

УДК 621.878.4

## АНАЛІЗ КІНЕМАТИКИ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ МАЛОГАБАРИТНОГО НАВАНТАЖУВАЧА ПМТС 1200 НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

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

*Анотація.* Актуальність роботи пов'язана з тенденцією розвитку інформаційних технологій та впровадження їх у проектування робочих процесів машин та механізмів. Розглянуто можливість порівняння математичних розрахунків з віртуальним експериментом, а також необхідність застосування комп'ютерного моделювання у тих випадках, коли при прямому фізичному експерименті виникають труднощі.

*Ключові слова:* моделювання, робочий процес, експеримент, розрахунок, аналіз, кінематика.

## АНАЛИЗ КИНЕМАТИКИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ПОГРУЗЧИКА ПМТС 1200 НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

*Аннотация.* Актуальность работы связана с тенденцией развития информационных технологий и внедрения их в проектирование рабочих процессов машин и механизмов. Рассмотрена возможность сравнения математических расчетов с виртуальным экспериментом, а также необходимость применения компьютерного моделирования в тех случаях, когда при прямом физическом эксперименте возникают трудности.

*Ключевые слова:* моделирование, рабочий процесс, эксперимент, расчет, анализ, кинематика.

## ANALYSIS OF THE CINEMATICS OF PMTS 1200 COMPACT LOADER WORKING EQUIPMENT USING COMPUTER SIMULATION

O. Yefymenko, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), T. Pluhina, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),  
Z. Musaiev, P. G., Kharkov National Automobile and Highway University

*Abstract.* The topicality of the research is explained by the tendency of using information technologies and their implementation in the process of designing working machines and mechanisms. The possibility of comparing mathematical calculations with the virtual experiment as well as the need for computer modeling in cases where the working process of physical experiment is difficult has been considered in the given work. The consistency and formalization of the computer model of compact loader operating equipment, which makes it possible to identify the basic properties of the object under study (or a whole class) is considered.

*Key words:* simulation, working process, experiment, calculation, analysis, cinematics.

### Вступ

Актуальність роботи пов'язана з тенденцією розвитку інформаційних технологій та впровадження їх у проектування робочих проце-

сів БДМ. Так, за допомогою різноманітних програмних продуктів вирішуються складні задачі, пов'язані із проектуванням машин та механізмів. Впровадження технології аналізу динаміки робочих і транспортних режимів

будівельних та дорожніх машин дозволяє вивести вирішення завдань динамічного аналізу на новий якісний рівень. Використання методів кінцевих елементів та програмних засобів застосування комп'ютерних програм дозволить моделювати динаміку БДМ та проводити експерименти за допомогою персонального комп'ютера. Зокрема у нашій статті було розглянуто малогабаритний навантажувач з бортовим поворотом ПМТС 1200. Технологія автоматизованого динамічного аналізу дозволяє спростити і прискорити вирішення завдань математичного моделювання і, зрештою, істотно підвищити ефективність розробки нової науково-технічної продукції. Тому в першу чергу ця робота спрямована на підвищення ефективності функціонування БДМ та збільшення надійності й 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 нештатних ситуацій, що виникають у процесі експлуатації існуючих виробів. Роботи О.В. Чернікова, І.Г. Кириченка 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], виявлено переваги використання комп'ютерного моделювання дорожніх машин [4]. Досліджено деформацію пневматичної шини колеса при взаємодії з твердою опорною поверхнею. Необхідним є врахування усіх технічних характеристик та конструктивних особливостей при моделюванні того чи іншого механізму за допомогою комп'ютера.

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є підвищення ефективності проектування БДМ за рахунок використання комп'ютерного моделювання. Необхідно створити тривимірну модель робочого обладнання засобами САПР і зробити кінематич-

ний розрахунок за допомогою програмних засобів. У результаті проведення аналізу САПР з'ясувалося, що найбільш прийнятною програмою тривимірного проектування є «Autodesk Inventor», завдяки її широким можливостям і простоті використання, а саме:

– можливості проектування зверху вниз (починаючи від проектування складального вузла і закінчуючи проектуванням деталей, які в нього входять), або проектування знизу вгору, проектуючи по одній деталі в кожен момент часу. Конструктор може використовувати одночасно вже спроектовані деталі та схематичні залежності у тривимірному просторі, щоб можна було заздалегідь побачити, як все буде працювати до розробки кінцевої версії взаємозв'язків деталей.

