

АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ НАВАНТАЖУВАЧА З ТЕЛЕСКОПІЧНОЮ СТРІЛОЮ

Рагулін В. М., Ярижко О. В., Назарько О. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Темпи дорожнього будівництва та реконструкції визначають високі вимоги до сучасної техніки, зокрема до робочого обладнання. Під час технологічних операцій зовнішні навантаження діють через основний робочий орган на всі елементи робочого обладнання, складові вузли та деталі машини загалом. Застосування програмних продуктів дає можливість здійснити аналіз будь-яких комбінацій проектування, моделювання, а також силові дослідження та перевірку на міцність. На основі отриманих даних можна проаналізувати навантаження у вузлах металевої конструкції робочого обладнання, не здійснюючи натурних випробувань. Робота є продовженням попередніх досліджень з використанням методів комп'ютерного моделювання в машинобудівній галузі. Проектування або модернізація технічних об'єктів на сьогодні неможливе без створення тривимірних моделей. Метою цієї роботи є дослідження кінематики руху та режимів навантаження окремих елементів обладнання телескопічного навантажувача за допомогою розроблення цифрової моделі в середовищі «Dynamic Simulation» програмного пакета Autodesk Inventor. Використання телескопічного робочого обладнання збільшує можливості фронтальних навантажувачів на колісній базі, але так само призводить до збільшення матеріальних затрат під час проектування та виробництва. Розглянуто процес роздільного черпання сипучого матеріалу в штабелі, що полягає в зануренні ковша в штабель поступальним рухом з подальшою зупинкою навантажувача та поворотом ковша. Основними силами, що діють на робоче обладнання під час повороту ковша та стріли в процесі черпання, є сили тяжіння елементів робочого обладнання та неконсервативні сили, що виникають на циліндричній поверхні зрізу та нормальна сила з боку стінки штабеля матеріалу. Зовнішні навантаження прикладаються до кромки ковша. Їхній напрямок залежить від траєкторії руху робочого обладнання та в процесі моделювання змінюється залежно від поточної вертикальної координати різальної кромки ковша.*

***Ключові слова:** навантажувач, телескопічне робоче обладнання, будівельні машини, комп'ютерне моделювання, проектування, програмний продукт.*

Вступ

Сучасні темпи будівництва та реконструкції висувають значні вимоги до якості, конкурентоспроможності та технічного рівня техніки, що використовується. Ці вимоги обумовлюють необхідність модернізації наявного або проектування нового високоефективного та надійного робочого обладнання.

Фронтальні навантажувачі на колісній базі застосовують для здійснення технологічних операцій. Використання телескопічного робочого обладнання збільшує можливості цієї машини, але так само призводить до підвищення матеріальних затрат під час проектування та виробництва.

Під час здійснення технологічних операцій зовнішні навантаження передаються через основний робочий орган до всіх елементів механізму підвіски робочого обладнання, складових вузлів та деталей машини загалом.

У сучасних умовах дослідження навантаженості робочого обладнання на етапах проектування або модернізації неможливе без використання спеціалізованого програмного забезпечення. Воно дозволяє здійснити віртуальне моделювання та аналіз взаємодії вузлів як один з одним, так і з зовнішнім середовищем. На основі отриманих даних є можливість зменшити вартість кінцевої продукції, а іноді знайти нові способи реалізації без високовартісних натурних випробувань. Для цього необхідно попередньо змодельовати відповідні тривимірні моделі деталей, вузлів та агрегатів, які будуть взаємодіяти в складній системі.

З цією метою було вибрано середовище Dynamic Simulation програмного пакета Autodesk Inventor.

Це середовище дає змогу на початкових етапах проектування або модернізації робочого обладнання здійснити кінематичний та силовий аналізи змодельованого облад-

нання з метою перевірки працездатності всіх вузлів, які взаємодітимуть на проєктованій або вже наявній машинах.

Аналіз публікацій

Обсяги робіт визначають необхідність використання машин, що мають невеликі габаритні розміри та спроможні вирішувати багатofункціональні завдання на обмеженому просторі будівельних майданчиків. Одними з видів таких машин є навантажувачі з телескопічним робочим обладнанням.

У нашій роботі розглядається одне з питань серії досліджень – моделювання навантаженості робочого обладнання будівельних машин [1–4], що містить дослідження роботи телескопічного навантажувача [5].

Досліджуючи джерела, можна дійти висновку, що робоче обладнання сучасних навантажувачів визначається збільшенням їхніх основних параметрів: місткості ковша, висоти розвантаження, вильоту стріли та вантажопідйомністю [6, 7].

