

УДК 681.5.015:658.786

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ОДНОКІВШОВИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ ЗА ДОПОМОГОЮ «AUTODESK INVENTOR».

ЄФИМЕНКО 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: 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: plu_tan@mail.ru

^{3*} Харківський національний автомобільно – дорожній університет, вул. Петровського 25, м. Харків, Україна, Тел. +38(057) 7003866, zaur.musaev.92@mail.ru

Анотація. Постановка проблеми. Актуальність роботи пояснюється тенденцією росту використання навантажувачів, як при будівництві доріг, так і при їх експлуатації. Фундаментом даної наукової роботи є віртуальні моделі й можливості їх подальшого застосування. Методикою дослідження є методи кінцевих елементів, використання програмних засобів методики застосування комп'ютерних програм для моделювання динаміки навантажувачів, та проведення експериментів за допомогою персонального комп'ютера. **Мета.** Аналіз робочих процесів навантажувачів із використанням комп'ютерного моделювання. **Висновок.** Використані сучасні методи проектування й аналізу землеройно - транспортних машин у програмному комплексі «Autodesk Inventor». Наведено результати комп'ютерного моделювання робочих процесів одноківшових навантажувачів. Достатньо детально розроблена комп'ютерна модель одноківшового навантажувача, проведено аналіз використання моделі при моделюванні робочих процесів одноківшових навантажувачів. Даний метод моделювання дозволяє досліджувати складні системи та механізми. Комп'ютерні експерименти зручніше проводити, коли неможливо провести фізичний експеримент. Логічність та формалізованість комп'ютерних моделей дозволяє виявити основні фактори, що визначають властивості досліджуваного об'єкта - оригіналу (або цілого класу об'єктів), зокрема, дослідити реакцію фізичної системи, що моделюється на зміну її параметрів і початкових умов

Ключові слова: моделювання; робочий процес; віртуальна лабораторія; метод; Inventor

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ОДНОКОВШОВЫХ ПОГРУЗЧИКОВ С ПОМОЩЬЮ «AUTODESK INVENTOR».

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: 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: 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: zaur.musaev.92@mail.ru.

Аннотация. Постановка проблемы. Актуальность работы объясняется тенденцией роста использования погрузчиков, как при строительстве дорог, так и при их эксплуатации. Фундаментом данной научной работы являются виртуальные модели и возможности их дальнейшего применения. Методикой исследования являются методы конечных элементов, использование программных средств методики применения компьютерных программ для моделирования динамики погрузчиков и проведения экспериментов с помощью персонального компьютера. **Цель.** Анализ рабочих процессов погрузчиков с использованием компьютерного моделирования. **Вывод.** Используются современные методы проектирования и анализа землеройно - транспортных машин в программном комплексе «Autodesk Inventor». Приведены результаты компьютерного моделирования рабочих процессов одноковшовых погрузчиков. Достаточно подробно разработана компьютерная модель одноковшового погрузчика, проведен анализ использования модели при моделировании рабочих процессов одноковшовых погрузчиков. Данный метод моделирования позволяет исследовать сложные системы и механизмы. Компьютерные эксперименты удобнее проводить, когда невозможно провести физический эксперимент. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет выявить основные факторы, определяющие свойства изучаемого объекта - оригинала (или целого класса объектов), в частности, исследовать реакцию физической системы на изменение ее параметров и начальных условий.

Ключевые слова: моделирование; рабочий процесс; виртуальная лаборатория; метод; Inventor

MODELLING OF SINGLE-BUCKET LOADER WORKING PROCESSES BY «AUTODESK INVENTOR»

YEFIMENKO A. V.¹, *Ph. D., Ass. Prof.*

PLUGINA T. V.², *Ph. D., Ass. Prof.*

MUSAIEV Z. R.^{3*}, *graduate student.*

¹ 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: 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: plu_tan@mail.ru.

^{3*} 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: zaur.musaev.92@mail.ru.

Summary. Raising of problem. Topicality of the research is explained by the tendency of using loaders during both roads building and their maintenance. The work is based on simulation models and the possibility of their application in future. Methods of research are the methods of finite elements, software provision simulation of loader dynamics and carrying out experiments with the help of PC. **The aim of the research** is to analyse loader working processes with the use of computer simulation. **Conclusion.** They are applications of modern methods of design and analysis of earth-moving machines by the software complex «Autodesk Inventor». The results of simulation of single-bucket loader working processes by means of Autodesk Inventor are given. There is development of a rather detailed computer model of a single-bucket loader; possibilities of the use of the model for simulating the single-bucket loaders working processes are analysed. This method of simulation allows to study complex systems and mechanisms. Computer experiments are preferable when the physical experiments which sometimes can give unpredictable results, are impossible to carry out. The logics and formalization of computer models make it possible to reveal the main factors which determine the properties of the object under study the original (or the whole class of objects); in particular, to research the reaction of the physical system to the change of its parameters and initial conditions.