– Нова внутрішня сегментація бази даних (яка є дещо спрощеною, але система САПР ні що інше, як інтелектуальний інтерфейс, призначений для створення записів баз даних, кожна з яких є елементом конструкції), яка організовує дані таким чином, щоб завантажувалися тільки елементи і функціональність кожного об'єкта, необхідного в даний момент часу. Таким чином, збірки у 3000 компонентів завантажуються за кілька секунд замість багатьох хвилин.

Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати типову структуру ПМТС 1200; визначити основні елементи складної моделі; визначити етапи моделювання; проаналізувати існуючі інструментальні засоби реалізації задач моделювання та висунути вимоги щодо їх функціонування. У поданій роботі розглянуто, насамперед, кінематику робочого обладнання навантажувача, а саме зусилля, які будуть виникати у гідроциліндрах підйому ковша у той час, коли на робоче обладнання діє вертикальна сила. У роботі дано кінематичну схему робочого обладнання для визначення діючих зусиль математично, на основі якої побудовано спростовану тривимірну модель робочого обладнання згідно з конструкторською документацією навантажувача. Розглядаються, насамперед, положення робочого органу при роботі верхніх гідроциліндрів. А саме, підйом та опускання ковша на кожні 10 градусів від останнього положення. У майбутньому планується детально спланувати фізичний експеримент на дослідному зразку та порівняти отримані дані з комп'ютерним аналізом.

### Розрахунок кінематики робочого обладнання навантажувача математичним методом

У роботі було розглянуто кілька положень порожнього ковша під час його підйому з урахуванням масових параметрів та без ура-

хування мас деталей стріли. Для цього було побудовано кінематичну схему, зображену на рис. 1. Було складено рівняння рівноваги для врахування зусиль, що виникають у гідроциліндрі. Таким саме чином розраховано й інші положення робочого обладнання.

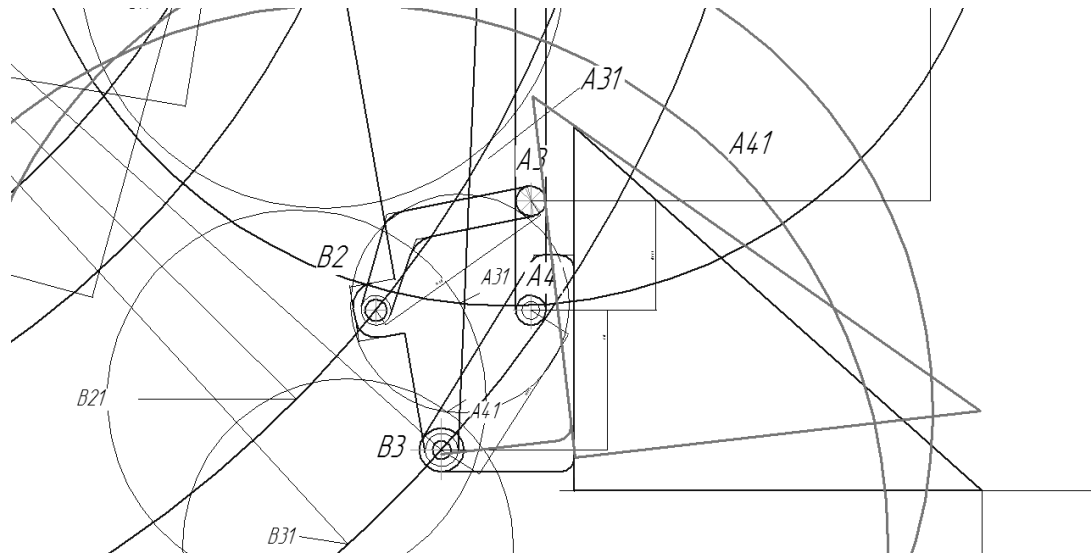


Рис. 1. Геометричні побудови положення робочого обладнання навантажувача при підйомі ковша на 10 градусів

Після усіх необхідних проміжних розрахунків складаємо рівняння рівноваги по відношенню до усіх залежних компонентів металоконструкції від вертикального зусилля  $P$ . [5]. На вході маємо такі дані

$$\left[ \begin{array}{l} B31 \perp P = 980,09 \text{ мм} \\ B31 \perp A31A41 = 208,95 \text{ мм} \\ B21 \perp A31A41 = 301,66 \text{ мм} \\ B21 \perp A21A31 = 285,31 \text{ мм} \\ A1 \perp A21A31 = 315,63 \text{ мм} \\ A1 \perp A11A21 = 380,63 \text{ мм} \end{array} \right. \quad (1)$$

