

УДК 621.863.2

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ОДНОКІВШОВИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ ЗА ДОПОМОГОЮ «AUTODESK INVENTOR»

**О.В. Єфименко, доц., к.т.н., З.Р. Мусаєв, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

Анотація. Наведено результати комп'ютерного моделювання робочих процесів одноківшових навантажувачів за допомогою програмного комплексу Autodesk Inventor. Цей метод моделювання дозволяє досліджувати складні системи та механізми в тих випадках, коли прямий фізичний експеримент є неможливим.

Ключові слова: моделювання, робочий процес, віртуальна лабораторія, Inventor.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ОДНОКОВШОВЫХ ПОГРУЗЧИКОВ С ПОМОЩЬЮ «AUTODESK INVENTOR»

**А.В. Ефименко, доц., к.т.н., З.Р. Мусаев, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

Аннотация. Приведены результаты компьютерного моделирования рабочих процессов одноковшовых погрузчиков с помощью программного комплекса Autodesk Inventor. Данный метод моделирования позволяет исследовать сложные системы и механизмы в тех случаях, когда прямой физический эксперимент невозможен.

Ключевые слова: моделирование, рабочий процесс, виртуальная лаборатория, Inventor.

SIMULATING WORKING PROCESSES OF SINGLE-BUCKET LOADERS USING AUTODESK INVENTOR

**A. Yefimenko, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.), Z. Musaiev, P. G.,
Kharkiv National Automobile and Highway University**

Abstract. The results of simulating the working processes of single-bucket loaders using Autodesk Inventor are given. This method of computer modeling offers the possibility of investigating complex systems and mechanisms in cases when direct physical experiment is impossible.

Key words: simulation, working process, virtual laboratory, Inventor.

Вступ

Актуальність роботи пояснюється тенденцією розвитку комп'ютерних технологій в інженерній діяльності. Так, за допомогою різноманітних програмних продуктів вирішуються складні задачі, пов'язані із проектуванням будівельної та дорожньої техніки. Зокрема у цій статті розглянуто моделювання робочого процесу навантажувача як одного з найпоширеніших агрегатів, що використовуються під час будівництва доріг та їх експлуатації. Робота спрямована на підви-

щення ефективності функціонування навантажувачів і збільшення надійності та якості виконання робіт.

Аналіз публікацій

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 нештат-

них ситуацій, що виникають у 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]. Було розроблено методика застосування комп'ютерних технологій при моделюванні переїзду навантажувача через перешкоду [2]. Було проведено дослідження моделювання руху фронтального навантажувача у пакеті Autodesk Inventor [3]. Також виявлено переваги комп'ютерного моделювання дорожніх машин [4].

Мета і постановка завдання

Метою роботи є підвищення ефективності проектування будівельних та дорожніх машин за рахунок використання методів комп'ютерного моделювання, за допомогою середовища динамічного аналізу програмного комплексу Autodesk Inventor.

Експериментальні дослідження

Розрахунок вузлів та деталей навантажувача ведуть при заглибленні ковша у штабель матеріалу. Візьмемо, що дно ковша при цьому встановлено під кутом 5° до робочого майданчика.

Основне розрахункове положення показано на рис. 1. Візьмемо, що удар краю ковша по важкопрохідній перешкоді відбувається, коли навантажувач здійснює рух по горизонтальній поверхні, у той час, коли гідроциліндри замкнені.

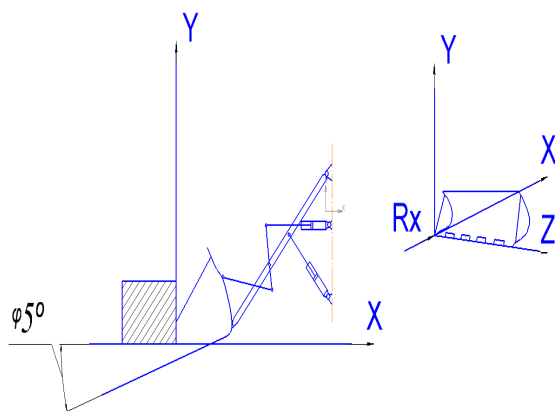


Рис. 1. Розрахункові положення і зовнішні навантаження

Бічну складову сил опору при розрахунку не враховують – для найбільш поширених схем робіт і конструкцій навантажувачів її величина та частота є порівняно невеликими.