Аналіз взаємодії навантажувачів та його обладнання з матеріалом здійснюють у роботах [8–14], зокрема в дослідженнях з використанням програмних продуктів тривимірного моделювання [12–14]. У статтях [16, 17] досліджена кінематика робочого обладнання та робота навантажувачів з телескопічною стрілою [5, 15].

Щоб забезпечити значні показники ефективності роботи механізму, необхідно проаналізувати технічні можливості пристрою під час здійснення технологічних операцій. Ці завдання частково вирішені в роботах [18–20].

Мета та постановка завдання

Метою є кінематичний та силовий аналіз процесу занурення ковша в штабель насипного матеріалу роздільним способом.

Для досягнення мети необхідно побудувати тривимірну модель робочого обладнання з подальшим накладанням розрахункових зусиль, визначити закономірності зміни реакцій у шарнірах окремих елементів обладнання залежно від геометричного положення кромки ковша.

Імітаційне моделювання функціонування робочого обладнання

На основі досягнень науковців та власних досліджень була розроблена тривимірна модель робочого обладнання навантажувача

з телескопічною стрілою з використанням програмного продукту Autodesk Inventor (рис. 1).

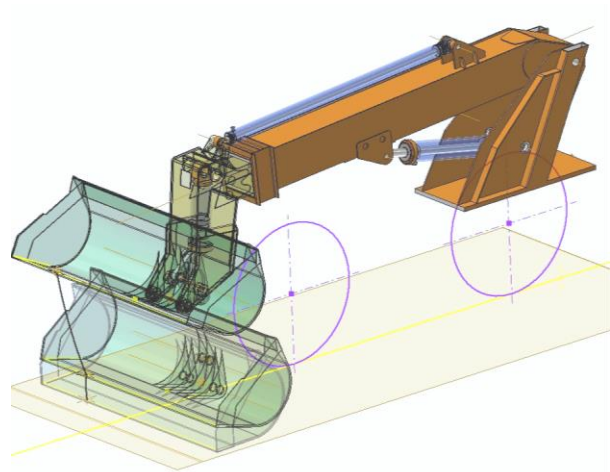


Рис. 1. Тривимірна модель робочого обладнання телескопічного навантажувача

Розглянуто процес роздільного черпання сипкого матеріалу в штабелі. Він полягає в зануренні ковша в штабель поступальним рухом з подальшою зупинкою навантажувача та поворотом ковша. Сила горизонтального опору стає максимальною, навантажувач зупиняється внаслідок вичерпання своїх тягових можливостей щодо зчеплення або інших технічних обмежень.

У разі подальшого повороту ковша та стріли відбувається зріз матеріалу штабеля вздовж циліндричної поверхні, яка утворюється траєкторією різальної кромки ковша (рис. 2).

Траєкторія руху кромки ковша

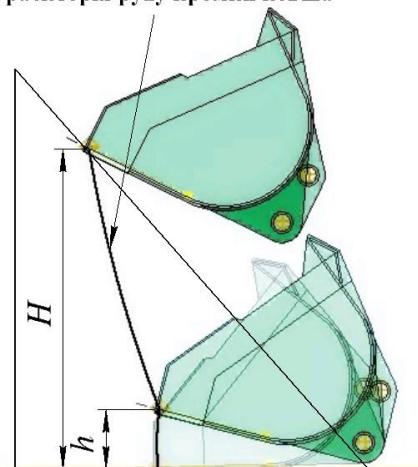


Рис. 2. Етапи траєкторії руху кромки ковша

Основними силами, що діють на робоче обладнання під час повороту ковша та стріли

в процесі черпання, є такі сили тяжіння елементів робочого обладнання, як рухома секція стріли G_{C_P} , нерухома секція стріли G_{C_H} , ківш G_K , матеріал в розпушеній призмі G_M , неконсервативні сили, що виникають на циліндричній поверхні зрізу, зокрема сила зчеплення $F_{зч}$, сила тертя F_{TP} , нормальна сила з боку стіни штабеля матеріалу N [5] (рис. 3).