Keywords: modeling; the working process; virtual laboratory; method; Inventor.

Проблема. Актуальність роботи пояснюється тенденцією росту використання навантажувачів, як при будівництві доріг, так і при їх експлуатації. Фундаментом даної наукової роботи є основи, які дозволяють використовувати віртуальні моделі та можливості їх подальшого застосування. Робота спрямована на підвищення ефективності функціонування навантажувачів та збільшення надійності та якості виконання робіт. Впровадження технології аналізу динаміки робочих і транспортних режимів навантажувачів дозволяє вивести рішення завдань динамічного аналізу на новий якісний рівень. Використання методів кінцевих елементів та використання програмних засобів методики застосування комп'ютерних програм дозволить моделювати динаміку навантажувачів та проводити експерименти за допомогою персонального комп'ютера.

В галузі динамічного аналізу функціонування виробів це подібно до переходу конструкторських служб від випуску креслень на папері до використання автоматизованих систем проектування. Технологія автоматизованого динамічного аналізу дозволяє

спростити і прискорити рішення завдань математичного моделювання і, зрештою, істотно підвищити ефективність розробки нової науково-технічної продукції.

Аналіз публікацій. На часі широко використовуються сучасні методи проектування й аналізу землеройно - транспортних машин у програмному комплексі «Autodesk Inventor». Використання комп'ютерного моделювання та автоматизованого динамічного аналізу дозволяє вже на ранніх стадіях проектування отримати достовірну інформацію про поведінку створюваних виробів і силові навантаження, що виникають при цьому, а також оперативно проводити дослідження нештатних ситуацій, що виникають в процесі експлуатації існуючих виробів. Роботи О. В. Чернікова, І. Г. Кириченка, А. І. Москаленко дозволяють визначити динамічні навантаження при зіткненні робочого обладнання навантажувача з жорсткою перешкодою [1]. Розроблена методика застосування комп'ютерних технологій при моделюванні переїзду навантажувача через перешкоду [2]. Було проведено дослідження моделювання руху фронтального наванта-

жувача у пакеті Autodesk Inventor [3]. Також виявлені переваги комп'ютерного моделювання дорожніх машин [4]. Необхідним є враховування усіх технічних характеристик та конструктивних особливостей при моделюванні того чи іншого механізму за допомогою комп'ютера [5, 9, 10, 11, 12].

Метою роботи є підвищення ефективності проектування будівельно-дорожніх машин за рахунок використання комп'ютерного моделювання. Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати типову структуру навантажувача; визначити основні елементи складної моделі; визначити етапи моделювання; проаналізувати існуючі інструментальні засоби реалізації задач моделювання та висунути вимоги, щодо їх функціонування.

Результати дослідження. Початковим етапом є побудування якомога більш детальної 3D моделі навантажувача за допомогою використання програми «Autodesk Inventor» [6, 13].

Відповідальним етапом є експорт побудованої тривимірної моделі у середовище динамічного моделювання. Основна вимога - після експорту зберігаються масово-інерційні характеристики складальних одиниць тривимірної моделі. Наступним етапом є класифікація отриманих складальних одиниць на рухомі та нерухомі об'єкти. Наприклад, колесо є рухомих (обертальний рух) відносно вісі, на якій воно закріплено. Після того, як з'ясовано які деталі є рухомими, необхідно провести повний кінематичний аналіз моделі [7].

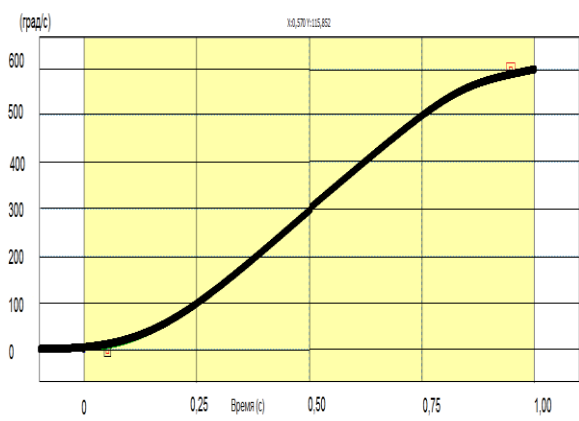


Рис. 1. Графік руху навантажувача за заданим законом.

