнє покриття і модуль робіт, моніторинг земляних робіт, проектування та дослідження розташування траси доріг у трьох вимірах).

При проектуванні та розробці вітчизняних систем інтенсифікації робочих процесів БДМ необхідно використовувати модульний принцип, що буде сприяти підвищенню якості виконуваних робіт та призведе до суттєвого зниження криміналізації будівництва.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Єфименко О. В. Проектування будівельних та дорожніх машин шляхом порівняння їх комп'ютерного та фізичного дослідження / Пругіна Т. В., Мусаєв З. Р. – Будівництво, матеріалознавство, машинобудування, ПДБА, 2017, Вип. 97, С. 99-106.
2. Пругіна Т.В. Задача інтелектуалізації сучасних будівельно-дорожніх машин / Т.В. Пругіна, В.О. Стоцький. - Технологія приборостроєння. - 2014. - С. 40 - 43.
3. Єфименко. О.В. Модульна структура інтелектуальної системи будівельних й дорожніх машин / О.В. Єфименко, Т.В. Пругіна. Вестник ХНАДУ, №74, 2015. – С. 68-73.
4. Єфименко. О.В. Вибір оптимальних параметрів машин для земляних робіт на основі статистичного аналізу / О.В. Єфименко, Т.В. Пругіна, З. Мусаєв. Вестник ХНАДУ.-2017-він. 77. с. 68-73.