

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.869+514.18

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.87.0.7

ОГЛЯД ДОСЯГНЕНЬ ТА НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ
КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ У ХНАДУ

Кириченко І.Г., Черніков О.В., Ходирев С.Я.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Наведено огляд створених 3D-моделей механізмів та дорожніх і будівельних машин, які були розроблені під керівництвом викладачів кафедр інженерної та комп'ютерної графіки та будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова за участі студентів та аспірантів. Проаналізовано можливості планування та проведення віртуальних експериментів щодо режимів роботи цих машин та аналізу міцності їх конструкцій. Окреслено перелік можливих завдань для вирішення методами комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, цифрова модель, віртуальний експеримент, дорожні й будівельні машини, Autodesk Inventor.

Вступ

Упровадження комп'ютерних технологій проектування було почато на механічному факультеті ХНАДУ (тоді ще ХАДІ) 1986 р. Це була мова програмування ГРАФОР, що дозволяла створювати код, за яким можна було одержувати кресленики різних деталей. 1992 р. з появою перших персональних ЕОМ почалося впровадження в навчальний процес програми AutoCAD. У цій роботі проведений аналіз упровадження в навчальний процес, курсове та дипломне проектування, а також у наукові дослідження можливостей комп'ютерного моделювання й перспективи їх подальшого використання.

Аналіз публікацій

Поступово з розвитком комп'ютерної техніки, програмного забезпечення та досвіду роботи з програмою AutoCAD почалося поетапне вивчення методів тривимірного моделювання. У період 1992–2006 рр. створення тривимірних моделей виконувалося в пакеті AutoCAD Mechanical Desktop, який дозволяв не тільки створювати 3D-моделі окремих деталей, але й складальних одиниць, а також моделювати рух деталей у процесі роботи механізму [4].

Але якісний стрибок у можливостях моделювання машин і механізмів відбувся 2006 р., коли університетом був придбаний пакет Autodesk Inventor Series. Основою цього пакета була програма Inventor Professional, що дозволяла створювати докладну цифрову модель виробу – цифровий прототип – моде-

люючи не тільки геометрію деталей, але й їх основні фізичні властивості [1–4].

Сьогодні з використанням цієї програми виконується багато різних досліджень як у навчально-освітніх цілях, так і в наукових розробках [5–11].

Мета і постановка завдання

У процесі розроблення різних моделей необхідно застосовувати найбільш ефективні методи як створення геометрії моделей, так і способи завдання складальних залежностей, які надалі дозволяють моделювати рух елементів конструкції. Від правильного використання можливостей, що представлені у програмі, залежить вірогідність і точність одержуваних результатів, а також час, затрачений на комп'ютерні експерименти.

Отже, порівняльний аналіз застосованих для створення моделей методик, узагальнення отриманих результатів і вироблення алгоритмів і методів моделювання для конкретних машин і механізмів, є досить важливою та актуальною проблемою.

Основна частина

Однією з перших моделей механізмів, виконаних у процесі вивчення пакета Inventor, був планетарний редуктор (рис. 1). Для її створення, зокрема за участі студентів, відпрацьовувалася послідовність моделювання окремих деталей, оптимізувалися підходи до створення параметричних ескізів, вивчалися можливості та особливості використання «майстрів проектування» для створення валів і зубчастих коліс.