Отримавши ці дані, необхідно за допомогою шарнірів з'єднати деталі в кінематичну пару, та задати закон руху машини за допомогою графіку (рис. 1).

Необхідним є те, що окрім вищезгаданих параметрів потрібно задати 3D контакт між колесами і опорною поверхнею, та вказати необхідні параметри жорсткості та тертя (рис.2).

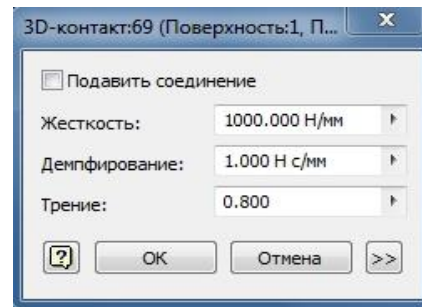


Рис. 2. Параметри контакту між колесами навантажувача та опорною поверхнею.

Наприклад, з'єднати робоче устаткування для навантажувача НІТАСНІ (рис. 3).



Рис. 3. З'єднання деталей стріли та рами навантажувача у кінематичну пару.

Приведена модель дозволяє виконати попередній аналіз конструкції. На рисунках 4, 5 та 6, показано зусилля, що виникають в колесах при переїзді через перешкоду завдовжки 70 мм та 30 мм, навантажувачем НІТАСНІ масою 25 т, при швидкості 5 км/год.

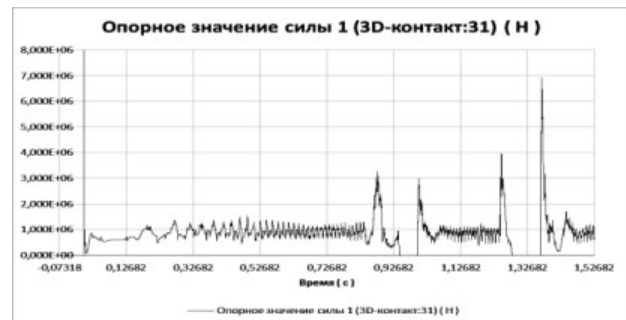


Рис. 4. Осцилограми опорних реакцій на задній піввісі навантажувача.

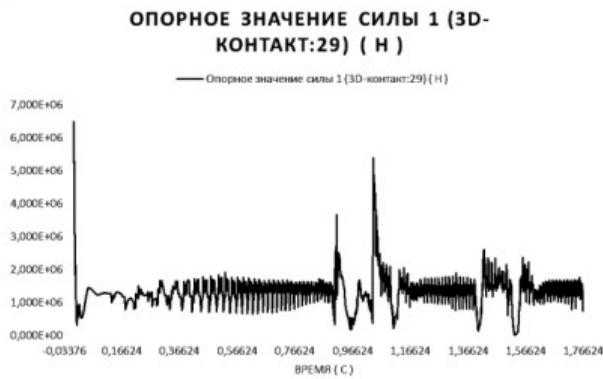


Рис. 5. Оциллограмма опорных реакций на передней піввісі машини.

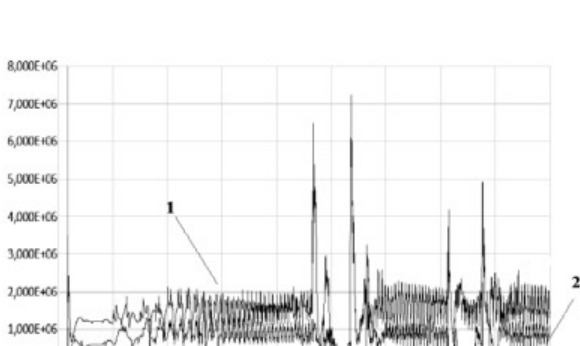


Рис. 6. Реакції на передніх(1) та задніх(2) осях навантажувача.

Після проведення комп'ютерного експерименту було отримано оциллограми опорних реакцій, які були переведені в програму MSEXCEL з попереднім аналізом (рис. 7 та 8).

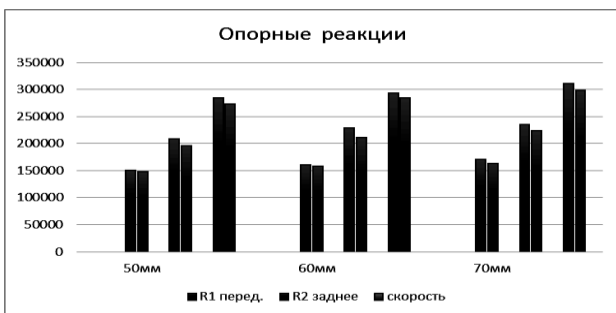


Рис. 7. Діаграма опорних реакцій на задній піввісі навантажувача.

