

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.341

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.43

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КВАЛІМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
УНІВЕРСАЛЬНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ ЕКСКАВАТОРІВКириченко І. Г.¹, Ковалевський С. Г.¹, Хачатурян С. Л.²¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет²Центральноукраїнський національний технічний університет

Анотація. У статті розглянуто результати досліджень перспектив і тенденції розвитку сучасного екскаваторобудування на базі аналізу кваліметричних показників машин, що виробляють всесвітньо відомі фірми, компанії та корпорації. Подано результати статистичного моделювання типорозмірних рядів будівельних гідравлічних екскаваторів і отримано кореляційні залежності.

Ключові слова: гідравлічний екскаватор, типорозмірний ряд, статистичне моделювання, адекватність моделі, модульні конструкції, кваліметричні показники.

Вступ

Проектування технологічних машин починається з розроблення конструкторських схем, вибору комплектуючих вузлів, агрегатів, стандартних виробів тощо. У проектуванні екскаваторів або інших технологічних машин упроваджуються такі методи, як типізація, уніфікація, модульне конструювання.

Типізація широко застосовується в процесі конструювання машин однакового технологічного призначення, але різноманітних геометричних параметрів. Таким чином формуються типорозмірні ряди машин.

Оскільки більшість виробників машинобудівної продукції не обмежується випуском тільки одного виду техніки, наприклад бульдозерів, екскаваторів, навантажувачів і так і інше, то застосовується метод міжвидової уніфікації, що дає змогу суттєво зменшувати фінансові витрати на проектування та виготовлення машин. Найбільш ефективними і поширеними на цей час є принципи модульного формування технічних об'єктів.

Сучасний стан конструювання технологічних машин забезпечує широке впровадження комп'ютерно-інтегрованих технологій як у процесі геометричного моделювання розроблювальних компонентів, так і під час динамічного моделювання функціональних і технологічних параметрів.

Аналіз публікацій

У навчальному процесі кафедри будівельних і дорожніх машин ХНАДУ застосовуються ці принципи в курсовому та диплом-

ному проектуванні, а також у процесі виконання науково-дослідницьких робіт на всіх трьох рівнях освітньої діяльності. За останні роки накопичений досвід моделювання окремих технологічних машин, таких як навантажувачі, скрепери, мобільні підйомники, самостійні та мостові крани тощо [1].

Досвід комп'ютерного моделювання технологічних машин дає змогу дійти певних висновків щодо підвищення ефективності створення моделей і здійснення віртуальних досліджень.

Комп'ютерне моделювання сприяє розв'язанню значної кількості інженерних і дослідницьких завдань. Установлено, що створення 3D-моделей із детальною геометричною відповідністю суттєво ускладнює роботу програмних засобів у процесі проведення віртуальних експериментів. Подальший розвиток геометричного моделювання полягає у створенні параметричних сімейств деталей і вузлів для можливості вибору оптимальних розмірів об'єктів [2].

Набагато складнішими є завдання з моделювання поведінки машин, їх вузлів, агрегатів і складових частин. Ці завдання можуть бути виконані тільки методом послідовного наближення віртуальних об'єктів (комп'ютерних моделей) до реальних машин. Тому було прийнято рішення розподілити весь комплекс поставлених завдань на кластери, у яких можна отримувати достовірну інформацію за мінімальних термінів розроблення самих моделей, а також за умови найменшого навантаження програмних засобів [3, 4]. Так, наприклад, у моделюванні мобільного підйомника

вся увага зосереджувалася на визначенні параметрів маневреності, що відповідає певному кластеру дослідницьких завдань. У цьому разі актуальним є завдання розроблення комп'ютерної моделі ходового обладнання. У процесі моделювання детально відтворювалася геометрія рамних металоконструкцій та гідропривода керування.

Мета та постановка завдання

Нові машини бажано створювати на базі технічної інформації про сучасний стан досягнень у цій царині, а ще краще – усвідомлювати, за якими тенденціями розвиватиметься певна машинобудівна галузь.