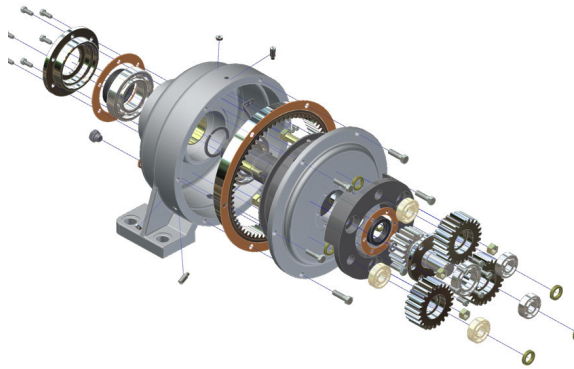
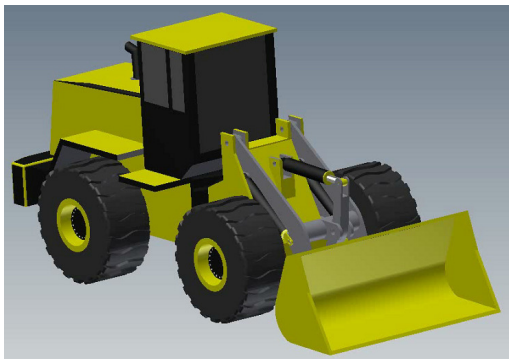
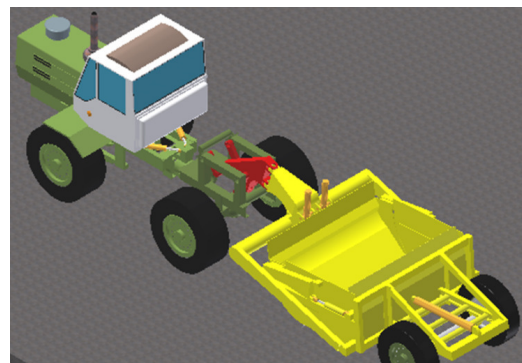


Рис. 1. Модель схеми складання редуктора

На наступному етапі були створені моделі будівельних і дорожніх машин з подальшою можливістю моделювання руху їх основних робочих механізмів і самої машини за зада-



а



б



в



г

Рис. 2. Приклади розроблених моделей машин для земляних робіт

З виходом нових версій програми (починаючи з 2011 р.), у яких було додане середовище динамічного моделювання та розрахунків на основі методу скінченних елементів, з'явилася можливість не просто моделювати рух механізму, а й проводити віртуальні експерименти з розробленими цифровими прототипами. Важливим аспектом досліджень у цих питаннях стає визначення необхідної деталізації моделей і припустимих спрощень. Насамперед ми навчилися досліджувати стійкість машин на дорогах і площадках з різним позовжнім та/або поперечним ухилом, визначати кути перекидання в разі різних поло-

леждь заданою траєкторією. Також створені (і продовжують допрацьовуватися) елементи кривошипно-шатунних, важільних, маятникових та інших механізмів. Розроблені моделі та правила завдання складальних залежностей стають основою для виконання студентами курсових і дипломних проектів.

На поточний момент створені моделі (див. рис. 2) фронтального навантажувача (а), скрепера (б), екскаватора (в), автогрейдера (г), а також деяких інших машин.

Ці роботи представлялися на конференціях і конкурсах різних рівнів і завжди викликали інтерес (докладніше див. [12]).

На рис. 3 розглянуті опорні реакції, що виникають на рамі автогрейдера за умови зустрічі з непереборною перешкодою. На рис. 4 наведена модель фронтального навантажувача та комп'ютерні експерименти з визначення його стійкості. На рис. 5 досліджена кінематика роботи автопідйомника та моделювання траєкторії для досягнення заданих точок.

