УДК 621.878.4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАЛОГАБАРИТНОГО НАВАНТАЖУВАЧА ПРИ ПЕРЕЇЗДІ ЧЕРЕЗ ОДИНОЧНУ ПЕРЕШКОДУ

ЄФІМЕНКО О. В.[1], *к.т.н., доц.,*
ПЛУГІНА Т. В.[2], *к.т.н., доц.,*
МУСАЄВ З. Р.[3*], *аспірант.*

[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
[3*] Харківський національний автомобільно – дорожній університет, вул. Петровського 25, м. Харків, Україна, Тел. +38(057) 7003866, *e-mail: admin@khadi.kharkov.ua* , *e-mail:* zaur.musaev.92@mail.ru

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Актуальність роботи полягає в створенні і вдосконаленні будівельних і дорожніх машин. У даній статті розглянуто робочий процес малогабаритного навантажувача ПМТС 1200, а саме, процес переїзду через одиночну перешкоду. Через коротку базу навантажувача він є нестійким, що і викликає ряд аварійних ситуацій під час його експлуатації. Насамперед, слід відмітити, що технологія автоматизованого динамічного аналізу дозволяє спростити і прискорити рішення завдань математичного моделювання і, зрештою, істотно підвищити ефективність розробки нової науково-технічної продукції. Тому, у першу чергу, дана робота спрямована на підвищення ефективності функціонування ЗТМ та збільшення надійності та якості виконання робіт. ***Мета.*** Провести експериментальні дослідження процесу переїзду короткобазового навантажувача через одиночну перешкоду, та за допомогою отриманих експериментальних даних запропонувати рекомендації щодо підвищення ефективності роботи даної машини при приведеному робочому процесі. ***Висновок.*** Наведено результати експериментального дослідження робочого процесу переїзду малогабаритного навантажувача через одиночну перешкоду. Було проаналізовано показники коливальних процесів за допомогою сучасної вимірювальної апаратури, достатньо детально розроблено план та методику проведення експерименту, також приведено графіки деяких оброблених даних, які у майбутньому буде дуже цікаво порівняти з результатами комп'ютерного та математичного моделювання.

Ключові слова: моделювання; методика; комп`ютерний експеримент; робочий процес; проектування

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ПОГРУЗЧИКА ПРИ ПЕРЕЕЗДЕ ЧЕРЕЗ ОДИНОЧНОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ

ЕФИМЕНКО А. В.[1], *к.т.н., доц.,*
ПЛУГИНА Т. В.[2], *к.т.н., доц.,*
МУСАЕВ З. Р.[3*], *аспирант.*

[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
[3*] 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: zaur.musaev.92@mail.ru

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** Актуальность работы заключается в создании и совершенствовании строительных и дорожных машин. В данной статье рассмотрен рабочий процесс малогабаритного погрузчика ПМТС 1200, а именно, процесс переезда через одиночное препятствие. Из за короткой базы погрузчик является неустойчивым, что и вызывает ряд аварийных ситуаций во время его эксплуатации. Прежде всего, следует отметить, что технология автоматизированного динамического анализа позволяет упростить и ускорить решение задач математического моделирования и, наконец, существенно повысить эффективность разработки новой научно-технической продукции. Поэтому, в первую очередь, данная работа направлена на повышение

эффективности функционирования ЗТМ и увеличение надежности и качества выполнения работ. ***Це*** Провести экспериментальные исследования процесса переезда короткобазового погрузчика через одиночн препятствие, и с помощью полученных экспериментальных данных предложить рекомендации по повышени эффективности работы данной машины при приведенном рабочем процессе. ***Вывод.*** Приведены результат экспериментального исследования рабочего процесса переезда малогабаритного погрузчика через одиночн препятствие. Были проанализированы показатели колебательных процессов с помощью современно измерительной аппаратуры, достаточно детально разработан план и методика проведения эксперимента, такж приведены графики некоторых обработанных данных, которые в будущем будет очень интересно сравнить результатами компьютерного и математического моделирования.