Гідравлічні екскаватори почали з'являтися на будівельних майданчиках у середині минулого сторіччя. Тому одним із перспективних напрямів наукових досліджень може бути встановлення закономірностей щодо формування конструктивних параметрів певної групи машин, а в нашому випадку саме екскаваторів.

Необхідно розглянути досвід всесвітньо відомих виробників екскаваторів та іншої машинобудівної продукції, встановити кореляційні залежності між основними кваліметричними показниками, визначитися з напрямками, що мають місце в екскаваторобудуванні, а також спробувати змоделювати конструктивний вигляд машин у межах установлених тенденцій.

Основна частина

Найбільш відомими виробниками будівельної техніки, зокрема екскаваторів, є такі фірми та корпорації: *Komatsu, Hitachi, Liebherr, Volvo, Caterpillar, JCB, Kobelco, Doosan, Hyundai, Terex, Case, Atlas NewHolland, Menzi-Muck* тощо.

Розглянемо номенклатуру виробництва екскаваторів деяких компаній.

Liebherr спеціалізується на випуску екскаваторів середнього та важкого класів, а також машин, призначених для роботи в кар'єрах.

Гусеничні екскаватори *Liebherr* випускаються масою від 14 до 101 т. Потужність двигуна становить 76–400 кВт. Об'єм ковша дорівнює 0,17–6,5 м³.

Маса кар'єрних екскаваторів становить 110–800 т, потужність двигуна дорівнює 504–2984 кВт, об'єм ковша – від 6,8 до 42 куб. Усе робоче обладнання, а саме: ківш прямої лопати, ківш зворотної лопати, обладнання для розбирання будівель і для перевалки вантажів – виготовляється компанією *Liebherr*.

Концерн *Volvo* заснований 1915 року. Марка більш відома як виробник легкових автомобілів, але, починаючи з 50-х років минулого сторіччя, *Volvo* також випускає гідравлічні екскаватори. Сучасні підприємства *Volvo* виготовляють самоскиди, автобуси, навантажувачі, двигуни й навіть продукцію військового призначення.

Корпорація *JCB* має 18 заводів, розташованих на чотирьох континентах: одинадцять з них у Великій Британії, три в Індії та по одному в США, Китаї, Німеччині та Бразилії.

JCB випускає 16 моделей екскаваторів (п'ять моделей колісних і 11 моделей гусеничних). Крім цього, *JCB* виробляє значну кількість тракторів різноманітного призначення, а на їх базі – навантажувачі або екскаватори-навантажувачі.

Перші гідравлічні екскаватори *Komatsu* були випущені ще 1968 року в Японії. Відтоді японська компанія досягла статусу найбільшого виробника гусеничних екскаваторів у світі.

Гусеничний екскаватор PC300LC – один із найбільш вдалих варіантів великовагової будівельної техніки. Компанія-виробник подбала не лише про надійність, інноваційні рішення та продуктивність, але також потурбувалася про довкілля, встановивши двигун, що повністю відповідає європейським стандартам якості.

Hitachi пів століття розробляє та виробляє будівельну техніку. Ця компанія пропонує світовому ринку найширший асортимент гідравлічних екскаваторів різних моделей: від одностонних мініекскаваторів *Zaxis* до 800-тонних кар'єрних гігантів серії *EX*. Нова гідравлічна система в поєднанні з новим двигуном забезпечує ефективне використання енергії гідропривода для збільшення швидкості робочих рухів, підвищення продуктивності та паливної економічності.

Високопродуктивний екскаватор із грейферним ковшем на телескопічній рукояті дає змогу здійснювати копання на глибині до 30 м і завантаження самоскидів з малою тривалістю робочого циклу, що підвищує продуктивність.

Компанія *Hitachi* має неабиякий досвід у проектуванні та виробництві навіть таких складних машин, як екскаватори для знесення будівель і споруд. Флагманом модельного ряду лінійки руйнівників є ZX1000K, який здатний забезпечити висоту руйнування до 40 м.

Одним із потужних виробників екскаваторів є фірма *Doosan* з Південної Кореї. Крім цього, ця фірма випускає іншу будівельну техніку, а також двигуни, броньовані транспортні засоби, ракетні комплекси та верстати з програмним керуванням.