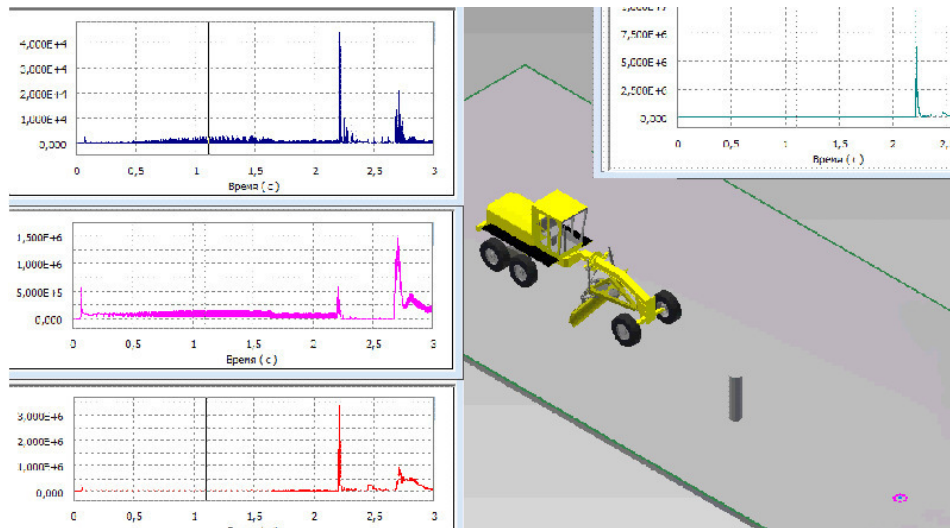


Рис. 3. Визначення опорних реакцій автогрейдера

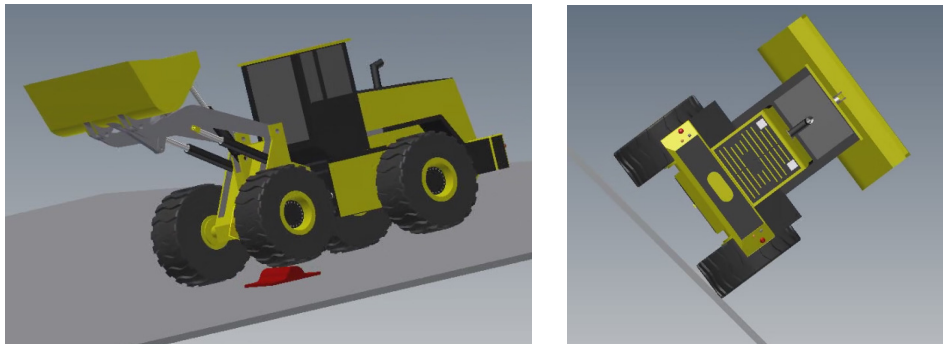


Рис. 4. Визначення поперечної стійкості

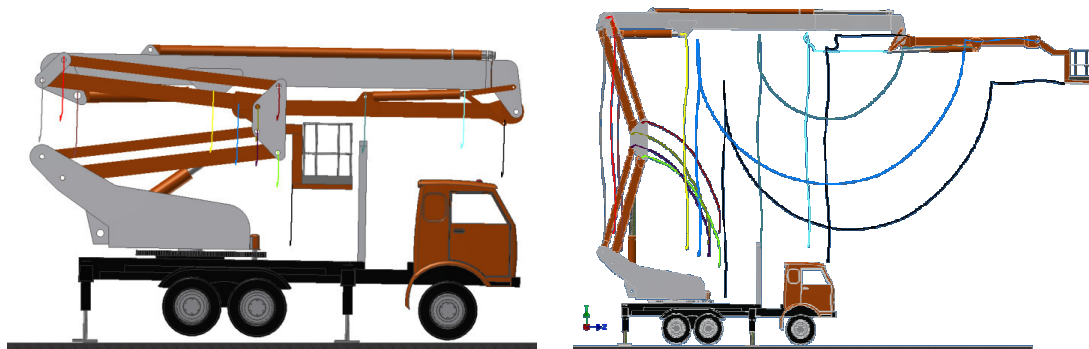


Рис. 5. Кінематичні дослідження мобільного підйомника

Останні роботи присвячені дослідженням питань відповідності комп'ютерних моделей та їх фізичних прототипів. Розглядаються можливості припустимих спрощень реальних моделей та оцінки похибок, що виникають за умови таких спрощень.

Цього року здійснений перехід на використання наступної версії програми Inventor (2018), у яку може бути впроваджений прогресивний розрахунковий модуль NASTRAN in CAD.

Проводиться аналіз нових можливостей, виправлених помилок і неточностей попередніх версій; розглядаються нові варіанти вирішення поставлених завдань, зокрема робота з моделями, створеними в інших пакетах (Solid Works, Компас) і передача моделей для розрахунків у пакет ANSYS.

Висновки

Комп'ютерне моделювання дозволяє вирішувати великий спектр інженерних і дослі-

дницьких завдань. Геометричне моделювання пророблене найбільш глибоким чином і його подальший розвиток полягає у створенні параметричних сімейств деталей і вузлів для можливості вибору оптимальних розмірів об'єктів. Набагато складніше виглядають завдання з моделювання поведінки машин, їх вузлів, агрегатів і складових частин. Ці завдання можуть бути вирішені тільки методом послідовного наближення віртуальних об'єктів (комп'ютерних моделей) до реальних машин. Однак багато завдань дослідницького характеру можуть бути успішно вирішені вже зараз, що й показано в цій статті. Проте автори вважають, що на сучасному етапі варто провести комп'ютерні дослідження фізичних явищ щодо конструкцій будівельних і дорожніх машин. Необхідно також розглянути можливість трансляції 3D-моделей машин у програмні продукти, що дозволяють виконувати розрахунки та математичні дослідження із заданих наукових напрямів, такі як MatLab, Simulink і подібні. Результати цих робіт будуть представлені в наступних публікаціях.