В ході експерименту було виявлено, що машина з більшим коефіцієнтом тертя та з більшою масою має найбільш високі показники. Так, для навантажувача Hitachi R1 = 132000, R2 = 128258, далі йде Sankar Ram R1 = 68258 Н, R2 = 69585 Н та Cat R1 = 35689 Н, R2 = 37589 Н.

Впровадження технології аналізу динаміки виводить рішення завдань на новий рі-

вень, що дозволяє спростити і прискорити математичне моделювання та підвищити ефективність розробки машин.

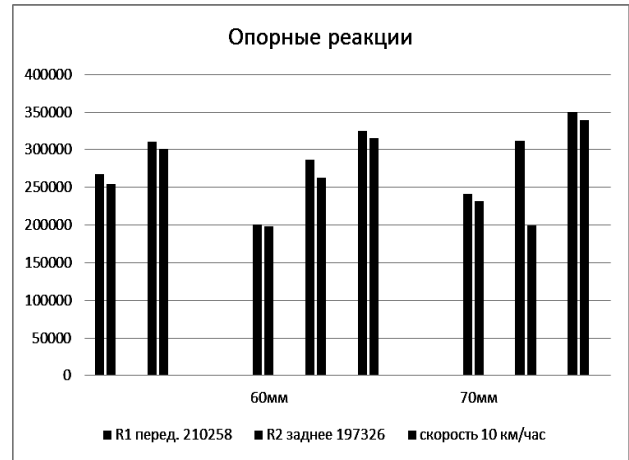


Рис. 8. Діаграма опорних реакцій на передній піввісі навантажувача.

Метою даної роботи було проведення експерименту руху колеса по опорній поверхні з перешкодою з однаковими масовими характеристиками, матеріалом та висотою і формою перешкоди. Для дослідження було взято колесо з протектором, та колесо без протектора. Дослідження було проведено у програмному комплексі Autodesk Inventor. Основні характеристики моделювання: висота та ширина перешкоди 100 мм., швидкість руху колеса 5 км/год (рис.9).

При динамічному моделюванні в програмі Autodesk Inventor було задано параметри: 3D контакт між колесом та опорною поверхнею, з'єднання колеса з опорною поверхнею з урахуванням усіх ступенів свободи.

Було проведено визначення моделювання динамічних характеристик колеса різних типів при переїзді через одиночну перешкоду.

Щоб визначити реакції в опорах, потрібно змодельовати рух колеса через перешкоду за допомогою меню динамічного моделювання та введення 3D контакту між колесом і ґрунтом та необхідними параметрами жорсткості та тертя. При моделюванні було використано дерево браузера для визначення кінематичної пари, яка відповідає за обертання коліс, побудовано графіки плавного розгону колеса за проміжок часу, та позначено тип ґрунту у вигляді базового елемен-

та, визначено матеріали та масові характеристики деталей.

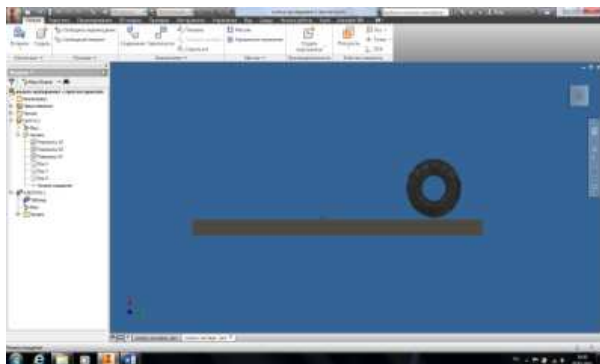


Рис. 9. Рух колеса по опорній поверхні з перешкодою.

Висновки. Розроблено методику використання програмного засобу «Autodesk Inventor» для моделювання динаміки навантажувача, яка дозволила провести наступні дослідження: переїзд через перешкоду, наїзд на неприступну перешкоду, різке гальмування навантажувача. Результатом досліджень є графічні та математичні залежності величин.