З 1985 року *Doosan* починає виробляти екскаватори серії *Solar*, а вже за два роки випуск цих машин перевищив 10 тис. одиниць.

Doosan входить в рейтинг 10 найпотужніших виробників будівельної техніки.

Історія *Kobelco* починається 1905 року, коли була заснована фірма *KobeSeikoshu*. *Kobelco* спеціалізується на важкій техніці: крани, екскаватори, ковшові навантажувачі. Техніка *Kobelco* випускається на заводах, розташованих у трьох країнах: Японії, Китаї та Таїланді. Наразі фірма виробляє екскаватори з масою від 1 до 137 т та об'ємом ковша від 0,022 до 5,1 м³.

Caterpillar – один із найпотужніших виробників будівельної техніки. Найбільш відомою продукцією з маркою *CAT* є бульдозери, скрепери, автогрейдери й, безумовно, екскаватори.

Цей виробник будівельної техніки, як і багато інших, застосовує принципи модульного формування своїх машин. Розглянемо це на прикладі колісного екскаватора моделі M320D2B. У цьому разі буде показано модульне виконання робочого обладнання, що передбачає можливість використання двох видів стріл: класичної та зчленованої.

На рис. 1 зображено екскаватор з робочим обладнанням «зворотна лопата» традиційного конструктивного виконання.

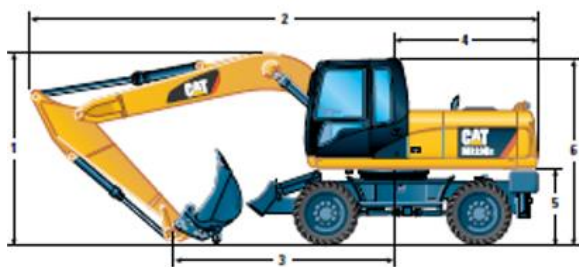


Рис. 1. Гідравлічний екскаватор класичного конструктивного виконання

Саме за цією схемою виготовляли більшість гідравлічних екскаваторів у минулому. У класичній схемі передбачалося три механізми керування робочим обладнанням: поворотів стріли, рукояті та ковша. Але згодом, коли отримав певний розвиток гідропривод, розпочалося впровадження нових конструктивних схем.

Якщо стрілу зробити зчленованою (рис. 2), що має дві керовані секції, то завдяки додатковому гідравлічному механізму керування вдалося суттєво розширити функціональні й технологічні можливості робочого обладнання екскаваторів. Одним із кваліметричних показників для екскаваторів може слугувати площа зони обслуговування.

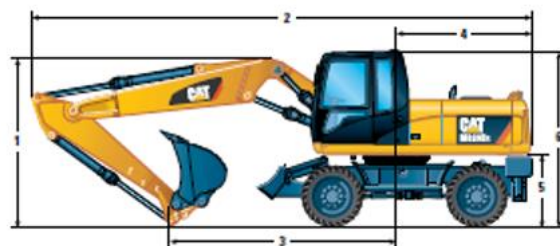


Рис. 2. Екскаватор із зчленованою стрілою

Якщо стрілу зробити зчленованою (рис. 2), що має дві керовані секції, тоді зона обслуговування може бути збільшена. Крім цього, кожен з елементів металоконструкції робочого обладнання може мати декілька модульних варіантів. Це дає змогу змінювати геометричні розміри 1, 2, 3, які показані на рисунках.

Більшість сучасних екскаваторів оснащені допоміжним обладнанням: *Quick-Coupler*, *Steelwrist*, *TiltRotator*. Ці засоби також мають гідравлічний привод і дають змогу розширювати технологічні параметри екскаваторів.

За допомогою *Quick-Coupler* оператор здатний швидко змінювати робочі органи, наприклад, використовувати різноманітні конструкції ковшів залежно від характеру технологічних операцій. Робочі органи універсальних екскаваторів можуть бути як пасивної, так і активної дії, тобто коли потужність гідравлічного привода передається безпосередньо на робочий орган.