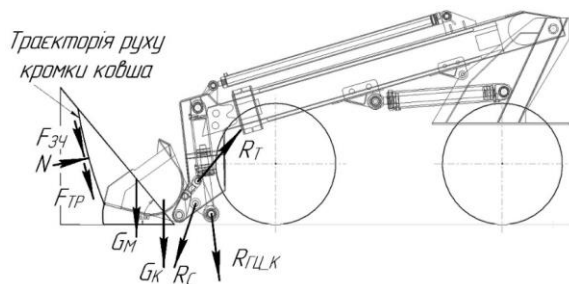


Рис. 3. Схема зовнішнього навантаження та реакцій у шарнірах коромисла

Останні з зазначених навантажень прикладаються до кромки ківша. Їхній напрямок залежить від траєкторії руху: сила зчеплення $F_{зч}$ та сила тертя F_{TP} – вздовж дотичної, а сила з боку стіни штабеля N – вздовж нормалі. Значення цих сил визначаються за формулами (1)–(3), і в процесі моделювання змінювалися залежно від поточної вертикальної координати різальної кромки ківша h (рис. 2):

$$F_{зч} = B \cdot (H - h) \cdot c \quad (1)$$

$$N = 0,5 \cdot \rho_M \cdot g \cdot (H - h) \cdot B \cdot H \quad (2)$$

$$F_{TP} = 0,5 \cdot \rho_M \cdot g \cdot (H - h) \cdot \mu \cdot B \cdot H, \quad (3)$$

де B – ширина ківша; H – максимальна висота траєкторією різальної кромки ківша; h – поточна вертикальна координата різальної кромки ківша; c – коефіцієнт зчеплення матеріалу; ρ_M – щільність матеріалу; μ – коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу.

Аналіз руху робочого обладнання навантажувача дозволив побудувати графіки зміни реакцій у шарнірах коромисла рухомою та нерухомою секціями стріли залежно від вертикальної координати різальної кромки ківша h (рис. 4–6). Були прийняті такі позначення: R_T – реакція в шарнірі кріплення тяги до коромисла; $R_{ГЦ_К}$ – реакція в шарнірі крі-

плення гідроциліндра ківша; R_K – реакція в шарнірі кріплення ківша до рухомої секції стріли; R_C – реакція в шарнірі кріплення коромисла до рухомої секції стріли; $R_{ГЦ_С}$ – реакція в шарнірі кріплення гідроциліндра рухомої секції стріли; $R_{ГЦ_К}$ – реакція в шарнірі кріплення гідроциліндра нерухомої секції стріли; R_{C_P} – реакція між рухомою та нерухомою секціями стріли; R_{C_H} – реакція в шарнірі кріплення нерухомої секції стріли до порталу.

Аналіз цих графіків (рис. 4–6) дозволив визначити, що процес повороту ківша здійснюється не за лінійним законом зміни значень реакцій у шарнірах об'єктів дослідження. Так само етап повороту стріли визначається майже лінійним законом зміни величини реакцій.

З моменту початку повороту ківша в штабелі до його зупинки в шарнірі кріплення коромисла до рухомої секції телескопічної стріли реакція R_C змінює своє значення з 385 кН до 497 кН (рис. 4, 5). У шарнірах нерухомої секції телескопічної стріли зусилля змінює своє значення – відбувається зменшення величин (рис. 6).

Під час цієї операції реакція в шарнірі кріплення тяги до коромисла R_T збільшує значення зусилля з 207 кН до 293 кН з подальшим зменшенням значення до величини 100 кН на етапі повороту стріли. Майже ідентичні значення має зусилля в шарнірі кріплення гідроциліндра ківша $R_{ГЦ_К}$ у початковому положенні, а після завершення повороту максимальне значення досягне 248 кН. На етапі повороту стріли різниця цих реакцій зменшується з 50 кН до 17 кН (рис. 4).