Література

1. Черніков О.В. Використання можливостей параметричного моделювання пакету Inventor в наукових дослідженнях та навчальному процесі. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ: КНУБА, 2008. Вип. 80. С. 98–102.
2. Кириченко І.Г. Особенности компьютерного моделирования операций функционально-технологического анализа. *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов*. Днепропетровск: ПГАСА, 2010. Вип. 57. С. 19–21.
3. Кириченко І.Г. Компьютерное и физическое моделирование строительных и дорожных машин. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. трудов*. Харьков: ХНАДУ, 2014. Вип. 65–66. С. 16–20.
4. Кириченко І.Г., Черников А.В. Анализ программных средств компьютерного проектирования строительных и дорожных машин. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. трудов*. Харьков: ХНАДУ, 2014. Вип. 65–66. С. 68–74.
5. Єфіменко О.В., Мусаєв З.Р. Моделювання робочих процесів однокішшових навантажувачів за допомогою «Autodesk Inventor». *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. трудов*. Харьков: ХНАДУ, 2016. Вип. 73. С. 220–224.
6. Черников А.В., Рагулин В.Н. Применение современных технологий компьютерного моделирования в исследовании подвески рабочего оборудования автогрейдера. *Сучасні проблеми моделювання: збірник наукових праць*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016. Вип. 7. С. 172–177.
7. Черніков О.В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. трудов*. Харьков: ХНАДУ, 2016. Вип. 73. С. 239–244.
8. Єфіменко О.В., Плугіна Т.В., Мусаєв З.Р. Аналіз кінематики робочого обладнання малогабаритного навантажувача ПМТС-1200 на основі комп'ютерного моделювання. *Автомобільний транспорт: сб. науч. трудов*. Харьков: ХНАДУ, 2017. Вип. 40. С. 134–138.
9. Черніков О.В. Особливості викладання дисциплін з геометричного і комп'ютерного моделювання в сучасній інженерній підготовці. *Прикл. геометрія та інж. графіка*. Київ: КНУБА, 2018. Вип. 94. С. 128–131.
10. Черніков О.В. Завдання та перспективи навчання студентів сучасним методам комп'ютерного моделювання. *Наукові праці Всеукраїнської науково-практичної конференції «Застосування сучасних систем автоматизованого проектування в конструкторській та дослідницькій практиці»* (30.04.2019). Харків: ХНАДУ, 2019. С. 42–44.
11. Черніков О.В., Бриль П.І., Михайлов О.І. Комп'ютерне моделювання об'єктів, що змінюють свою форму в процесі роботи (на прикладі пневматичної шини та гусениці). *Сучасні проблеми моделювання: збірник наукових праць*. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019. Вип. 14. С. 186–192.
12. Досягнення студентів ХНАДУ в галузі 3D-моделювання. URL: old-mf.khadi.kharkov.ua/kafedry/inzhenernoi-i-kompjuternoi-grafiki/studencheskie-dostizhenija.html (дата звернення: 30.08.2019).

References

1. Chernikov O.V. Vykorystannja mozhlyvostej parametrychnogo modeljuvannja paketu Inventor v naukovykh doslidzhennjah ta navchal'nomu procesi [Implementation of parametric simulation of Inventor package possibilities in scientific researches and educational process] *Prykladna geometrija ta inzhenerna grafika [Applied Geometry and Engineering Graphics]*, Kyiv, KNUBA, 2008, vyp. 80. P. 98–102. [in Ukraine].
2. Kirichenko I.G. Osobennosti komp'uternogo modelirovaniia operatsii funktsional'no-tekhnologicheskogo analiza [Features of computer simulation of functional technological analysis operations] *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauchn. trudov [Construction, materials science, engineering: collection of sci.*