Під час досліджень була підтверджено переваги комп'ютерного моделювання ро-

бочих процесів будівельних машин. Основні з яких:

- автоматичне формування математичної моделі динаміки руху механічної системи по її інженерному опису;
- візуалізація функціонування механічної системи і значень її характеристик;
- широкі можливості управління рухом механічної системи;
- можливість вирішувати складні задачі, що пов'язані із розрахунком металокопункції;
- широкий вибір бібліотеки компонентів;
- здатність вирішувати питання в тих випадках, коли прямий фізичний експеримент неможливий.

В ході усіх випробувань було виявлено вплив маси машини і типу шин на кінематичні параметри руху. При подальшій науковій діяльності наступним кроком повинно стати аналіз адекватності моделі реальним машинам та більш ретельне дослідження впливу різноманітних факторів на результати комп'ютерного експерименту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черніков О. В., Кириченко І. Г., Москаленко А. І. Комп'ютерне моделювання та аналіз кінематичних особливостей робочого обладнання фронтального навантажувача. / О. В. Черніков, І. Г. Кириченко, А. 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 переезда фронтального погрузчика через препятствие / А. І. Москаленко, О. В. Черніков // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 88. – С. 234-238.
3. Черніков О. В., Москаленко А. І., Оболенський О. С. Дослідження руху фронтального навантажувача в пакеті Autodesk Inventor / О. В. Черніков, А. І. Москаленко, О. С. Оболенський // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 382-386.
4. Кириченко І. Г., Черніков О. В. Компьютерное моделирование дорожных машин / І. Г. Кириченко, О. В. Черніков // XIV Международная научно-техническая конференция «Прогрессивная техника, 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. Гузненков В. Н., Журбенко П. А. AUTODESK INVENTOR 2012. Трёхмерное моделирование деталей и создание чертежей / Гузненков В. Н., Журбенко П. А. // Учебное пособие. – Литресс: 2012. – 120 с.
7. Королев А. В. Компьютерное моделирование / Королев А. В. // Учебное пособие. – Бинот: 2010.
8. Левковец Л. Б. AUTODESK INVENTOR. Базовый курс на примерах / Левковец Л. Б. // Учебное пособие. – БХВ – Петербург: 2008. – 400 с.
9. Домбровский Н. Г., Гальперин М. И. Землеройно - транспортные машины / Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. // Учебник для вузов. – М: Машиностроение, 1965. - 276 с
10. Раннев А. В. Строительные машины / Раннев А. В. // Справочник. – М: Машиностроение, 1991. – 255 с.
11. Хархута Н. Я. Дорожные машины / Хархута Н. Я. // Учебник для вузов. – М: Машиностроение, 1986. – 416 с.
12. Холодов А. М. Проектирование машин для земляных работ / Холодов А. М. // Учебное пособие. – Харьков: Вища школа, 1986. – 272 с.

13. Алиева Н. П., Журбенко П. А., Сенченкова Л. С. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor / Алиева Н. П., Журбенко П. А., Сенченкова Л. С. // Учебное пособие. – М: ДМК Пресс, 2011. – 112 с.

REFERENCES

1. Chernikov O. V., Kirichenko I. G., Moskalenko A. I. *Komp'yuternye modelyuvannyya 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 perezda 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. *Doslidzhennyya 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. *Stroitelnye mashyny* [construction Machinery]. Spravochnik [Design guide]. M: Mashinostroenye, 1991.
6. 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. – 120 p.
7. Korolev A. V. *Kompyuternoe modelirovanie* [Computer Modelling]. Uchebnoe posobie [Tutorial]. Binom: 2010.
8. Levkoves L. B. *AUTODESK INVENTOR. Basoviy kurs na primerah* [AUTODESK INVENTOR. Basic course on examples]. Uchebnoe posobie [Tutorial]. M: Mashinostroenye, 2008. – 400 p.
9. Dombrovskiy N. G., Galperin M. I. *Zemleroyno – transportnye mashiny* [Earthmovers - transport vehicles]. Uchebnyk dlya vusov [textbook for high schools]. M: Mashinostroenye, 1965. – 276 p.
10. Rannev A. V. *Stroitelnye mashiny* [Building machines]. Spravochnik [Design guide]. M: Mashinostroenye, 1991. – 255 p.
11. Harhuta N. Y. *Dorognye mashyny* [Road mashines]. Uchebnyk dlya vusov [textbook for high schools]. M: Mashinostroenye, 1986. – 416 p.
12. Holodov A. M. *Proektirovanie mashin dla zemlianyh robot* [design of machines for earthworks]. Uchebnoe posobie [Tutorial]. Kharkov: vysha shkola, 1986. – 272 p.
13. Alyeva N. P., Jurbenko P. A., Senchenkova L. S. *Postroeniye 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. – 112 p.