Ключевые слова: моделирование; методика; компьютерный эксперимент; рабочий процесс; проектирование

EXPERIMENTAL STUDY OF A COMPACT LOADER WHILE MOVING OVER A SINGLE OBSTACLE

YEFYMENKO A. V.[1], *Cand. Sc. (Eng.)., Associate Professor*,
PLUGINA T. V.[2], *Ph. D., Associate Professor,*
MUSAIEV Z. R.[3*], postgraduate

[1] Department of building and road machines, State Higher Education Establishment «Kharkiv National Automobile and Highwa University, Yaroslav Mudry str. 25, Kharkiv, Ukraine, Tel. +38 (057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua, e-mai alef_khadi@mail.ru
[2] Department build and road wave, State Higher Education Establishment «Kharkov National Automobile and Highway Universit str. Petrovsky 25, Kharkov, Ukraine, Tel. +38 (057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua, e-mail: plu_tan@mail.ru
[3*] Department of building and road machines, State Higher Education Establishment «Kharkiv National Automobile and Highwa University, Yaroslav Mudry str. 25, Kharkov, Ukraine, Tel. +38 (057) 7003866, e-mail: admin@khadi.kharkov.ua, e-mai zaur.musaev.92@mail.ru

Abstract. ***Problem setting***. The topicality of the work lies in creation and perfection of building and road machine In this article, the working process of a small-sized loader PMTS 1200 is considered, namely, the process of movin over a single obstacle. Due to the short base of the loader, it is unstable, which causes a number of emergency situation during its operation. First of all, it should be noted that the technology of automated dynamic analysis makes it possibl to simplify and accelerate the solution of problems of mathematical modeling and, finally, improve the efficiency o developing new scientific and technical products significantly. Therefore, in the first place, this work is aimed a increasing the efficiency of operation of building and road machines and improving the reliability and quality of wor performance. ***The aim of the research*** is carrying out experimental studies of the process of moving a compact loade over a single obstacle, and, with the help of experimental data, offering some recommendations for improving th efficiency of this machine in the given working process. ***Conclusion.*** The results of the experimental study of th working process of moving a compact loader over a single obstacle have been presented. The parameters of th oscillatory processes have been analyzed with the help of modern measuring equipment, the plan and methodology o the experiment have been elaborated in detail, and the graphs of some processed data, which in the future would be ver interesting to compare with the results of computer and mathematical modeling, have also been presented.

Keywords: modeling; methodology; computer experiment; working process; designing

Проблема. Актуальність роботи пов'язана із тенденцією розвитку інформаційних технологій та впровадженні їх у проектування робочих процесів БДМ. Так за допомогою різноманітних програмних продуктів вирішуються складні задачі, що пов'язані із проектуванням машин та механізмів. Впровадження технології аналізу динаміки робочих і транспортних режимів будівельних та дорожніх машин дозволяє вивести рішення завдань динамічного аналізу на новий якісний рівень. Використання методів кінцевих елементів та програмних засобів методики застосування комп'ютерних програм, дозволить моделювати динаміку БДМ та проводити експерименти з допомогою персонального комп'ютера. Зокрема даній статті розглянуто малогабаритни навантажувач з бортовим поворотом ПМТС 1200 [8].

Аналіз публікацій. Використання комп'ютерного моделювання та автоматизованого динамічного аналізу дозволяє вже на ранніх стадіях проектуванн отримати достовірну інформацію про поведінк створюваних виробів і силові навантаження, ш виникають при цьому, а також оперативно проводит дослідження нештатних ситуацій, що виникають процесі експлуатації існуючих виробів. Роботи О. Б Чернікова, І. Г. Кириченка, А. І. Москаленк

дозволяють визначити динамічні навантаження при зіткненні робочого обладнання навантажувача з жорсткою перешкодою [1]. Розроблено методику застосування комп'ютерних технологій при моделюванні переїзду навантажувача через перешкоду [2]. Було проведено дослідження моделювання руху фронтального навантажувача [3]. Також виявлені переваги комп'ютерного моделювання дорожніх машин [4]. Досліджено деформацію пневматичної шини колеса при взаємодії з твердою опорною поверхнею [5]. Необхідним є враховування усіх технічних характеристик та конструктивних особливостей при моделюванні того чи іншого механізму за допомогою комп'ютера [6; 7; 9; 10; 11; 12].