- papers*], Dnepropetrovsk, PGASA, 2010, vyp. 57. P. 19–21. [in Russian].
3. Kirichenko I.G. Komp'uternoe i fizicheskoe modelirovanie stroitel'nykh i dorozhnykh mashin [Computer and physical modeling of construction and road machines] *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta: sb. nauch. tr.* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University: collection of sci. papers], vyp. 65–66, Khar'kov, KhNADU, 2014. P. 16–20. [in Russian].
 4. Kirichenko I.G., Chernikov A.V. Analiz programnykh sredstv komp'uternogo proektirovaniia stroitel'nykh i dorozhnykh mashin [Analysis computer aided design programs for construction and road machinery] *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta: sb. nauch. tr.* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University: collection of sci. papers], Khar'kov, KhNADU, 2014, vyp. 65–66. P. 68–74. [in Russian].
 5. Jefymenko O.V., Musajev Z.R. Modeljuvannja robochych procesiv odnokivshovyh navantazhuvachiv za dopomogoju «Autodesk Inventor» [Simulation of workflows of one-bucket loaders with the help of «Autodesk Inventor»] *Vestnyk Har'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo unyversyteta: sb. nauch. tr.* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University: collection of sci. papers], Har'kov, HNADU, 2016, vyp. 73, P. 220–224. [in Ukraine].
 6. Chernikov A.V., Ragulin V.N. Primenenie sovremennykh tekhnologii komp'uternogo modelirovaniia v issledovanii podveski rabocheho oborudovaniia avtogreidera [Application of modern technologies computer modeling in the study of suspension equipment of the motor-graders] *Suchasni problemi modeliuвання: zbirnik naukovikh prats'* [Modern problems of modeling: collection of sci. papers], vipusk 7, Melitopol', MDPU im. B. Khmel'nits'kogo, 2016. P. 172–177. [in Russian].
 7. Chernikov O.V. Vprovadzhennja suchasnyh tehnologij komp'uternogo modeljuvannja v navchal'nyj proces HNADU [Implementation of modern technologies of computer design in the educational process KhNAHU] *Vestnyk Har'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo unyversyteta: sb. nauch. tr.* [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University: collection of sci. papers], Har'kov, HNADU, 2016, vyp. 73. P. 239–244. [in Ukraine].
 8. Jefymenko O.V., Plugina T.V., Musajev Z.R. Analiz kinematyky robochoho obladnannja malogabarytnogo navantazhuvacha PMTS-1200 na osnovi komp'uternogo modeljuvannja [Analysis of the kinematics of the work equipment of a small-size loader PMTS-1200 based on computer simulation] *Avtomobil'nyj transport: sb. nauch. tr.* [Automobile transport: collection of sci. papers], Har'kov, HNADU, 2017, vyp. 40. P. 134–138. [in Ukraine].
 9. Chernikov O.V. Osoblyvosti vykladannja dyscyplin z geometrychnogo i komp'uternogo modeljuvannja v suchasnij inzhenernij pidgotovci [Peculiarities of teaching disciplines on geometric and computer modeling in modern engineering training] *Prykl. geometrija ta inzh. grafika* [Applied Geometry and Engineering Graphics], Kyiv, KNUBA, 2018, vyp. 94. P. 128–131. [in Ukraine].
 10. Chernikov O.V. Zavdannja ta perspektyvy navchannja studentiv suchasnym metodam komp'uternogo modeljuvannja [Tasks and prospects of students' education with modern computer modeling methods] *Naukovi praci Vseukrai'ns'koi' naukovo-praktychnoi' konferencii' «Zastosuvannja suchasnyh system avtomatyzovanogo proektuvannja v konstruktors'kij ta doslidnyckij praktyci»* (30.04.2019 r.). [Scientific Papers of the All-Ukrainian Scientific-Practical Conference "Application of modern computer-aided design systems in design and research practice"], Harkiv's'kyj nacional'nyj avtomobil'no-dorozhnyj unyversytet, Harkiv, HNADU, 2019. P. 42–44. [in Ukraine].
 11. Chernikov O.V., Bryl' P.I., Myhajlov O.I. Komp'juterne modeljuvannja ob'ektiv, shho zminjujut' svoju formu v procesi roboty (na prykladi pnevmatychnoi' shyny ta gusenyci) [Computer simulation of objects changing their form in the process of work (on the example of pneumatic tire and track)] *Suchasni problemy modeljuvannja: zbirnyk naukovykh prac'* [Modern problems of modeling: collection of sci. papers], vypusk 14, Melitopol', MDPU im. B. Hmel'nyc'kogo, 2019. P. 186–192. [in Ukraine].
 12. Dosjagnennja studentiv HNADU v galuzi 3D-modeljuvannja. URL: old.mf.khadi.kharkov.ua/kafedry/inzhenernoi-i-kompjuternoi-grafiki/studencheskie-dostizhenija.html (accessed 30.08.2019). [in Ukraine].
- Кириченко Ігор Георгійович**, д.т.н., професор, +380(67) 705-54-74, igk160450@gmail.com,
Черніков Олександр Вікторович, д.т.н., професор, +380(67) 578-23-12, cherni@khadi.kharkov.ua.
 Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002 МСП, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.
Ходирєв Сергій Якович, к.т.н., професор, +38 (057) 700-38-56, admin@khadi.kharkov.ua,
 Харківський національний автомобільно-дорожній університет
- Review of achievements and research directions in computer modeling of machines and mechanisms in KhNAHU**
Abstract. *The paper presents the implementation of computer-aided design technologies in the educa-*