Далі вираховуємо рівняння рівноваги для ковша

$$R_{A31A41} = \frac{P \times 980,09}{208,95} = 4,6905 \text{ Н.} \quad (2)$$

Розрахункове зусилля для важеля B2A3

$$R_{A21A31} = \frac{301,66 \times 4,6905}{285,31} = 4,9592 \text{ Н.} \quad (3)$$

Розрахункове зусилля у гідроциліндрі

$$R_{A1A11} = \frac{4,9592 \times 315,63}{380,69} = 4,1116 \text{ Н.} \quad (4)$$

Перерахуємо отримані зусилля з урахуванням маси робочого органу (318 кг) й отримаємо зусилля у гідроциліндрі

$$R_{A1A11} = 5,440 \text{ Н.} \quad (5)$$

Розрахувавши усі положення, маємо такі дані:

- у першому положенні – 5,440 Н;
- у другому положенні – 5,380 Н;
- у третьому положенні – 5,500 Н;
- у четвертому положенні – 6,800 Н.

Слід зазначити, що за принципом будівельної механіки в усіх розрахункових положеннях зусилля будуть у  $n$  разів більше, ніж діюче навантаження на робочому органі. А саме, у першому положенні – у 5,440 рази, у другому положенні – у 5,380 рази та, відповідно, у третьому та четвертому у 5,500 та 6,800 рази більше.

**Комп'ютерне моделювання кінематики робочого обладнання малогабаритного навантажувача та порівняння результатів з математичними розрахунками**

Початковим етапом є побудова якомога більш детальної 3D-моделі навантажувача за допомогою використання програми «Autodesk Inventor».

Відповідальним етапом є експорт побудованої тривимірної моделі (рис. 2) у середовище динамічного моделювання. Основна вимога – зберігання масово-інерційних характеристик складальних одиниць тривимірної моделі після експорту. Наступним етапом є класифікація отриманих складальних одиниць на рухомі та нерухомі об'єкти.

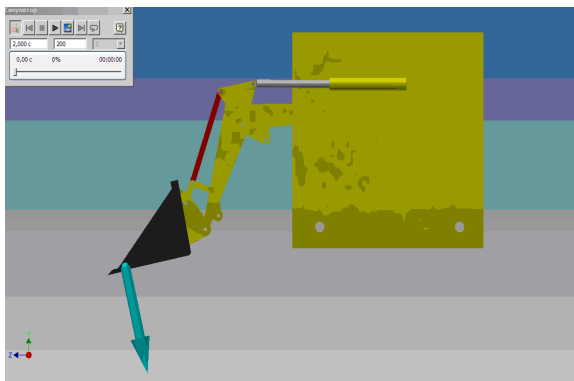


Рис. 2. Спрощена комп'ютерна модель робочого обладнання навантажувача з вертикальною силою, що діє на робочий орган

Після повного кінематичного аналізу усіх положень моделі маємо такі графіки (рис. 3–6).

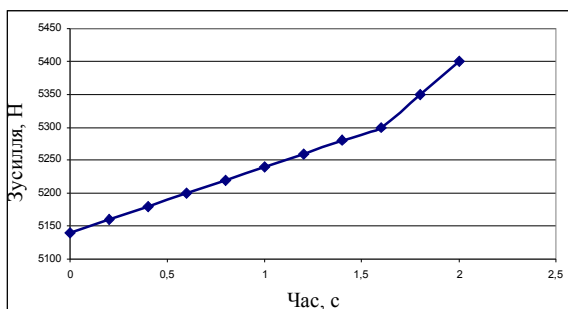


Рис. 3. Зусилля, що виникають у гідроциліндрах при діючому навантаженні на робочий орган у першому розрахунковому положенні

Як видно з графіка, максимальне зусилля у гідроциліндрі дорівнює 5280 Н, при цьому

навантаження на його робочий орган становить 1000 Н.

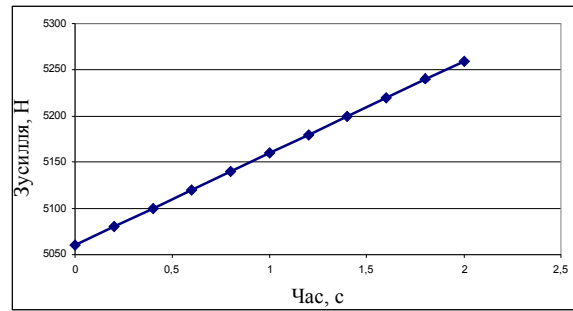


Рис. 4. Зусилля, що виникають у гідроциліндрах при діючому навантаженні на робочий орган у другому розрахунковому положенні