Метою роботи є проведення експериментальних досліджень процесу переїзду короткобазового навантажувача через одиночну перешкоду, та за допомогою отриманих експериментальних даних запропонувати рекомендації щодо підвищення ефективності роботи даної машини при приведеному робочому процесі[13].

План експерименту. Для проведення досліджень було вирішено провести експеримент на малогабаритному навантажувачі ПМТС 1200 (рис. 1.1).

Рис. 1. Малогабаритний навантажувач з бортовим поворотом ПМТС 1200

Вимірювальна апаратура за допомогою якої було отримано дані з даного дослідження складалася з аналого-цифрового перетворювача, датчиків тиску (один з яких розташовувався на гідроциліндрі підйому стріли, а інший на трансмісії), акселерометрів, тензомостів та відповідно підсилювачів сигналів для них та тахогенератору. Один з акселерометрів розташовувався на остові навантажувача, а інший на стрілі, тахогенератор знаходився на виводі валу бортового редуктора та виконував роль датчику швидкості.

Як було зазначено вище, вимірювальна апаратура складалася з гідравлічних перетворювачів для дослідження тиску рідини у гідросистемі при робочих процесах, що мали місце. Для цього застосовувались датчики тиску ПД-40/2. Даний датчик працює від опору, а тому необхідним є наявність зовнішнього резистора номіналом 110 Ом. Схема підключення представлена на рис. 2.

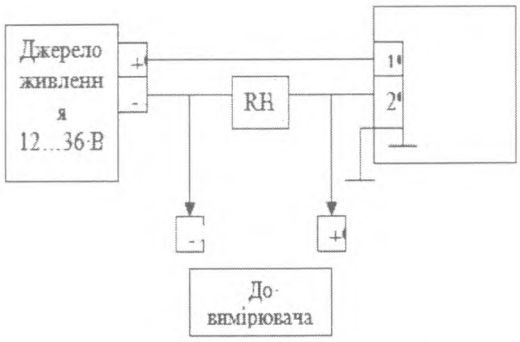

Рис. 2. Схема підключення гідравлічного перетворювача тиску ПД-40/2

В даній роботі використовувався АЦП E14 – 140 (вироблений ЗАТ «L-card»), він є зовнішнім модулем, що підключається до принтерного порту комп'ютера. Модуль можна цілком розглядати, як досить компактний і недорогий пристрій багатоканального потокового збору інформації.

На початку було побудовано план експерименту, а кодування факторів проводилось за наступними формулами:

$$X = \frac{X_{1\max} - X_{1cp}}{\Delta X_{1cp}} = 1 \quad (1)$$

$$X = \frac{X_{1cp} - X_{1cp}}{\Delta X_{1cp}} = 0 \quad (2)$$

$$X = \frac{X_{1\min} - X_{1cp}}{\Delta X_{1cp}} = -1 \quad (3)$$

Методика проведення експерименту. Експеримент проходив на трьох рівнях швидкості 0,4; 0,6 та відповідно 0,8 (м/с) з різною місткістю ковша, а саме, при порожньому робочому органі, при заповненому на 0,25 $м^3$, та відповідно на 0,5 $м^3$.Ураховуючи це план-матриця експерименту має наступний вигляд:

У описаному досліді та на схемі зазначеної вище тахогенератор виконує роль датчику швидкості. На наш погляд це один з максимально простих та ефективних пристроїв для отримання швидкісних показників.

Так як частота вихідного сигналу не залежить від температури, зменшення магнітного потоку викликаного старінням і величини зазору між ротором і статором тахогенератора, то цей спосіб є одним з найбільш точних. Швидкість обертання обчислюється шляхом визначення частоти вихідного сигналу і подальшим обчисленням частоти обертання ротора за формулою:

$$F_{rot} = \frac{F_{out}}{p}; \quad (4)$$

Таблиця

План – матриця експерименту

X_1	X_2	X_0	X_1	X_2
0,4	0	1	-1	-1
0,4	0,25	1	-1	0
0,4	0,5	1	-1	+1
0,6	0	1	0	-1
0,6	0,25	1	0	0
0,6	0,5	1	0	+1
0,8	0	1	+1	-1
0,8	0,25	1	+1	0
0,8	0,5	1	+1	+1

Загальна вимірювальна ланка усієї системи виглядає наступним чином:

Рис. 3. Схема загального вигляду вимірювальної системи

де F_{rot} – частота обертання ротора в Гц, F_{out} – частота сигналу на виході тахогенератора,
p – число пар полюсів ротора тахогенератора.