tional process, diploma design, as well as in scientific researches. It is underlined that a qualitative leap in the possibilities of modeling machines and mechanisms occurred in 2006, with the start of the Autodesk Inventor Series package using. It allowed creating a detailed model of the product – a digital prototype – simulating not only the geometry but also the basic physical properties of the parts. An important and actual **problem** is the analysis of the methods used for models creations, the generalization of the results obtained and the development of algorithms and modeling methods for specific machines and mechanisms. The created models of construction and road machines were described, as well as the elements of a crank, link, pendulum, and other mechanisms. With the addition of a dynamic modeling environment and calculations based on the finite element method, it became possible not only to simulate motion but to conduct virtual experiments with developed digital prototypes. First of all, it is the study of the stability of machines, the determination of tip-ping angles, the analysis of forces and support reactions in the elements of running equipment when overcoming obstacles. In **conclusion**, it was noted that computer modeling makes possible to solve a wide range of engineering and research problems. Geometric modeling is worked out most deeply, and the task is to create parametric families of parts. It is more difficult to model the behavior of machines, their components, assemblies and components. These problems should be solved by the method of successive approximation of virtual objects to real machines with acceptable simplifications. It is also necessary to conduct computer studies of physical phenomena as applied to the design of construction and road machines, including the possibility of integration with settlement systems (such as MatLab, Simulink, Ansys). The **results** of the research will be presented in future publications.

Key words: computer simulation, digital model, virtual experiment, road and construction machines, Autodesk Inventor.

Kyrychenko Ihor, Doct. of Science, Professor, +380 (67) 705-54-74, igk160450@gmail.com,

Chernikov Oleksandr, Doct. of Science, Professor, +380 (67) 578-23-12, cherni@khadi.kharkov.ua. Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudroho str., Kharkiv COM, 61002, Ukraine.

Khodyriev Serhii Yakovych, Ph.D., Prof., +38 (057) 700-38-56, admin@khadi.kharkov.ua, Kharkiv National Automobile and Highway University

Обзор достижений и направления исследований компьютерного моделирования машин и механизмов в ХНАДУ

Аннотация. Приведен обзор созданных 3D-моделей механизмов и дорожных и строительных машин, которые были разработаны под руководством преподавателей кафедр инженерной и компьютерной графики и строительных и дорожных машин им. А.М. Холодова с участием студентов и аспирантов. Проанализированы возможности планирования и проведения виртуальных экспериментов относительно режимов работы этих машин и анализа прочности их конструкций. Определен перечень возможных задач для решения методами компьютерного моделирования.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, цифровая модель, виртуальный эксперимент, дорожные и строительные машины, Autodesk Inventor.

Кириченко Игорь Георгиевич, д.т.н., профессор, +380 (67) 705-54-74, igk160450@gmail.com,

Черников Александр Викторович, д.т.н., профессор, +380 (67) 578-23-12, cherni@khadi.kharkov.ua. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002 ГСП, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Ходырев Сергей Яковлевич, к.т.н., профессор, тел. +38 (057) 700-38-56, admin@khadi.kharkov.ua, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет