УДК 004

РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОГО, ФІЗИЧНОГО І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ВІРТУАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ МАЛОГАБАРИТНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ

Вороновський Д.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Малогабаритні навантажувачі знаходять усе більше застосування в різних галузях народного господарства й у першу чергу в будівництві дрібних, розосереджених об'єктів завдяки відносній простоті конструкції, високій продуктивності, мобільності і маневреності. Основне призначення навантажувачів - виконання робіт з навантаження і вивантаження різних будівельних вантажів при їхньому перевезенні, складуванні і витраті. Навантажувачі можуть завантажувати будівельні вантажі в автомобілі, залізничні вагони і платформи й інші транспортні засоби. Малогабаритні навантажувачі можуть бути легко і швидко приведені в готовність для виконання необхідних будівельних робіт шляхом швидкої заміни одного робочого органа іншим. До складу комплекту змінних робочих органів малогабаритних навантажувачів входять ковші різних типів і ємкостей, грейфери, бури, дорожні фрези, крюкові підвіски і кранові стріли, планувальні відвали, розпушувач й інше обладнання .

Клас машин, що успішно розвивається, привернув увагу не тільки споживачів. Виробництво аналогічної техніки розробили і освоїли крупні машинобудівні компанії Bobcat, Caterpillar, Gehl, Case NEW HOLLAND, JCB та інші. Виникли і нові фірми, що спеціалізуються на виготовленні саме таких машин. На сьогоднішній день вже більше 20 компаній виробляють малогабаритні багатофункціональні машини з бортовим поворотом, вантажопідйомність яких складає від 300 до 1600 кг Випускається більше 60 найменувань різного навісного устаткування – ківш різної місткості з фронтальним і бічним розвантаженням, траншейні і ковшові екскаватори, вилочні і грейфери захоплення, фрези різного призначення, гідромолоти, збиральні машини, снігоочисники, бетонозмішувачі, бур і багато що інше.

JCB випускає лінійку міні - навантажувачів з п'яти базових моделей. Конструктивне виконання машин, спосіб приведення навісного обладнання відрізняються різноманітністю. Найлегшою машиною в лінійці є навантажувач з бортовим поворотом JCB 160 експлуатаційною масою 2650 кг. Далі йдуть «170 -ї» (2715 кг) і «180 -ї» (2840 кг). Двигуни - Perkins 404D - 22 (на моделях 160 і 170) і Perkins 404DT - 22 (модель 180). Навантажувачі «190 -ї» і «1110 -ї» комплектують двигунами JCB Dieselmax TC - 63 і TC- 68 відповідно. На моделі JCB 160 номінальною вантажопідйомністю 630 кг встановлений дизель з водяним охолодженням Perkins 404D - 22 потужністю 50 к.с. при 2800 хв$^{-1}$. Місткість основного ковша - 0,29 м^3. Маса експлуатаційна - 2650 кг. Трансмісія гідрооб'ємна із закритим контуром , з незалежним приводом бортів, з регульованими гідронасосами і нерегульованими гідромоторами. Максимальна висота розвантаження ковша по ріжучій кромці - 2160 мм при куті розвантаження 45º . Довжина (з основним ковшем) - 3270 мм , ширина - 1430 мм , висота по даху кабіни - 1930 мм. Більш потужні моделі 190 (експлуатаційною масою 3710 кг) і 1110 (3820 кг), а також «180- у» модель виготовляють у двох виконаннях - колісні та гусеничні. Гусеничні машини важче майже на тонну. Гусеничний хід позначений у назві моделі словом Tracked, наприклад JCB 180 Tracked .

Привід ходу гідростатичний з використанням регульованих гідронасосів з можливістю (моделі 190 і 210 зі збільшеною подачею в гідравлічному контурі до 120 л/хв.) включення режиму підвищеної швидкості 18 км/год і можливістю роботи на « повзучої » швидкості. Привід робочого обладнання проводиться від окремого нерегульованого насоса, використовується додатковий насос для навісного обладнання.

Аналіз великої кількості технічних показників сучасних виробників навантажувачів дозволив виконати апроксимацію статистичних даних. Встановлені відповідні кореляційні залежності:

маси машин від вантажопідйомності $m = 387.543 + 3.757 \cdot q - 8.019 \cdot 10^{-4} \cdot q^2$

потужності двигуна від маси машини $N = -25.7 + 0.028 \cdot m - 1.424 \cdot 10^{-6} \cdot m^2$

Фізичне моделювання необхідно використовувати у тих випадках коли не має можливості проведення широкомасштабних експериментів на натурних зразках машин, а також тоді, коли не вдається відворити відповідні явища за допомогою інтегрованих комп'ютерних технологій. Так наприклад, програмний засіб «Autodesk Inventor». Не дозволяє моделювати взаємодію робочих органів з середовищем, або поведінку окремих елементів металоконструкцій в зоні пружних деформацій.

Рисунок 1 – Схема віртуальних досліджень навантажувачів

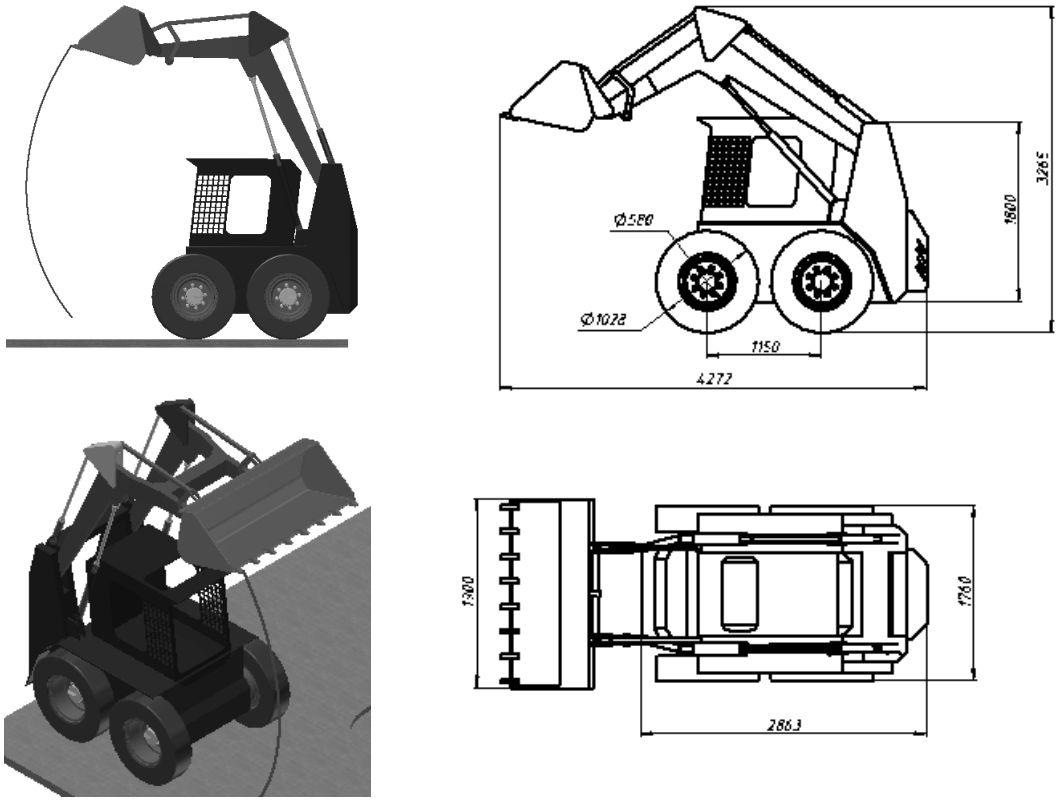

Рисунок 2 – Комп'ютерна модель і реальні параметри машин

Для проведення віртуальних досліджень, краще за все, створювати віртуальні лабораторії, які складаються з необхідної кількості комп'ютерних моделей. Кожна з них дозволяє імітувати окремі процеси, що виникають під час виконання технологічних операцій навантажувача. Так наприклад, нами була побудована модель навантажувача ПМТС-1200, яка дозволяла виконувати кінематичні дослідження робочого обладнання. Були визначені швидкості й прискорення під час руху штоків гідроциліндрів управління робочим обладнанням з постійною швидкістю. Наявність цих даних у конструктора дає можливість оптимізувати геометричне розташування гідроциліндрів управління робочим обладнанням і їх з'єднання з рухомими елементами робочого обладнання. Крім цього, були проведені експерименти на яких визначалися зусилля на ходовому обладнанні у статичному положенні машин (коли вона не рухається) під час підйому ківша з нижнього крайнього положення у верхнє.

Для проведення експериментів з машиною, що рухається, була розроблена інша 3D модель. Використання інструменту «динамічне моделювання» дозволяє утворювати шарнірні з'єднання між вузлами і деталями машини як в середовищі «складання», так і в середовищі «динамічне моделювання» (Рис. 3).

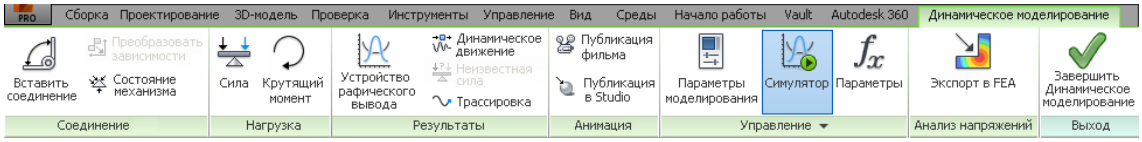

Рисунок 3 – вкладка «динамічне моделювання»