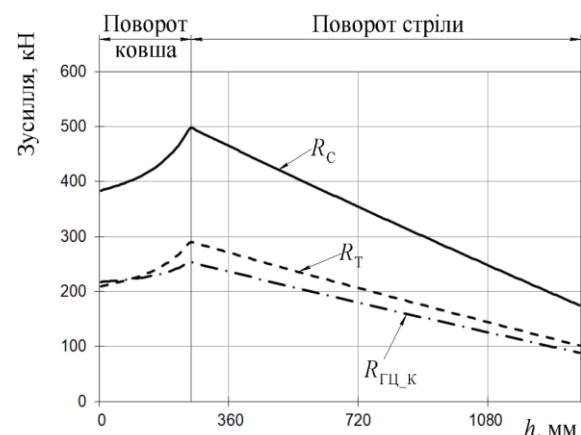


Рис. 4. Зміни реакцій в шарнірах коромисла

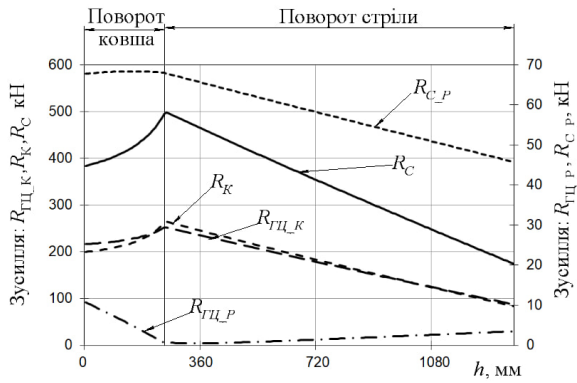


Рис. 5. Зміни реакцій у шарнірах рухомої секції телескопічної стріли

На рисунку 5 наведені реакції у шарнірах рухомої секції телескопічної стріли. На етапі повороту ковша в шарнірі його кріплення до рухомої секції стріли зусилля R_K змінюються від початкових значень 200 кН до максимальних 248 кН. На етапі повороту стріли відбувається різке зменшення зусилля до 95 кН.

На етапі повороту ковша значення зусиль у шарнірі кріплення гідроциліндра рухомої секції $R_{ГЦП}$ різко зменшує своє значення з величини 10 кН до 0,65 кН, а в процесі повороту стріли поступово збільшується значення до 4,5 кН. Так само реакція між рухомою та нерухомою секціями стріли $R_{CП}$ є нелінійною без різкої зміни напрямку дії зусилля та змінюється в діапазоні з 67 кН до 46 кН з максимальним значенням 69 кН (рис. 5).

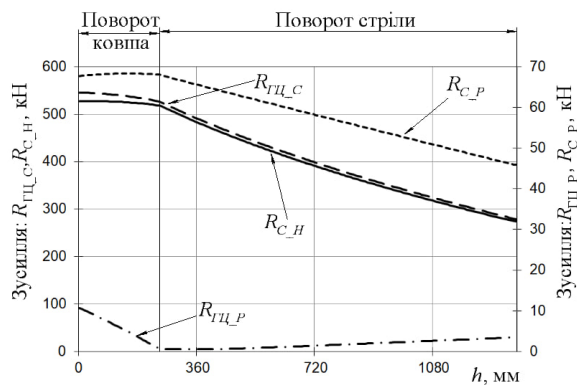


Рис. 6. Зміни реакцій у шарнірах нерухомої секції телескопічної стріли

На рис. 6 наведені реакції у шарнірах нерухомої секції телескопічної стріли. На етапі повороту ковша в шарнірі кріплення гідроциліндра та в шарнірі кріплення стріли до

порталу реакції ($R_{ГЦС}$ та $R_{СН}$) змінюються нелінійно. Тип кривих відрізняється від попередніх відсутністю пікових значень на останньому етапі повороту ковша. Зусилля змінюється в діапазоні від 546 кН та 527 кН до значень 524 кН та 516 кН. На етапі повороту стріли відбувається різке зменшення зусиль до 279 кН та 274 кН.

Дослідивши розрахункову схему коромисла, що наведена на рис. 3, були отримані максимальні значення реакцій у відповідних шарнірах. Використовуючи Dynamic Simulation [21], ми отримали величини за компонентами відповідних осей (рис. 7), які наведені в табл. 1.

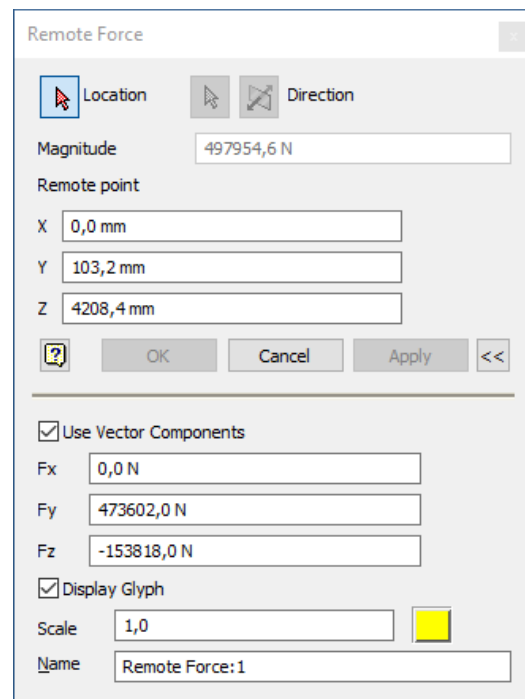


Рис. 7. Вікно Remote Force

Таблиця 1 – Сили реакцій у шарнірах коромисла

Найменування	Величина	Компонент (X,Y,Z)
Реакція R_C	497955 Н	0,000 Н
		473602 Н
		-153818 Н
Реакція R_T	290447 Н	0,000 Н
		-223775 Н
		185159 Н
Реакція $R_{ГЦК}$	253357 Н	0,000 Н
		-251411 Н
		-31340 Н

