



УДК 514.18 + 621.869

## ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСКАВАТОРА «MENZI MUCK M545» ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЙОГО РУХУ ТА СТІЙКОСТІ ПРИ ЗАДАНИХ УМОВАХ

Черніков О.В., д.т.н.,  
Склярів Є.Ю., магістрант,  
Швейкін І.О., магістрант.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*  
Тел/факс (057) 707-3724

**Анотація** – Робота продовжує розробку та впровадження методів геометричного та комп'ютерного моделювання в царині проектування та дослідження режимів роботи різноманітних машин та механізмів. Метою роботи є розробка цифрової моделі екскаватора в середовищі Autodesk Inventor для дослідження її стійкості, визначення припустимих станів роботи та знаходження ку- та перекидання при заданих умовах експлуатації.

**Ключові слова** – комп'ютерне моделювання, динамічне моделювання, екскаватор, Autodesk Inventor.

*Постановка проблеми.* Для подальшого розвитку економіки, зокрема, для будівництва доріг, необхідно розробляти нові, сучасні машини, скорочувати час їхнього проектування та точно визначати необхідні технічні характеристики і припустимі режими роботи [1, 2].

*Аналіз останніх досліджень.* Для виконання подібних досліджень все частіше використовуються тривимірні (цифрові) моделі [3] та проведення з ними віртуальних експериментів за допомогою комп'ютерних програм.

Для моделювання був обраний потужний пакет твердотільного моделювання Autodesk Inventor, у тому числі й завдяки можливості його безкоштовного використання для навчальних цілей. Запропонована в ньому технологія цифрових прототипів надає комплексний гнучкий набір засобів для 3D проектування, візуалізації, інструментальної обробки, аналізу і розрахунків, а також створення документації.

Частина результатів була отримана при виконанні дипломної роботи під керівництвом доцента кафедри будівельних і дорожніх машин ХНАДУ к.т.н. Щукіна О.В.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою роботи є розробка цифрової моделі екскаватора та проведення віртуальних експериментів з дослідження її стійкості, визначення припустимих режимів роботи, зокрема, знаходження кута можливого перекидання машини при різних умовах експлуатації.

Для рішення поставленої у роботі задачі доцільно використовувати середовище Autodesk Inventor, яке дозволяє врахувати характеристики матеріалів, задавати навантаження, модифікувати параметри сітки кінцевих елементів, що дозволяє підвищити якість рішення, розглянути їхні варіанти [4-6]. Також можливий вибір автоматичного або ручного способу завдання контактів, виконання декількох типів динамічних та міцнісних розрахунків. Візуалізація моделі допомагає оцінити взаємодію компонентів при роботі машини та представити результати замовнику.

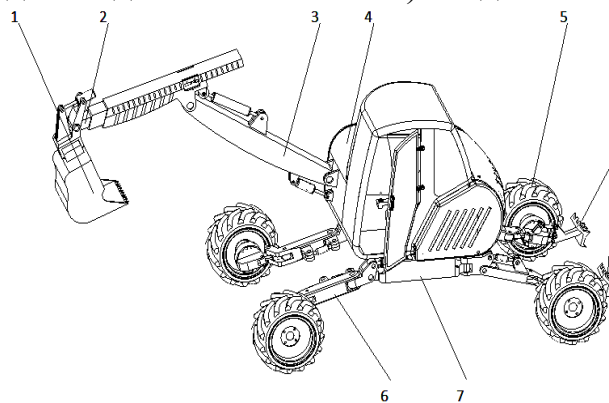
У якості зразка, що моделюється, був обраний крокуючий екскаватор «Menzi Muck» моделі M545 (рис. 1). При створенні моделі були застосовані наступні види тривимірного моделювання: твердотільне моделювання (ходове і робоче обладнання), поверхневе моделювання (панорамна кабіна) і сплайнове моделювання (крісло оператора)



а) Прототип для моделювання



б) Модель в Autodesk Inventor



в) Конструктивна схема екскаватора: 1 – ківш, 2 – стріла, 3 – рукоять, 4 – кабіна, 5 – колесо, 6 – теленога, 7 – поворотна платформа, 8 – опори

Рис. 1. Крокуючий екскаватор «Menzi Muck» моделі M545

*Основна частина.* Змодельовані складові частини екскаватора наведено на рис. 2. Найважливіші технічні характеристики машини, взяті з відкритих джерел [7].