Недоліком даного методу є те, що для більш точного визначення частоти необхідно більше часу, і за цей час частота може значно змінитися. А чим більше часу витрачається на накопичення імпульсів для визначення частоти, тим більше похибка у вимірах, і тим повільніше схема управління компенсує збільшення або зменшення швидкості обертання, що погано позначається на динамічності системи в цілому.

Також найбільш головним недоліком тахогенератору, на наш погляд, є той факт, що він може видати лише фактичну швидкість без урахування буксування. Для усунення цих недоліків було прийнято рішення про інтегрувати показники прискорення від акселерометру що знаходився на остові навантажувача за методом трапецій.

Метод трапецій – метод чисельного інтегрування функції однієї змінної, що полягає в заміні на кожному елементарному відрізку підінтегральної функції на многочлен першого ступеня, тобто лінійну функцію. Це просте застосування формули для площі трапеції – добуток півсуми основ, якими в даному випадку є значення функції в крайніх точках відрізка, на висоту (довжину відрізка інтегрування). Похибку апроксимації можна оцінити через максимум другої похідної.

Після обробки даних акселерометру методом трапецій зазначеним вище отримали наступний графік залежності прискорення від часу. Одразу слід зазначити що час, який складає на графіку 4

секунди є безпосередньо проміжком переїзду навантажувача через перешкоду.

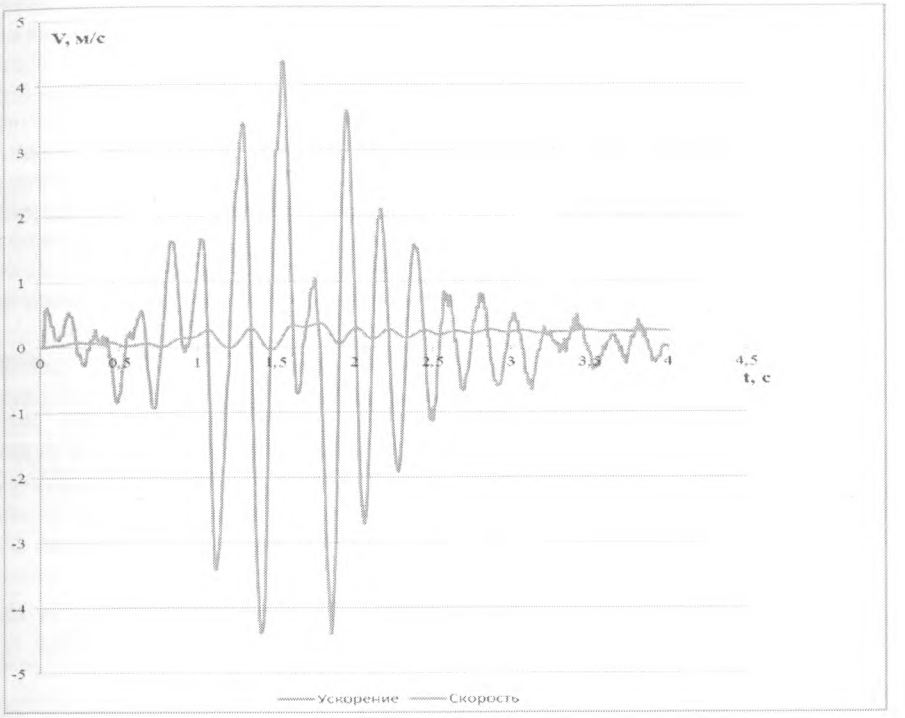

Рис. 4. Графік залежності прискорення та швидкості від часу

Показники даних швидкості тахогенератору, та показники тієї ж швидкості, отриманих за методом трапецій співпадають, а саме найвища зафіксована швидкість при робочому процесі навантажувача склала від 0,4 – 0,8 м/с. Отже, беручи до уваги зазначену швидкість, спробуємо зрівняти кілька показників отриманих при експерименті, з показниками комп'ютерного моделювання, а саме, процесу переїзду малогабаритного навантажувача через одиночну перешкоду[14;15;16]. Створена комп'ютерна модель навантажувача відображає усі реальні характеристики машини та проектувалася за кресленнями заводу виробника.

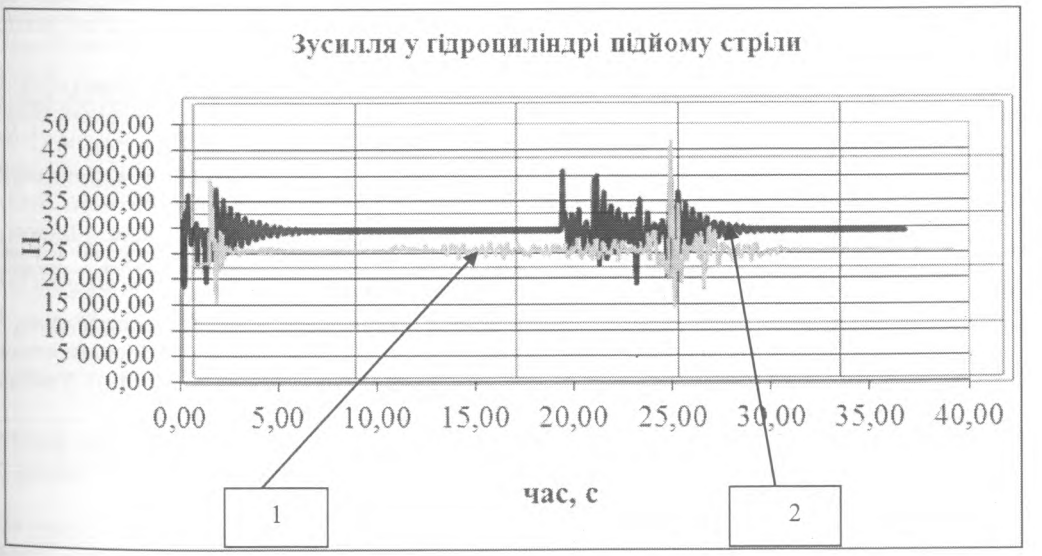

Рис. 5. Зусилля у гідроциліндрі підйому стріли малогабаритного навантажувача під час переїзду через одиночну перешкоду за швидкістю 0,4 м/с

1 – осцилограма навантажень, що була отримана експериментальним методом;

2 – осцилограма навантажень, що була отримана за допомогою комп'ютерного моделювання.

Аналіз даних отриманих експериментально та на основі комп'ютерного моделювання дозволяє стверджувати, що віртуальна модель робочого процесу переїзду малогабаритного навантажувача через одиночну перешкоду є адекватною на 80 %. Також на основі цих досліджень було виявлено передумови до створення методичної бази з проектування будівельних і дорожніх машин:

- розвиток комп'ютерно-інтегрованих систем;
- удосконалення чисельних методів, що стало причиною появи сучасних програмних пакетів моделювання;
- конструювання стало вимагати все більших витрат часу і матеріальних ресурсів;
- істотно збільшився обсяг розрахунково-теоретичного аналізу характеристик пристроїв, технологій і систем.