Steelwrist дає змогу нахилити ківш в обидва боки на 45 градусів.

TiltRotator уможливорює обертання ковша або іншого інструмента навколо власної осі на 360 градусів.

Отже, екскаватори, що мають такі засоби, можуть виконувати функції як зворотної, так і прямої лопати.

Відомі приклади, коли на екскаваторному обладнанні встановлюють додаткові шарніри, що ще більше розширює як зону обслуговування, так і технологічні властивості.

Колісні екскаватори мають гідрофіковані аутригери та бульдозерні відвали, що, крім свого основного призначення, можуть виконувати функцію аутригера.



Рис. 3. Екскаватор *Mecalac* з електричним приводом ходового й робочого обладнання

Екскаватор французької фірми *Mecalac* має п'ять гідроциліндрів робочого обладнання та гідрофіковані аутригери (рис. 3).

Збільшення механізмів керування робочим обладнанням зумовлює необхідність відповідних кінематичних досліджень на стадії проектування таких машин. Ці дослідження можуть бути виконані достатньо ефективно за допомогою 3D-моделювання в програмі *Autodesk Inventor*.

Саме такі завдання постають перед студентами механічного факультету в процесі виконання курсових проектів, а також кваліфікаційних робіт бакалаврів і магістрів.

Комп'ютерне моделювання дає змогу швидко та якісно визначати не тільки геометричні

параметри зони обслуговування робочого обладнання, а також проводити кінематичний і силовий аналіз складних шарнірних систем.

Дослідження можуть бути спрямовані й на пошук найбільш ефективних схем розташування модульних компонентів.

Після силового аналізу, як правило, виконують розрахунки на міцність основних елементів робочого обладнання, шарнірних з'єднань, металоконструкцій стріли, рукояті тощо. Ці розрахунки можуть виконуватися безпосередньо в *Autodesk Inventor* або в інших програмних засобах після відповідного імпортування графічних елементів складових частин 3D-моделі екскаватора до програми *ANSYS*.

Формування компоувальних схем екскаваторів зазвичай відбувається тільки за наявності технічної інформації про геометричні та вагові параметри всіх компонентів робочого обладнання, а також вузлів і агрегатів, що встановлюються на поворотній платформі.

Загалом розміщення модульних компонентів разом із масою противаги дають змогу визначити масу екскаватора.

У нашому дослідженні було поставлено завдання визначити кореляційні залежності між масою машини й потужністю двигуна для моделей відомих виробників, що подані в табл. 1.

Таблиця 1 – Кількість моделей екскаваторів провідних світових виробників

Виробники	Кількість моделей екскаваторів у типорозмірних групах (м ³)							
	гусеничні					колісні		Загальна
	0,2–0,5	0,6–1,0	1,1–1,6	1,7–2,4	2,5–4,0	0,2–0,5	0,6–1,5	
Komatsu	4	6	5	3	3	4	5	30
Hitachi	8	5	5	2	4	2	2	28
Liebherr	2	4	2		2	6	3	19
Atlas		3	1	1		3	7	15
Case	3	4	4	1	1	2	3	18
Caterpillar	2	4	3	2	1	2	2	16
JCB	1	6	3	1		2	3	16
Volvo	1	3	2	1	1	4	2	14
Kobelco	1	4	2	1		2	2	12
Daewoo	1	3	4		4	2	2	16
Hyundai	1	4	3	2	1	3	2	16

Найбільшу кількість моделей екскаваторів виробляє *Komatsu*. Кількість моделей у кожній типорозмірній групі коливається від 3 до 6. Маса будівельних екскаваторів становить 10–40 т. Залежність потужності двигуна від маси екскаватора наведена на рис. 4.

Фірма *Komatsu* встановлює на своїх екскаваторах двигуни переважно власного виробництва.

З 28 моделей екскаваторів *Hitachi* більшість – це гусеничні машини, 24 – належать до типорозмірної групи машин із ківшами від 0,2 до 0,5 м³ (рис. 5). *Hitachi*, як і *Komatsu*, *Volvo*, *Caterpillar* та інші компанії, має власне виробництво двигунів, але на своїх екскаваторах установлює двигуни *Cummins*, *Mitsubishi*, *Isuzu* на замовлення споживачів продукції.