Для можливостей подальшого дослідження кожна складова частина моделювалася в окремому файлі деталі або складальної одиниці, зрозуміло з деякими спрощеннями. На наступних рисунках наведено розроблені моделі цих складових частин.

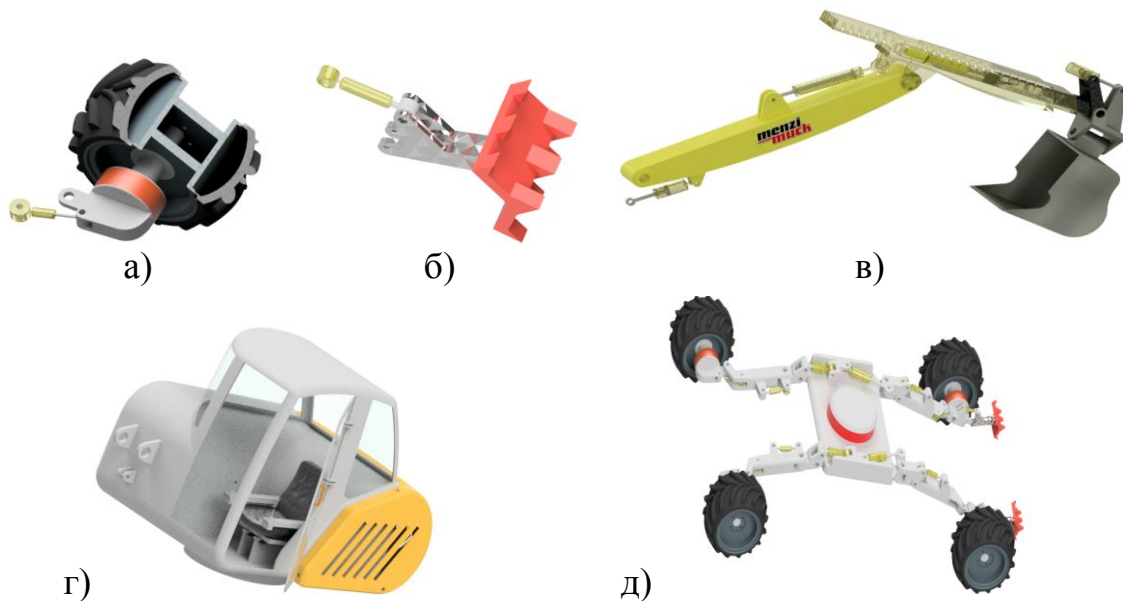


Рис. 2. Основні вузли екскаватора:

а) – Складання колеса, б) – Спеціальні опори, в) – Робоче обладнання (стріла, рукоять ківш), г) – Панорамна кабіна, д) – Ходове обладнання.

Наступним етапом було створення загальної моделі (складання) з накладанням відповідних залежностей, які в подальшому дадуть можливість моделювати рухи машини: це «суміщення», «кут», «дотик» та «вставка». Найбільш поширеною залежністю для моделювання обертання є залежність «Вставка» – саме вона може бути автоматично перетворена в з'єднання «Обертання».

Після закінчення роботи в середовищі складання, переходимо до середовища динамічного моделювання, щоб додати необхідні рушійні з'єднання між частинами екскаватора. Завдання стандартних з'єднань, крім зварювальних, у складанні дозволяють визначити можливі ступені свободи окремих деталей. У зв'язку із цим, додавання з'єднань необхідно починати зі стандартних. Ці з'єднання наведені в [3].