Розрахункові схеми для максимальних значень реакції у відповідних шарнірах рухомої секції телескопічної стріли наведені на рис. 8 та подані в табл. 2 (нерухома секція телескопічної стріли – рис. 9 та табл. 3).

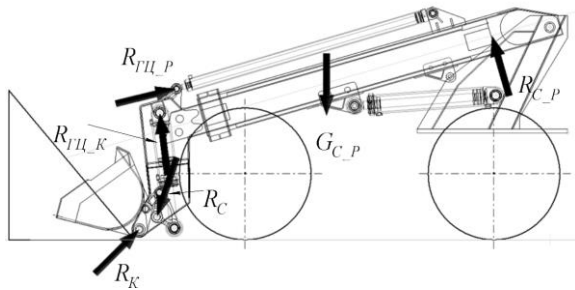


Рис. 8. Схема для визначення розрахункових сил, що діють на рухома секцію стріли на кінцевому етапі повороту ковша

Таблиця 2 – Сили реакцій у шарнірах рухомої секції телескопічної стріли

Найменування	Величина	Компонент (X,Y,Z)
Реакція R_C	497955 Н	0,000 Н
		473602 Н
		-153818 Н
Реакція R_K	264191 Н	0,000 Н
		196064 Н
		-196731 Н
Реакція $R_{ГЦ_К}$	253357 Н	0,000 Н
		-251411 Н
		-31340 Н
Реакція $R_{ГЦ_П}$	646 Н	0,000 Н
		278 Н
		-583 Н
Реакція $R_{С_П}$	67825Н	0,000 Н
		66890 Н
		11223 Н

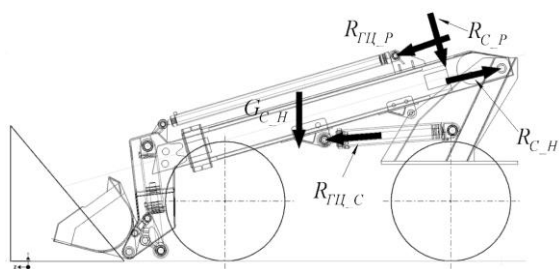


Рис. 9. Схема для визначення розрахункових сил, що діють на нерухома секцію стріли на останньому етапі повороту ковша

Таблиця 3 – Сили реакцій у шарнірах рухомої секції телескопічної стріли

Найменування	Величина	Компонент (X,Y,Z)
Реакція $R_{ГЦ_П}$	646 Н	0,000 Н
		278 Н
		-583 Н
Реакція $R_{С_П}$	67825Н	0,000 Н
		66890 Н
		11223 Н
Реакція $R_{С_Н}$	515838 Н	0,000 Н
		404576 Н
		-320011 Н
Реакція $R_{ГЦ_С}$	523937 Н	0,000 Н
		-415004 Н
		319815 Н

Значення зусиль, які отримані в цьому дослідженні за допомогою середовища Dynamic Simulation, можуть бути використані для подальшого аналізу напружено-деформованого стану окремих елементів конструкції або як вихідні дані для оптимізації конструкції за допомогою середовища Shape Generator.

Ця технологія інтегрована в програмний продукт Autodesk Inventor, що дозволяє використовувати її безпосередньо в процесі проектування. Shape Generator створює скінченно-елементну 3D-модель, яку можна використовувати як орієнтир для оптимізації елементів конструкції.

Висновки

Здійснено силовий аналіз взаємодії робочого обладнання телескопічного навантажувача в процесі роздільного черпання ковшем сипучого матеріалу в штабелі. Розглянуто другий етап – поворот ковша та стріли в штабелі, під час якого зрізання матеріалу здійснюють вздовж циліндричної поверхні, яка утворюється траєкторією різальної кромки ковша.

Результати дослідження дозволили визначити положення, за якого виникають найбільші значення навантаження: $R_C = 495$ кН, $R_T = 293$ кН, $R_{ГЦ_К} = 248$ кН, $R_K = 248$ кН, $R_{ГЦ_С} = 546$ кН та $R_{С_Н} = 527$ кН, що можуть бути використані в подальших дослідженнях напружено-деформованого

стану елементів кріплення ковша та рухомої і нерухомої секції стріли навантажувача.