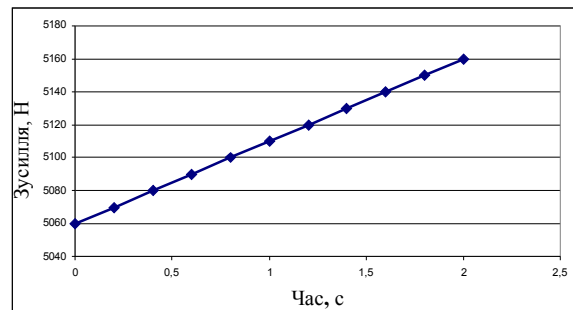


Рис. 5. Зусилля, що виникають у гідроциліндрах при діючому навантаженні на робочий орган у третьому розрахунковому положенні

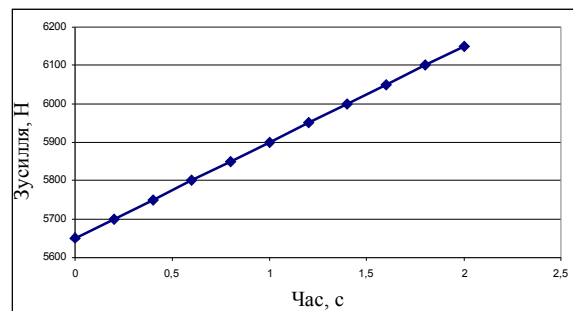


Рис. 6. Зусилля, що виникають у гідроциліндрах при діючому навантаженні на робочий орган у четвертому розрахунковому положенні

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

### Висновки

Порівняльний аналіз за математичними розрахунками та комп'ютерним моделюванням показує, що:

- у першому розрахунковому положенні: математичний розрахунок у 5440 Н проти 5280 Н комп'ютерного моделювання;
- у другому розрахунковому положенні: математичний розрахунок у 5200 Н проти 5132 Н комп'ютерного моделювання;
- у третьому розрахунковому положенні: математичний розрахунок у 5355 Н проти 5453 Н комп'ютерного моделювання;
- у четвертому розрахунковому положенні: математичний розрахунок у 5800 Н проти 6100 комп'ютерного моделювання;

Таким чином, похибка становить 4,8 %, і на початковому етапі комп'ютерна модель адекватно відображає спрощену математичну модель навантажувача.

### 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. геометрія 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. геометрія 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. – К.: НТУУ «КПИ», 2013. – Ч. 2. – С. 46–48.

5. Гарнет М.М. Определение моментов инерции / М.М. Гарнет, В.Ф. Ратобильский. – М.: Машиностроение, 1969. – 228 с.

### References

1. Chernikov O.V., Kyrychenko I.G., Moskalenko A.I. *Komp'yuterne modeljuvannja ta analiz kinematychnyh osoblyvostej robochogo obladnannja frontal'nogo navantazhuvacha*. [Computer simulation and analysis of the kinematic features of working equipment of front loader]. *Prykladna geometrija ta inzhenerna grafika*. [Applied geometry and engineering graphics]. 2010, vol. 86, pp. 107–111.
2. Moskalenko A. I., Chernikov O. V. *Primenenie komp'yuternyh tehnologij pri modelirovanii perezda frontal'nogo pogruchika cherez prepjatsvie*. [Using computer technologies in modeling of a front loader's movement through an obstacle]. *Prykladna geometrija ta inzhenerna grafika*. [Applied geometry and engineering graphics]. 2011, vol. 88, pp. 234–238.
3. Chernikov O.V., Moskalenko A.I., Obolens'kyj O.S. *Doslidzhennja ruhu frontal'nogo navantazhuvacha v paketi «Autodesk Inventor»* [Research of motion of a frontal loader in the «Autodesk Inventor» package]. *Prykladna geometrija ta inzhenerna grafika*. [Applied geometry and engineering graphics]. 2012, vol. 89, pp. 382–386.
4. Kyrychenko I.G., Chernikov O.V. *Komp'yuterno modelirovanie dorozhnyh mashin*. [Computer simulation of road machines]. *XIV Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Progressivnaja tehnika, tehnologija i inzhenerne obrazovanie»*. [XIV International Scientific and Technical Conference «Progressive Engineering, Technology and Engineering Education»]. 2013, vol. 2, pp. 46–48.
5. Garnet M.M., Ratobyl'skij V.F. *Opredele-nie momentov inercii*. [Determination of moments of inertia]. Moscow, Mechanical engineering, 1969, 229 p.

Рецензент: О.Я. Ніконов, професор, д.т.н., ХНАДУ.