Розглянуті основні з'єднання, параметри яких впливають на роботу віртуальної моделі. «Просторове з'єднання» – використовується для розташування тіла в просторі відносно базового елемента. «Обертання» дозволяє задати обертання коліс навантажувача та шарнірів робочого устаткування. При моделюванні важливо правильно задати місцеві системи координат та забезпечити відповідність напрямків обертання. «3D контакт» між ґрунтом і колесами (рис. 3) не дає машині «провалюватися» крізь ґрунт і дозволяє враховувати коефіцієнти тертя, демпфування та жорсткості контакту (рис. 4). У разі необхідності можна використовувати інші рухомі з'єднання, які наведені в [3].

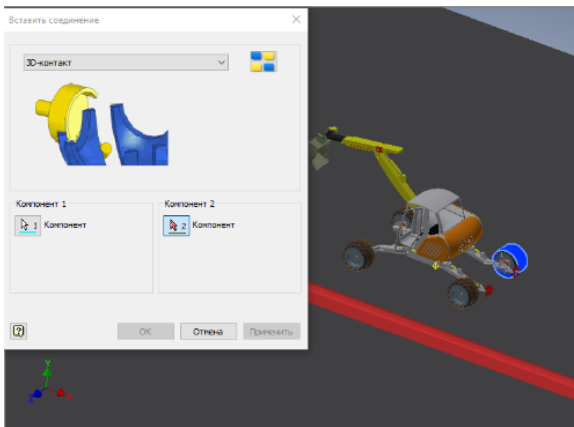


Рис. 3. Завдання 3D контакту

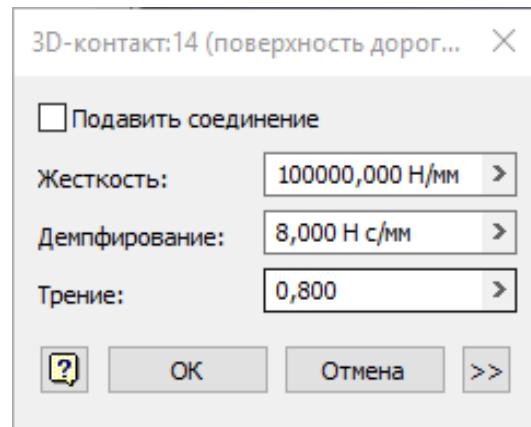


Рис. 4. Параметри 3D контакту

Мета створення 3D-моделі в програмі Inventor полягала у дослідженні екскаватора при різних режимах роботи, які в реальних умовах було б важко досягти за рахунок багатьох факторів, зокрема, високої вартості машини, умов безпеки, відсутності матеріальної бази та ін.

На основі побудованої моделі проводилося моделювання руху екскаватора по заданій траєкторії та руху окремих його елементів при дослідженні особливостей робочого обладнання. Для цього було розроблено умови роботи елементів з'єднання, кожному з яких можна задати закони руху як у вигляді постійних величин, так і у вигляді графіків. Варіант приведення з'єднання в рух можливо обрати за допомогою діалогового вікна, наведеного на рис. 5).