Висновки. Під час дослідження було розгляну один з найпоширеніших робочих процесів з яки зустрічаютья на практиці, по відношенню до яко було застосовано сучасний метод моделюван робочих процесів. А також на основі цього виявле переваги комп'ютерного моделювання робоч процесів будівельних машин. Основні з яких:

- автоматичне формування математичної моде динаміки руху механічної системи по інженерному опису;
- візуалізація функціонування механічної систем і значень її характеристик;
- широкі можливості управління рухо механічної системи;
- можливість вирішувати складні задачі, ш пов'язані із розрахунком металоконструкції;
- широкий вибір бібліотеки компонентів;

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черніков О. В., Кириченко І. Г., Москаленко А. І. Комп'ютерне моделювання та аналіз кінематичн особливостей робочого обладнання фронтального навантажувача. / О. В. Черніков, І. Г. Кириченко, І. І. Москаленко // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: КНУБА, 2010. – Вип. 86. – С. 107-111.
2. Москаленко А. І., Черніков О. В. Применение компьютерных технологий при моделировании переез фронтального погрузчика через препятствие / А. І. Москаленко, О. В. Черніков // Прикл. геометрія інж. графіка. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 88. – С. 234-238.
3. Черніков О. В., Москаленко А. І., Оболенський О. С. Дослідження руху фронтального навантажувача пакеті Autodesk Inventor / О. В. Черніков, А. І. Москаленко, О. С. Оболенський // Прикл. геометрія інж. графіка. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 382-386.
4. Кириченко І. Г., Черніков О. В. Компьютерное моделирование дорожных машин / І. Г. Кириченко, В. Черніков // XIV Международная научно-техническая конференция «Прогрессивная техник технология и инженерное образование» Севастополь, 25-28 июня 2013 г: Материалы конференции. Киев: НТУУ «КПИ», 2013. – Ч. 2. – С. 46-48.
5. Раннев А. В. Строительные машины / Раннев А. В. // Справочник. – М.: Машиностроение, 1991.
6. Єфименко О. В. Моделювання робочих процесів одноківшових навантажувачів за допомого «AutoDesk Inventor» / О. В. Єфименко, Т. В. Плугіна, З. Р. Мусаєв // Строительство Материаловедени Машиностроение: сб. науч. тр. – 2016. – Вып. 88. С. 179 – 184.
7. Єфименко О. В. Моделювання робочого обладнання малогабаритного навантажувача за допомого сучасних програмних засобів / О. В. Єфименко, Т. В. Плугіна, З. Р. Мусаєв // Вісник східноукраїнськог національного університету ім. Володимира Даля: науковий журнал. – 2017. – Вип. 4. С. 98 – 102.
8. Гузненков В. Н., Журбенко П. А. AUTODESK INVENTOR 2012. Трехмерное моделирование деталей создание чертежей / Гузненков В. Н., Журбенко П. А. // Учебное пособие. – Литресс: 2012.
9. Королев А. В. Компьютерное моделирование / Королев А. В. // Учебное пособие. – Бином: 2010.
10. Домбровский Н. Г., Гальперин М. И. Землеройно - транспортные машины / Домбровский Н.Г Гальперин М.И. // Учебник для вузов. – М: Машиностроение, 1965.
11. Раннев А. В. Строительные машины / Раннев А. В. // Справочник. – М: Машиностроение, 1991.
12. Хорхута Н. Я. Дорожные машины / Хорхута Н. Я. // Учебник для вузов. – М: Машиностроение, 1986.
13. Холодов А. М. Проектирование машин для земляных работ / Холодов А. М. // Учебное пособие. Харьков: Вища школа, 1986.
14. Алиева Н. П., Журбенко П. А., Сенченкова Л. С. Построение моделей и создание чертежей деталей системе Autodesk Inventor / Алиева Н. П., Журбенко П. А., Сенченкова Л. С. // Учебное пособие. – М ДМК Пресс, 2011.
15. Гурко О.Г. 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.
16. Alexander Gurko, Oleg Sergiyenko, et al. Guaranteed Control of a Robotic Excavator During Digging Proces SciTePress, Colmar, France (2015), Vol. 2, pp. 52–59.