Величина горизонтального зусилля R_X визначається тяговим зусиллям трактора, масою машини і швидкістю руху

$$R_X = R_{XC} + R_{XD} = 225 + 176 = 401 \text{ кН}, \quad (1)$$

де R_{XC} – статичне напірне зусилля навантажувача, що дорівнює номінальному тяговому зусиллю базового трактора або тягача ($R_{XC} = T_H$); R_{XD} – динамічне зусилля.

$$R_{XD} = V_p \sqrt{C \cdot M} = 0,8 \sqrt{20,19 \cdot 2398,37} = 176 \text{ кН}, \quad (2)$$

де C – приведена жорсткість; M – наведена маса навантажувача з урахуванням обертальних мас двигуна і трансмісії; V_p – робоча швидкість заглиблення ковша у штабель матеріалу, м/с. Наведена жорсткість визначається жорсткістю навантажувального обладнання і можливих перешкод.

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{25 \cdot 105}{25 + 105} = 20,192 \text{ кН/см}, \quad (3)$$

де C_1 – жорсткість навантажувального обладнання; C_2 – жорсткість перешкоди. Величину жорсткості для найбільш поширеного навантажувального обладнання можна орієнтовно визначити за формулою

$$C = k_c \cdot G_n = 0,001 \cdot 25000 = 25 \text{ кН/см}, \quad (4)$$

де k – коефіцієнт жорсткості обладнання на 1 кг маси, рівний 0,001.

Отримане значення горизонтального зусилля R_X не повинно перевищувати розрахункового тягового зусилля навантажувача по зчпній вазі. Якщо

$$T_H + V_p \sqrt{C \cdot M} \geq G_n \varphi,$$

то

$$R_X = G_n \cdot \varphi_{\max}, \quad (5)$$

$$R_X = 225000 \cdot 0,8 = 180000 \text{ Н}, \quad (6)$$

де M – наведена маса; φ_{\max} – найбільший коефіцієнт зчеплення, що розвивається рушійми. Для гусеничних тягачів φ_{\max} становить 1,1, для пневмоколісних – 0,8.

Користуючись даними розрахунку на міцність, докладаємо відомих зусиль по осі крайнього зуба ковша навантажувача. Фіксацію проводимо в місцях кріплення до порталу і в місцях кріплення гідроциліндрів підйому стріли до стріли.

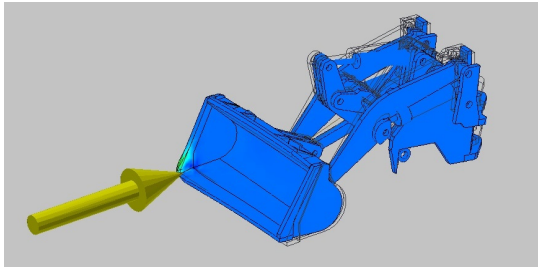


Рис. 2. Аналіз робочого обладнання навантажувача на міцність при заглибленні ковша і динамічному ударі

Відповідальним етапом проектування є передача побудованої тривимірної моделі у середовище динамічного моделювання «Autodesk Inventor». Наступним кроком є класифікація отриманих складальних одиниць на рухомі та нерухомі об'єкти [5]. Після того, як з'ясовано, які деталі є рухомими, проведемо повний кінематичний аналіз моделі. Отримавши ці дані, необхідно за допомогою шарнірів з'єднати деталі в кінематичні пари та задати закон руху машини за допомогою графіка (рис. 3).

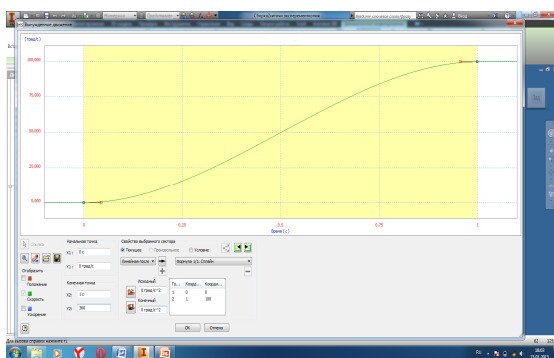


Рис. 3. Графік руху навантажувача за заданим законом

Окрім вищезгаданих параметрів, потрібно задати 3D-контакт між колесами й опорною поверхнею та вказати необхідні параметри жорсткості й тертя (рис. 4).