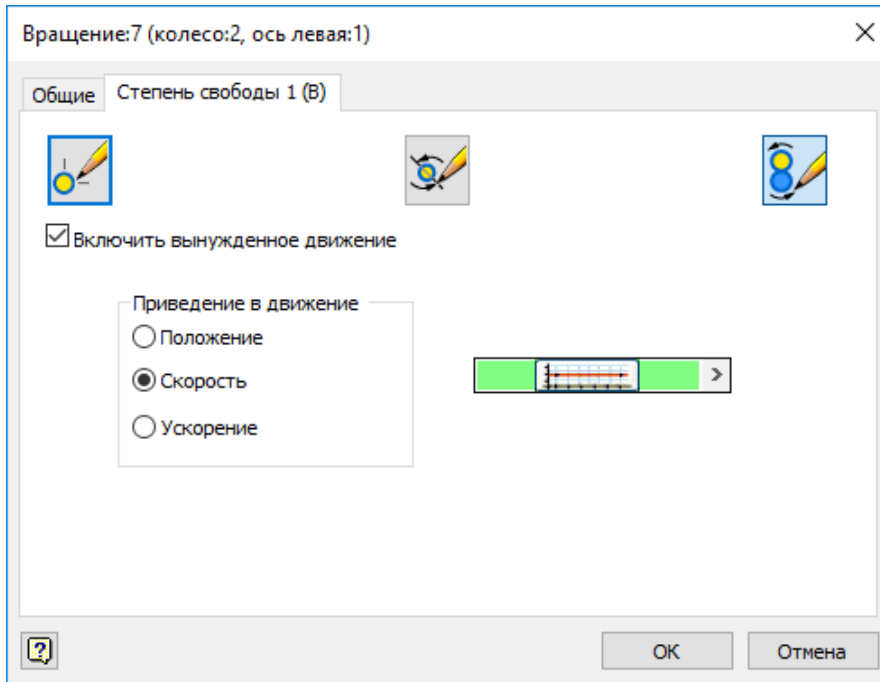


Рис. 5. Приведення з'єднання у рух

На наступному рисунку наведено графіки, що задають закони руху. В залежності від потреб експерименту можливо задавати графіки для переміщень, швидкості або прискорення. В якості цих графіків, зокрема, можна задавати лінійну, поліноміальну, тригонометричну або сплайнову залежності.

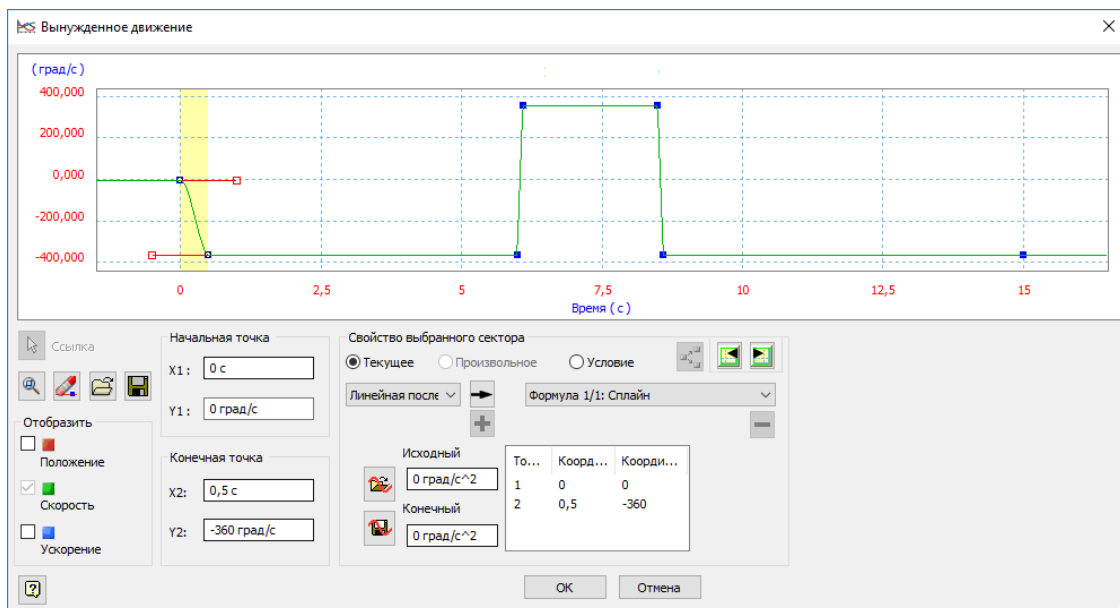


Рис. 6. Графік, що задає швидкість та напрям обертання коліс

На графіку задано, що на ділянці  $0 \dots 0,5$  сек колесо поступово набирає швидкість до  $1$  об/сек ( $360$  град/сек, знак  $\pm$  показує напрям обертання). Далі колесо рухається до  $6$ -ї сек зі сталою швидкістю  $360$  град/сек. Потім до  $6,1$  сек змінюється напрям обертання на протилежний і рухається вже в цьому напрямку, також зі сталою швидкістю до часу  $8,5$  сек. Після  $8,6$  сек знову змінюється напрям обертання.