Література

1. Рагулін В. М., Ярижко О. В., Назарько О. О. Комп'ютерне моделювання як метод та засіб удосконалення будівельних машин. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка». 2022. Вип. 102. С. 181–187.
2. Рагулін В. М., Мешалкіна Т. С., Палій М. Р. Аналіз модернізованої підвіски робочого обладнання автогрейдера з використанням комп'ютерного моделювання. Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка». 2018. Вип. 94. С. 95–99.
3. Shcherbak O., Ragulin V., Suminov A. Analysis of the load-bearing system of the loader according to the results of dynamic tests in the environment of Ansys motion. *Automobile Transport*. 2022. Vol. 51. 58–65.
4. Особливості комп'ютерного моделювання та дослідження режимів роботи елементів піднімальної платформи / Кириченко І. Г та ін. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021. Вип. 95. С. 143–148.
5. Комп'ютерне моделювання силової взаємодії елементів робочого устаткування навантажувача / Ярижко О. В., Рагулін В. М., Єфремов О. В., Зятюк А. І.: proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference «A substantive representation of the system of scientific knowledge», 27–28 march 2023 p. Riga: Latvia by the «InterSci», 2023. P. 88–90.
6. Хмара, Л. А.; Шатов, С. В. Удосконалення обладнання для вивезення уламків пошкоджених та зруйнованих будівель. Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Сер. Підійомно-транспортні, будівельні та дорожні машини та обладнання. 2016. 88. С. 103–107.
7. Щербак О. В., Сумінов А. В., Хачатурян С. Л. Розробка методики проектування спеціалізованих машин на базі шарнірного тягача. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021. Вип. 95. С. 38–42.
8. Розенфельд М. В., Єфименко О. В., Мусаєв З. Р. Математичне моделювання процесу занурення робочого обладнання малогабаритного навантажувача у штабель з матеріалом: тези доповідей Міжнародної конференції «Піднімально-транспортне обладнання та елементи приводів машин», 18–19 травня 2017 р. Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2017. С. 144–145.
9. Нефьодов І. О. Засоби зменшення динамічних навантажень на вантажопідійомник фронтального навантажувача: авторефер. дис. на здобуття наук. ступеня к-та. техн. наук: 05.05.05. Одеса, 2014. 22 с.
10. Хмара, Л. А.; Шатов, С. В. Технологічні особливості розбирання завалів зруйнованих будівель. Вісник Придніпр. держ. акад. буд. та архітект. 2010. 10. С. 42–52.
11. Розбирання уламків зруйнованих будівель навантажувачами / Шатов С. В., Даниленко І. О., Гончаров Д. Д., Ніколаєв Д. В.: тези доповідей Всекур» "Переможемо – відбудуємо!", 2022. С. 105–106.
12. Єфименко О. В., Плугіна Т. В., Мусаєв З. Р. Моделювання робочого обладнання малогабаритного навантажувача за допомогою сучасних програмних засобів. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. І. Даля: науковий журнал. 2017. № 4. С. 98–102.
13. Єфименко О. В., Плугіна Т. В., Мусаєв З. Р. Моделювання робочих процесів однокішшових навантажувачів за допомогою AutoDesk Inventor. Будівництво. Матеріалознавство. Машиностроїння: зб. наук. тр. 2017. № 88. С. 179–184.
14. Черніков О. В., Кириченко І. Г., Москаленко А. І. Комп'ютерне моделювання та аналіз кінематичних особливостей робочого обладнання фронтального навантажувача. Прикл. геометрія та інж. графіка. 2010. Вип. 86. С. 107–111.
15. Коляда В. П.; Корчашкіна, Л. А. Використання телескопічного навантажувача при протирозійних інженерних роботах на схилі землях. XIV-й Міжнародний форум молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі»: збірка матеріалів форуму. 2018. С. 59.
16. Tushar Lale, Neelam K Sarma. Analytical Study on Influence of Shape of Bucket Cutting Edge of a Wheel Loader on Load Transfer. SAE International 2021-09-22: <https://doi.org/10.4271/2021-26-0136>.
17. Kamsar. «Analisis Sistem Hidrolik Pengangkat Pada Alat Berat Jenis Wheel Loader Studi Kasus Dinas Pekerjaan Umum Kab. Bombana». *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 2019. 1.1. P. 35–38.
18. Силовий розрахунок привода виштовхувача в ковшах фронтальних навантажувачів з примусовим розвантаженням / Крюков М. М., Русан І. В., Аржаєв Г. О., Малишев Д. О. Техніка будівництва. 2003. № 14. С. 8–12.
19. Русан І. В., Аржаєв Г. О. Дослідження параметрів ковшів фронтальних навантажувачів з примусовим розвантаженням. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. 2003. № 61. С. 100–106.
20. Дубянський О. Розрахунок робочого обладнання телескопічного навантажувача-маніпулятора. Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: тези доповідей III-ої Всеукраїнської науково-ефективної конф., 22–23 лютого 2018 р. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 18–22.