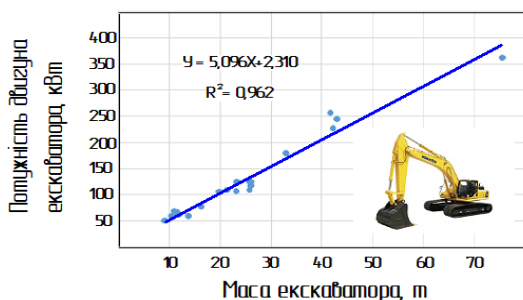


Рис. 4. Залежність потужності двигуна від маси екскаваторів виробництва *Komatsu*

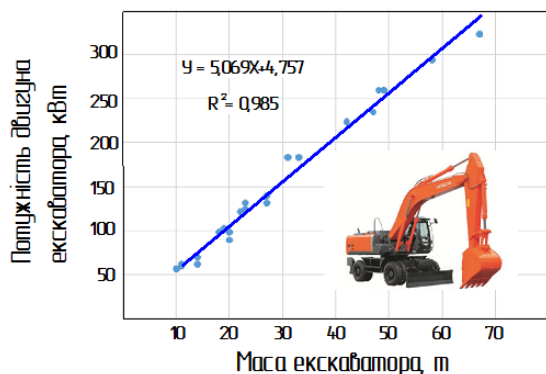


Рис. 5. Залежність потужності двигуна від маси екскаваторів виробництва *Hitachi*

Huindai випускає 16 моделей у всіх типорозмірних групах кількістю від 1 до 4 моделей. Загальні закономірності для більшості моделей різних виробників показують, що на кожну тону маси необхідно мати приблизно 5 кВт потужності двигуна (рис. 6).

Volvo, як і *Huindai*, установлюють власні двигуни не тільки на екскаваторах та інших будівельних машинах, тому лінійка двигунів їх виробництва доволі широка (рис. 7).

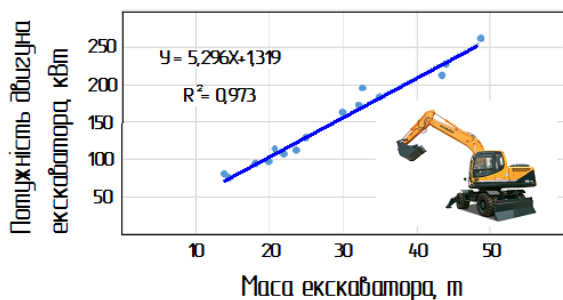


Рис. 6. Залежність потужності двигуна від маси екскаваторів виробництва *Huindai*

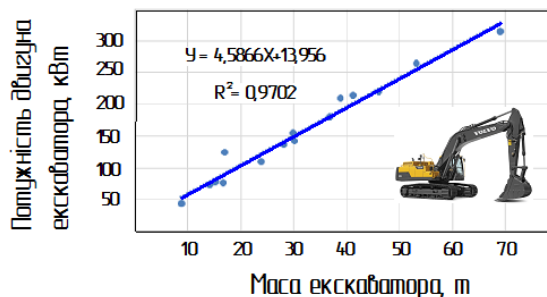


Рис. 7. Залежність потужності двигуна від маси екскаваторів виробництва *Volvo*

На екскаваторах *Kobelco* встановлюються двигуни *Fiat-Kobelco*, *Isuzu*, а для мініекскаваторів – двигуни *Kubota*. Ця фірма випускає лише 12 моделей екскаваторів, але серед них є моделі з робочим устаткуванням, що призначене для виконання спеціальних технологічних операцій, наприклад руйнування залізобетонних споруд.

Висновки

Основним напрямом у вдосконаленні конструктивного виконання екскаваторів є розширення технологічних можливостей машин завдяки широкому впровадженню гідравлічних приводів. Кількість механізмів робочого обладнання, керованих гідравлічними приводами на сучасних екскаваторах, може становити 5–8 і навіть більше.