Слід відмітити, що графіки роботи можливо задавати на всі з'єднання, що використані в машині, яка моделюється. Зміна закону рухів у вигляді графіків дозволяє відтворити будь-який сценарій руху у відповідності з завданням експерименту.

Наступним етапом досліджень є визначення стійкості машини на дорозі з ухилами, зокрема, визначення максимально припустимих значень цих ухилів, а також можливості по здолянню перешкод.

Для цього додатково було створено модель робочого майданчику (або дороги), яка дозволяла би легко змінювати кут його нахилу.

Задаємо додатково в параметрах моделювання напрям сили тяжіння і приступимо до перевірки стійкості екскаватора. В результаті моделювання було встановлено, що при куті нахилу площини, який не перевищує  $42^\circ$ , модель не перекидається (рис. 7, а); якщо кут становить  $43^\circ$  та більше – комп'ютерна модель начала перекидатися (рис. 7, б); якщо зменшити розмір перешкоди, екскаватор не перекидається, а переїжджає через неї (рис. 7, в). Слід відмітити особливу важливість центру ваги машини при дослідженні її стійкості.

Для аналізу змін центра ваги розглянуто три положення (рис. 8):

1) Теленоги розташовані паралельно до поворотної платформи, робоче обладнання в нижньому положенні. В цьому випадку точка центру ваги показана на рис. 8, а; її координати можуть бути легко визначені відносно обраної системи координат системи.

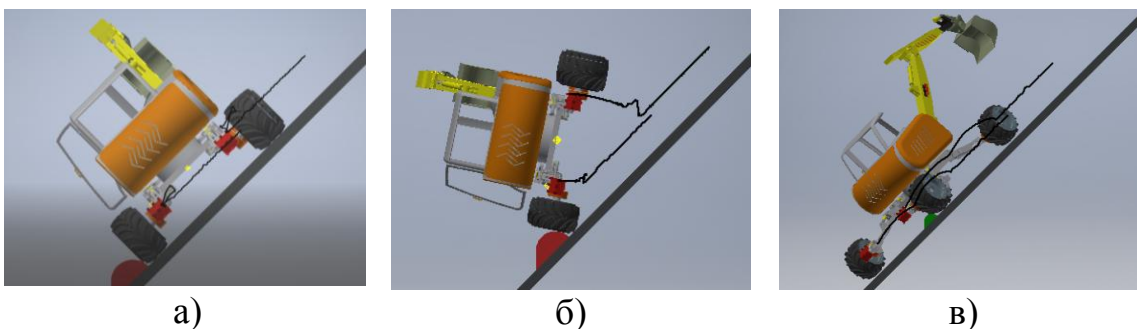


Рис. 7. Поведінка моделі на схилі

2) Піднято робоче обладнання та теленоги, кабінку повернуто відносно платформи на  $40^\circ$  (рис. 8, б).

3) Додатково до п. 2) ківш наповнено ґрунтом  $300$  кг (рис. 8, в).



Рис. 8. Визначення положень центру ваги

*Висновки.* Завдяки розробленій моделі ще на стадії конструювання визначаються актуальність та ефективність запропонованих технічних рішень, що дозволяє провести попередні розрахунки і уникнути зайвих витрат при виробництві. На комп'ютерному прототипі можна визначити основні характеристики майбутнього виробу, провести віртуальні експерименти, модернізацію та необхідну модифікацію.