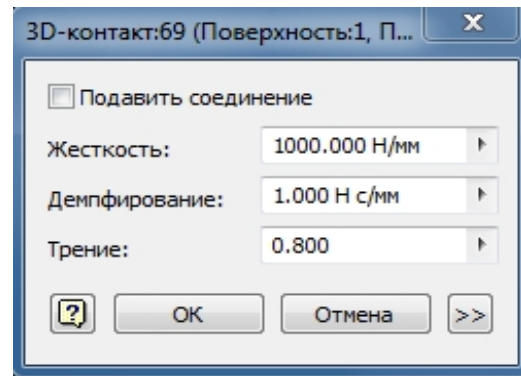


Рис. 4. Параметри контакту між колесами навантажувача та опорною поверхнею

Якщо модель навантажувача має велику кількість комплектуючих елементів, що заважають швидкому розрахунку, то таку модель можна спростити. Для цього потрібно викликати відповідну команду та об'єднати кілька незначних елементів в один (рис. 5).

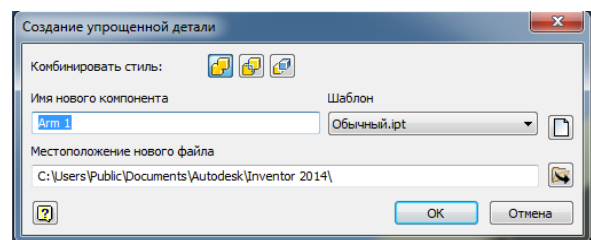


Рис. 5. Створення спрощеної моделі

Приведена модель дозволяє виконати попередній аналіз конструкції.

На рис. 4–6 показано зусилля що виникають у колесах під час руху навантажувача масою 25 т, за швидкості 15 км/год та при ударі робочого устаткування об важкопрохідну перешкоду у вигляді штабеля матеріалу.