Функціональні схеми робочого обладнання стають все більш розвиненими. Зростає кількість шарнірних з'єднань, що дає змогу розширювати зону обслуговування.

У роботі встановлено кореляційні залежності між масою та потужністю екскаваторів на базі аналізу технічних характеристик 11 всесвітньо відомих виробників.

Література

1. Черніков О.В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2016. Вип. 73. С. 239–244.
2. Кириченко І.Г., Черніков О.В. Можливості та обмеження комп'ютерного моделювання технологічних машин. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2023. Вип. 101. Том 1. Харків. С. 53–60.
3. Черніков О.В., Москаленко А.І. Розробка параметричних моделей з урахуванням динамічних та міцнісних характеристик. Прикл. геометрія та інж. графіка. Київ: КНУБА, 2011. Вип. 87. С. 431–434.
4. Кириченко І.Г., Черніков О.В., Корецький Я.Г. Моделювання ходового обладнання мобільних

- підйомників. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2023. Вип. 101. Том 1. С. 68–74.
5. Хмара Л.А., Кириченко І.Г., Шатов С.В., Голубченко О.І., Кроль Р.М., Холодов А.П. Машины для земляних робіт (Атлас конструкцій). Навчальний посібник. Дніпро – Харків: ПДАБА – ХНАДУ, 2021. 321 с.
 6. Об'ємний гідропривід в мобільних підйомниках з робочими платформами: монографія / Кириченко І.Г., Аврунін Г.А., Самородов В.Б., Яришко О.В. Харків: ХНАДУ, 2018. 295 с.
 7. Кириченко І.Г., Резніков О.О., Рукавишников Ю.В., Книщенко А.О. Аналіз рівня технічного розвитку мобільних підйомників із робочими платформами. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021. Вип. 92. Том 1. С. 149–153.
 8. Сучасні методи моделювання та керування екскаваторами: монографія / Гурко О.Г., Кириченко І.Г., Аврунін Г.А., Яришко О.В. Харків: ХНАДУ, 2020. 203 с.
 9. Мобільні підйомники з робочими платформами: монографія / Кириченко І.Г., Резніков О.О., Аврунін Г.А., Книщенко А.О. Харків: ФОП Бровін О.В., 2022, 114 с. SBN 978-617.8009.95-3.
 10. Роговий А.С. Використання методів числового вирішення задач інженерного аналізу: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2019. 112 с.

References

1. Chernikov O.V. Vprovadzhennya suchasnih tehnologij komp'yuternogo modelyuvannya v navchalnij process. Visnik Harkivskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnoho universitetu. 2016. Vip. 73. S. 239–244.
2. Kirichenko I.G., Chernikov O.V. Mozhlivosti ta obmezhenya komp'yuternogo modelyuvannya tehnologichnih mashin. Visnik Harkivskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnoho universitetu. 2023. Vip. 101. Tom 1. Harkiv. S. 53–60.
3. Chernikov O.V., Moskalenko A.I. Rozrobka parametrichnih modelej z urahuvannyam dinamichnih ta micnisnih harakteristik. Prikl. geometriya ta inzh. grafika. Kiyiv: KNUBA, 2011. Vip. 87. S. 431–434.
4. Kirichenko I.G., Chernikov O.V., Koreckij Ya.G. Modelyuvannya hodovogo obladnannya mobilnih pidjomnikov. Visnik Harkivskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnoho universitetu. 2023. Vip. 101. Tom 1. S. 68–74.
5. Hmara L.A., Kirichenko I.G., Shatov S.V., Golubchenko O.I., Krol R.M., Holodov A.P. Mashini dlya zemlyanih robit (Atlas konstrukcij). Navchalnij posibnik. Dnipro – Kharkiv: PDABA – HNADU, 2021. 321 s.
6. Ob'yemnij gidroprivid v mobilnih pidjomnikah z