При динамічному моделюванні екскаватора Menzi Muck були визначені кути перекидання при різних умовах роботи, були змодельовані рух та повороти екскаватора, описана траєкторія його руху при проходженні перешкод. Досліджено положення центру ваги: він істотно не змінюється при максимальному вильоті стріли та піднятті на теленогах, але суттєво змінюється при завантаженні ковша.

Такі дослідження, якщо створити модель якнайближче до реального об'єкту, допомагають перевірити, як буде поводитися машина при впливі на неї різних зовнішніх умов, які можуть статися при її роботі в реальному житті. У такий спосіб відпадає необхідність залучення реальної моделі, тим самим значно зменшуються трудомісткість, час і витрати на дослідження.

Робота продовжує дослідження по створенню моделей будівельно-дорожніх машин для проведення віртуальних експериментів по оптимізації конструкції і режимів роботи. Створена модель також може бути використана як тренажер для керування екскаватором.

Запропонована методика досліджень та отримані результати впроваджені в навчальний процес при підготовці курсових та диплом-



них робіт студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

*Література:*

1. Керов, И.П. Основные тенденции развития строительных и дорожных машин / И.П. Керов, Р.А. Янсон, А.Б. Агапов // Строительные и дорожные машины. – М. : 2008. – №3. – С. 9-16.
2. Ветров, Ю.В. Машины для земляных работ. Приклады розрахунку / Ю.В. Ветров, В.В. Власов – К : 1995, ІСДО – 304 с.
3. *Динамическое моделирование в Autodesk Inventor* / електронний ресурс, режим доступу: <http://wikiphelp.autodesk.com/Inventor/rus/2016/Help> (10/11/2017).
4. Черніков О.В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ / О.В. Черніков // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. – Вып. 73. – Харьков, ХНАДУ, 2016. – С. 239-244.
5. Черніков, О.В. Розробка параметричних моделей з урахуванням динамічних та міцнісних характеристик / О.В. Черніков, А.І. Москаленко // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 87. – С. 431-434.
6. Москаленко, А.И. Применение компьютерных технологий при моделировании переезда фронтального погрузчика через препятствие / А.И. Москаленко, А.В. Черников // Прикл. геометрія та інж. графіка. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 88. – С. 234-238.
7. *Menzi Muck AG* – Каталог: Офіційний сайт компанії-виробника. – Режим доступу: <https://www.menzimuck.com/produktgruppen/menzi-muck-schreitbagger/> (15/01/2018).

**ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЭКСКАВАТОРА «MENZI MUCK M545» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЕГО ДВИЖЕНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ЗАДАННЫХ  
УСЛОВИЯХ**

Черников А.В., Скляр Е.Ю., Швейкин И.О.

*Аннотация*





**Работа продолжает разработку и внедрение методов геометрического и компьютерного моделирования в области проектирования и исследования режимов работы различных машин и механизмов. Целью работы является разработка цифровой модели экскаватора в среде Autodesk Inventor для исследования ее устойчивости, определения допустимых состояний работы и нахождения угла опрокидывания при заданных условиях эксплуатации.**

### **FEATURES OF MENZI MUCK M545 EXCAVATOR COMPUTER MODELING FOR RESEARCH OF ITS MOVEMENT AND SUSTAINABILITY AT THE SPECIAL CONDITIONS**

A. Chernikov, E. Skliarov, I. Shveikin

#### *Summary*

**The work continues the development and implementation of methods of geometric and computer simulation in the field of designing and studying the operating modes of various machines and mechanisms. The aim of the work is to develop a digital model of the excavator in the environment of Autodesk Inventor to study a number of different virtual researches: its stability, determine the admissible operating conditions and finding the angle of rollover under the given conditions of operation.**

**The following tasks were set and solved: modeling the process of overcoming obstacles by the excavator and a description of its trajectory; modeling several working positions, including the most unfavorable, and determining the angle of rollover; analysis of changes in the center of gravity at various positions of the working equipment, telescopic supports and excavator cabs.**