21. About Dynamic Simulation URL: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2023/ENU/?guid=GUID-91C22CA7-853E-440D-A752-B532A8E4CF37>.

References

- Ragulin V. M., Yarizhko O. V., Nazarko O. O. Computer modeling as a method and means of improving construction machines. *Interdepartmental scientific and technical collection «Example geometry and engineering graphics»*. 2022. Issue 102. P. 181–187 [in Ukrainian].
- Ragulin V. M., Meshalkina T. S., Palii M. R. Analysis of the modernized suspension of the working equipment of the motor grader using computer modeling. *Interdepartmental scientific and technical collection "Applied geometry and engineering graphics"*. 2018. Issue 94. P. 95–99 [in Ukrainian].
- Shcherbak O., Ragulin V., Suminov A. Analysis of the load-bearing system of the loader according to the results of dynamic tests in the environment of Ansys motion. *Automobile Transport*. 2022. Vol. 51. 58–65.
- Peculiarities of computer modeling and research of operating modes of elements of the lifting platform / Kyrychenko I. G. and jther. *Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University*. 2021. Issue 95. P. 143–148 [in Ukrainian].
- Computer modeling of the force interaction of elements of the working equipment of a forklift / Yaryzhko O. V., Ragulin V. M., Efremov O. V., Zyatuk A. I.: *proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference "A substantive representation of the system of scientific knowledge"*, 27–28 March 2023. Riga, Latvia by the "InterSci", 2023. P. 88–90 [in Ukrainian].
- Khmara, L. A.; Shatov, S. V. Improvement of equipment for removal of debris from damaged and destroyed buildings. *Construction. Materials science. Engineering. Ser. Lifting and transport, construction and road machines and equipment*. 2016. 88. P.103–107 [in Ukrainian].
- Shcherbak O. V., Suminov A. V., Khachatryan S. L. Development of a methodology for the design of specialized machines based on an articulated tractor. *Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University*. 2021. Issue 95. P. 38–42 [in Ukrainian].
- Rosenfeld M. V., Yefimenko O. V., Musaev Z. R. Mathematical modeling of the process of submersion of the working equipment of a small loader into a stack with material. *13th International Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv: abstracts of reports of the international conference "Lifting and transport equipment and elements of machine drives"*, 18–19 may 2017. Lviv: KINPATRI LTD, 2017. P. 144–145 [in Ukrainian].
- Nefyodov I. O. *Means of reducing dynamic loads on the front-end loader lift*: autoref... k-ta. technical Sciences: 05.05.05. Odesa, 2014. 22 p [in Ukrainian].
- Khmara L. A., Shatov S. V. Technological peculiarities of dismantling rubble of destroyed buildings. *Visnyk Prydnipr. state Acad. building and architect. D.*: PDABA. 2010. 10: 42–52 [in Ukrainian].
- Dismantling the debris of destroyed buildings with forklifts / Shatov S. V., Danylenko I. O., Goncharov D. D., Nikolaev D. V. *Theses of pre-views of the All-Ukrainian scientific and practical forum "We will win – we will rebuild!"* 2022. Pp. 105–106 [in Ukrainian].
- Yefimenko O. V., Plugina T. V., Musaev Z. R. Modeling of the working equipment of a small-barite loader using modern software. *Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl: scientific journal*. 2017. No. 4. P. 98–102 [in Ukrainian].
- Yefimenko O. V., Plugina T. V., Musaev Z. R. Modeling of working processes of single-bucket loaders using AutoDesk Inventor. *Building Materials Science Machine building: sb. science tr.* 2017. No. 88. P. 179–184 [in Ukrainian].
- Chernikov O. V., Kyrychenko I. G., Moskalenko A. I. Computer modeling and analysis of kinematic features of front-end loader working equipment. *Prikl. geometry and engineering graphics* 2010. Issue 86. P. 107–111 [in Ukrainian].
- Kolyada, V. P., Korchashkina, L. A. Use of a telescopic loader in antierosion engineering works on sloping lands. *The 14th International Youth Forum "Youth and agricultural machinery in the 21st century". A collection of forum materials. Kharkiv: KhNTU-SG* 2018. P. 59 [in Ukrainian].
- Tushar Lale, Neelam K Sarma. Analytical Study on Influence of Shape of Bucket Cutting Edge of a Wheel Loader on Load Transfer. *SAE International* 2021-09-22: <https://doi.org/10.4271/2021-26-0136>.
- Kamsar. «Analisis Sistem Hidrolik Pengangkat Pada Alat Berat Jenia Wheel Loader Studi Kasus Dinas Pekerjaan Umum Kab. Bombana». *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 2019. 1.1. P. 35–38.
- Force calculation of the drive of the upper gripper in the buckets of front loaders with forced unloading / Kryukov M. M., Rusan I. V., Arzhaev G. O., Malyshev D. O. *Construction technology*. 2003. No. 14. P. 8–12 [in Ukrainian].
- Rusan I.V., Arzhaev G.O. Study of parameters of buckets of front loaders with forced unloading. *Mining, construction, road and reclamation machines*. 2003. No. 61. P.100–106 [in Ukrainian].
- Dubyanskyi O. Calculation of the working equipment of a telescopic loader-manipulator. *Bus construction and passenger transportation in Ukraine: abstracts of reports of the III All-Ukrainian Scientific and Effective Conf.*, 22–23