- robochimi platformami: monografiya / Kirichenko I.G., Avrunin G.A., Samorodov V.B., Yarizhko O.V. Kharkiv: HNADU, 2018. 295 s.
7. Kirichenko I.G., Ryznikov O.O., Rukavishnikov Yu.V., Knishenko A.O. Analiz rivnya tehničnogo rozvitku mobilnih pidjomnikov iz robochimi platformami. Visnik Harkivskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnoho universitetu. 2021. Vip. 92. Tom 1. S. 149–153.
 8. Suchasni metodi modelyuvannya ta keruvannya ekskavatorami: monografiya / Gurko O.G., Kirichenko I.G., Avrunin G.A., Yarizhko O.V. Kharkiv: HNADU, 2020. 203 s.
 9. Mobilni pidjomniki z robochimi platformami: monografiya / Kirichenko I.G., Ryznikov O.O., Avrunin G.A., Knishenko A.O. Harkiv: FOP Brovin O.V., 2022, 114 s. SBN 978-617.8009.95-3.
 10. Rogovij A.S. Viktoristannya metodiv chisloвого virishennya zadach inzhenerного analizu: navchalnij posibnik. Kharkiv: HNADU, 2019. 112 s.

Кириченко Ігор Георгійович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна, тел.+380(67)705-54-74, igk160450@gmail.com,

Ковалевський Сергій Германович, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна, тел.: +380(97)240-71-80, 2407180@ukr.net,

Хачатурян Сергій Леонідович, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, Університетський проспект, 8, м. Кропивницький, 25000, Україна, тел.: +380(96)033-71-91, serg130354@gmail.com.

Static modelling of qualimetric indicators of universal hydraulic excavators

Abstract. Problem. The analysis of modern methods used by leading world manufacturers in the design of construction and road machines, such as typing, unification, modular design, emphasises the need for their application in the development of domestic machinery. Training in the implementation of modern computer-integrated technologies is an urgent task that needs to be addressed throughout the entire university education, in course and diploma work, and in research activities. It is desirable to create new machines on the basis of technical information about the current state of achievements in the industry and an understanding of the trends in excavator production. **The main goal.** The aim of the work is to study the regularities in the formation of design parameters of a certain group of construction machines based on the establishment of features

inherent in modern excavators of various types and sizes, studying the range of earthmoving equipment manufactured by well-known world companies, obtaining correlation dependencies between the main qualimetric indicators, as well as computer modelling of the design of machines within the established trends. **Methodology.** It consists in the widespread use of computer-integrated technologies, both in the geometric modelling of the designed components and in the dynamic modelling of functional and technological parameters, which allows us to draw certain conclusions about improving the efficiency of model creation and virtual research. The research was carried out using computer modelling in the Autodesk Inventor software. **Results.** The article presents the results of studies of prospects and trends in the development of modern excavator construction based on the analysis of qualimetric indicators of machines manufactured by world-famous firms, companies and corporations, which show that the functional schemes of working equipment are becoming more developed, the number of hinge joints is increasing, which allows expanding the service area. **Originality.** It consists in the results of statistical modelling of the standard size series of hydraulic construction excavators and obtaining correlation dependencies between the weight and power of excavators based on the analysis of technical characteristics of 11 world-famous

manufacturers. **Practical value.** The main trend in improving the design of excavators is to expand the technological capabilities of hydraulic driven working equipment, the number of which on modern excavators can be 5-8 or even more, which should be taken into account when designing new machines.

Keywords: hydraulic excavator, size range, statistical modelling, model adequacy, modular structures, qualimetric indicators.

Kyrychenko Igor, Professor, Doct. of Science, Department of construction and road machines, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslav Mudryho Str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +380(67) 705-54-74, igk160450@gmail.com,

Kovalevskyi Serhii, PhD, Associate Professor, Department of construction and road machines, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslav Mudryho Str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38(097) 240-71-80, 2407180@ukr.net,

Khachatryan Serhii, PhD, Associate Professor, Department of build and travelling machines, Central Ukrainian National Technical University, 8 Universytetskyi Avenue, Kropyvnytskyi, 25000, Ukraine, tel. +380(96) 033-71-91, serg130354@gmail.com.