За допомогою цієї моделі можна визначати динамічні навантаження на ходовому обладнання при русі машини заданою траєкторією і подаланні перешкод, що з'являються на цьому шляху. Модель дозволяє змінювати як параметри опорної поверхні так і деякі конструктивні параметри самої машини, а саме – швидкості руху, положення ківша, массу матеріалу, що транспортується. Опорні реакції визначаються для кожного колеса окремо. Таким чином, можна досліджувати режими навантаження ходового обладнання при наїзді на перешкоди тільки одним із бортів навантажувача, або вивчати перерозподіл реакцій при поворотах машини, тобто аналізувати параметри поперечної стійкості машини.

Література:

1. Кириченко И.Г. Объёмный гидропривод в мобильных подъёмниках с рабочими платформами : монография / И.Г. Кириченко, Г.А. Аврунин, В.Б. Самородов, А.В. Ярыжко. – Харьков: ХНАДУ, 2018. – 295 с.

2. Вороновский Д.В. Анализ показателей малогабаритных погрузчиков с боротовой системой поворота / Вороновский Д.В. Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проєктування, дизайн та технологічна експлуатація. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 116-118 с.

3. Разаренов Л.В. Методика и результаты испытаний фронтального погрузчика ПМТС 1200 / Л.В. Разарёнов // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. - Харьков: ХНАДУ. – 2003. – Вып. 11. - С. 105-108.

4. Разарьонов Л.В., Розенфельд М.В., Вороновський Д.В. Аналіз технічного розвитку малогабаритних навантажувачів із бортовою системою повороту. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, ХНАДУ – Харків, 2021. – Вип. 95.– С. 102–106

5. Єфименко О.В., Мусаєв З.Р. Моделювання робочих процесів одноківшових навантажувачів за допомогою «Autodesk Inventor». Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. Харьков, ХНАДУ, 2016. Вып. 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. Випуск 7. Мелітополь, МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016. 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. тр. – Харьков, ХНАДУ, 2016. Вып. 73. С. 239-244.

8. Chernikov A.V., Moskalenko A.I. Modeling of Operation Modes of Front-End Loader by the Autodesk Inventor Package // Buletinul Ştiinţific al Universităţii "POLITEHNICA" din Timişoara – Seria Hidrotehnica – Transactions on Hydrotechnics – Tom 58 (72), Fascicola suplimentară, 2013. – PP. 161-164.