February 2018. Lviv: University of Lviv Polytechnic, 2018. P. 18–22 [in Ukrainian].

21. About Dynamic Simulation URL: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2023/ENU/?guid=GUID-91C22CA7-853E-440D-A752-B532A8E4CF37>.

Рагулін Віталій Миколайович, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна, ragulinrvn@ukr.net, тел.: +38-050-545-80-70,

Яришко Олександр Володимирович к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна, yaryzko@gmail.com, тел.: +38-097-655-08-60,

Назарько Ольга Олександрівна, к.т.н., доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна, olganazamail@gmail.com, тел.: +38-066-66838-96.

Analyzing the load for the design elements of the working equipment of the loader with a telescopic boom

Abstract. Problem. The pace of road construction and reconstruction dictates high requirements for modern equipment, and in most cases the requirements relate to work equipment. When performing technological operations, external loads are transmitted through the main working body to all elements of work equipment, components and parts of the machine as a whole. **Methodology.** The use of software products makes it possible to preanalyze any combinations of design, modeling, as well as strength studies and strength testing. On the basis of the obtained data, it is possible to analyze the load in the nodes of the metal structure of the working equipment without conducting field tests. The work is a continuation of previous studies using computer modeling methods in the engineering industry. Designing or modernization of technical objects at the moment is impossible without creating three-

dimensional models. The purpose of this work is to develop a digital model of the telescopic loader equipment in the "Dynamic Simulation" environment of the Autodesk Inventor software package, to perform research on the kinematics of movement and load modes of individual elements. The use of telescopic working equipment expands the capabilities of front loaders on a wheel base, but in turn, leads to an increase in material costs during design and production. **Results.** The process of separate scooping of bulk material in a stack is considered, which consists in introducing a bucket into the stack with a progressive movement followed by stopping the loader and turning the bucket. **Originality.** The main forces acting on the working equipment during the rotation of the bucket and the boom during the scooping process are the gravitational forces of the elements of the working equipment, non-conservative forces arising in the cylindrical surface of the section and the normal force from the side of the wall of the stack of material. **Practical value.** External loads are applied to the edge of the bucket. Their direction depends on the trajectory of the working equipment and in the process of simulation they changed depending on the current vertical coordinate of the cutting edge of the bucket.

Key words: loader, telescopic work equipment, construction machines, computer modeling, design, software product.

Ragulin Vitaliy, PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry Str., Kharkiv, 61002, Ukraine, ragulinrvn@ukr.net, тел.: +38-050-545-80-70,

Yaryzhko Aleksandr PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry Str., Kharkiv, 61002, Ukraine, yaryzko@gmail.com, тел.: +38-097-655-08-60,

Nazarko Olga, PhD, Assoc. Prof. Department of Engineering and Computer Graphics, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry Str., Kharkiv, 61002, Ukraine, olganazamail@gmail.com, тел.: +38-066-66838-96.