REFERENCES

1. Chernikov O. V., Kirichenko I. G., Moskalenko A. I. *Komp'yuterne modelyuvannya ta analiz kinematichnix osoblivostej robochogo obladnannya frontalnogo navantazhuvacha.* [Computer simulation and analysis of the kinematic features of working equipment front loader.]. Prikl. geometrIya ta Inzh. grafIka K.: KNUBA, 2010. – Vip. 86. – S. 107-111.
2. Moskalenko A. I., Chernikov O. V. *Primenenie kompyuternyx texnologij pri modelirovanii pereezda frontalnogo pogruzchika cherez prepyatstvie* [Application of computer technologies in modeling movement through obstacles loader]. Prikl. geometrIya ta Inzh. grafIka. K.: KNUBA, 2011. – Vip. 88. – S. 234-238.
3. Chernikov O. V., Moskalenko A. I., Obolenskij O. S. *Doslidzhennya ruxu frontalnogo navantazhuvacha v paketi autodesk inventor.* [Investigation of the front loader package Autodesk Inventor]. Prikl. geometrIya ta Inzh. grafIka. K.: KNUBA, 2012. – Vip. 89. – S. 382-386.
4. Kirichenko I. G., Chernikov O. V. *Kompyuternoe modelirovanie dorozhnyx mashin.* [Modeling of computer road vehicles]. XIV mezhdunarodnaya nauchno-texni¬cheskaya konferenciya «progressivnaya texnika, texnologiya i inzhenernoe obrazovanie» sevastopol, 25-28 iyunya 2013 g [Materials of conference]. K: NTU «KPI», 2013. – ch. 2. – s. 46-48.
5. Rannev A. V. *Stroitelnie mashyny* [construction Machinery]. *Spravochnik* [Design guide]. M: Mashinistroenye, 1991.
6. Yefymenko O. V. Modelyuvannya robochykh protsesiv odnokivshovykh navantazhuvachiv za dopomohoyu «AutoDesk Inventor» / O. V. Yefymenko, T. V. Pluhina, Z. R. Musayev // Stroytel'stvo Materyalovedenye Mashynostroenye: sb. nauch. tr. – 2016. – Vыp. 88. S. 179 – 184.
7. Yefymenko O. V. Modelyuvannya robochoho obladnannya malohabarytnoho navantazhuvacha za dopomohoyu suchasnykh prohramnykh zasobiv / O. V. Yefymenko, T. V. Pluhina, Z. R. Musayev // Visnyk skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. Volodymyra Dalya: naukovyy zhurnal. – 2017. – Vyp. 4. S. 98 – 102.
8. Gusnenkov V. N., Jurbenko P. A. *Autodesk Inventor 2012. Trohmernoe modelirovanie detalei I sosdanie chertegei* [Three-dimensional modeling of parts and the creation of drawings]. *Uchebnoe posobie* [Tutorial]. Litress: 2012.
9. Korolev A. V. *Kompyternoe modelirovanie* [Computer Modelling]. *Uchebnoe posobie* [Tutorial]. Binom: 2010.
10. Dombrovskiy N. G., Galperin M. I. *Zemleroyno – transportnye mashiny* [Earthmovers - transport vehicles]. *Uchebnik dlya vusov* [textbook for high schools]. M: Mashinistroenye, 1965.
11. Rannev A. V. *Stroitelnye mashiny* [Building machines]. *Spravochnik* [Design guide]. M: Mashinistroenye, 1991.
12. Horhuta N. Y. *Dorognye mashyny* [Road mashines]. *Uchebnik dlya vusov* [textbook for high schools]. M: Mashinistroenye, 1986.
13. Holodov A. M. *Proektirovanie mashin dla zemlianyh robot* [design of machines for earthworks]. *Uchebnoe posobie* [Tutorial]. Kharkov: vysha shkola, 1986.
14. Alyeva N. P., Jurbenko P. A., Senchenkova L. S. *Postroenye modeley I sozdanie chertegey detaley v sisteme Autodesk Inventor* [Building models and creating drawings of parts in the Autodesk Inventor]. *Uchebnoe posobie* [Tutorial]. M: DMK Press, 2011.
15. Hurko O.H. Doslidzhennya parametriv rukhu avtohidropidiymacha z obertal′nymy zchlenuvannyamy / O.H. Hurko, YU.O. Dolya // Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni. – 2016. – №2 . – S. 121–127.
16. Oleksandr Hurko, Oleh Serhiyenko ta in. Harantovanyy kontrol′ robototekhniky pid chas kopannya. SciTePress, Kolmar, Frantsiya (2015 r.), T. 2, s. 52-59.