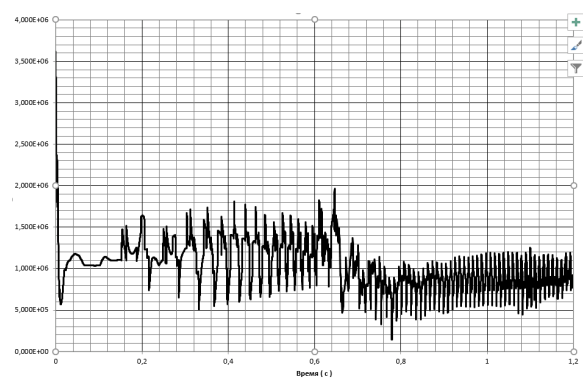


Рис. 6. Осцилограма опорних реакцій на передній півосі машини

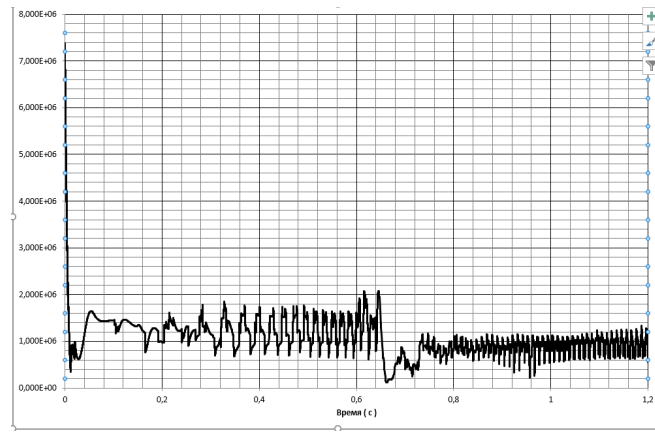


Рис. 7. Осцилограма опорних реакцій на задній півосі навантажувача

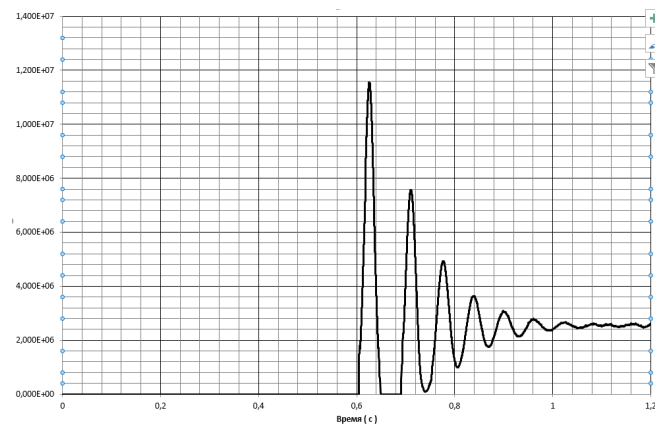


Рис. 8. Осцилограма опорних реакцій при заглибленні ковша у штабель матеріалу

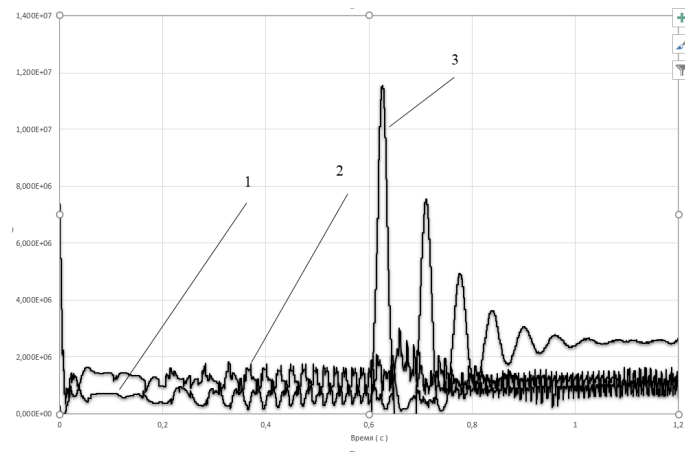


Рис. 9. Реакції на передніх (1), задніх (2) осях навантажувача та при зіткненні робочого обладнання з перешкодою (3)

Спрощена модель дозволяє виконувати складні операції з досліджуванним об'єктом у тих випадках, коли віртуальний експеримент з великою кількістю комплектуючих елементів вимагає відповідного об'єму оперативної пам'яті комп'ютера. Впровадження технології аналізу динаміки висуває вирішення завдань на новий рівень, що дозволяє спрости-

ти і прискорити математичне моделювання та підвищити ефективність розробки машин. Був проведений розрахунок на міцність, динамічний аналіз та розрахунок за допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі Autodesk Inventor. Також було отримано осцилограми опорних реакцій на основі визначених кінематичних пар. Побу-

довано графіки плавного розгону навантажувача за певний проміжок часу, визначено матеріали та масові характеристики деталей.

Висновки

Під час досліджень було підтверджено переваги комп'ютерного моделювання робочих процесів будівельних машин, основними з яких є:

- автоматичне формування математичної моделі динаміки руху механічної системи за її інженерним описом;
- широкий вибір бібліотеки компонентів;
- здатність вирішувати питання в тих випадках, коли прямий фізичний експеримент є неможливим.

У подальших дослідженнях планується провести аналіз адекватності моделі реальним машинам та більш ретельне дослідження впливу різноманітних факторів на результати комп'ютерного експерименту.

Література

1. Черніков О.В. 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. – 2010. – Вип. 86. – С. 107–111.
2. Москаленко А.И. Применение компьютерных технологий при моделировании переезда фронтального погрузчика через препятствие / А.И. Москаленко, О.В. Черников // Прикл. геометрия та інж. графіка. – 2011. – Вип. 88. – С. 234–238.
3. Черніков О.В. Дослідження руху фронтального навантажувача в пакеті Autodesk Inventor / О.В. Черніков, А.І. Москаленко, О.С. Оболенський // Прикл. геометрия та інж. графіка. – 2012. – Вип. 89. – С. 382–386.
4. Кириченко И.Г. Компьютерное моделирование дорожных машин / И.Г. Кириченко, О.В. Черников // Прогрессивная техника, технология и инженерное образование: материалы XIV Международной научно-технической конференции. – Севастополь, 25–28 июня 2013 г. – Киев: НТУУ «КПИ», 2013. – Ч. 2. – С. 46–48.
5. Гузненков В.Н. Autodesk Inventor 2012. Трёхмерное моделирование деталей и создание чертежей: учебное пособие / В.Н. Гузненков, П.А. Журбенко. – М.: Литресс, 2012. – 150 с.

Рецензент: О.В. Черніков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 12 березня 2016 р.