

УДК 625.1

Аналіз динаміки навісного обладнання одноківшевого екскаватора при роботі зі змінним робочим обладнанням

Олексій Проскурін

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, 03037
proskurin.og@knuba.edu.ua

Received: 10.05.2022; Accepted: 25.05.2022
<https://doi.org/10.32347/gbdmm.2022.99.0401>

Анотація. Представлені результати аналітичного дослідження дії динамічних навантажень на обладнання одноківшевого екскаватора, виконано аналіз попередніх досліджень. Розглянута динамічна та статична стійкість проти перекидання. Описана доцільність використання адаптивної рухомої противаги для одноківшевих екскаваторів.

Ключові слова: динамічні навантаження, статичні навантаження, рівновага, стійкість.

ВСТУП

Основними машинами, які забезпечують механізацію робіт, є екскаватори. На них долю приходиться 60% всього об'єму земляних робіт.

Крім того, універсальними одноківшевыми екскаваторами з крановим, вантажним і іншими видами змінного робочого обладнання виконується великі об'єми вантажно-розвантажувальних, монтажних і інших робіт, пов'язаних з механізацією важких і трудомістких процесів.

Модернізація існуючого та створення нового робочого обладнання землерийних машин є перспективним напрямом підвищення ефективності їх використання. Зокрема, при цьому, важливим є збереження стійкості машини, що зумовлене зміною специфіки робочих процесів цих машин при варіації їх робочих органів. Практично це вирішується використанням рухомої противаги на базових машинах. Цікавим є розробка рухомої противаги для одноківшевого

екскаватора, що має зміни свого положення у відповідності до умов роботи машини.

З аналітичного дослідження виявлено, що однією з головних причин довготривалих простоїв екскаваторів на ремонтах являються руйнування і недопустимі деформації ряду деталей їх основних вузлів.

Причиною цих деформацій і руйнувань, як показує аналіз, являється динамічні навантаження, діючих на вузли екскаваторів в процесі експлуатації.

МЕТА РОБОТИ

Аналітичне дослідження динамічних та статичних навантажень на одноківшевий екскаватор та навісного обладнання та їх вплив.

НАУКОВА НОВИЗНА

Дослідження силових параметрів та режимів руху рухомої противаги. Створення засобів забезпечення стійкості та підвищення ефективності одноківшевого екскаватора за рахунок рухомої противаги. Дослідження адаптивної системи забезпечення рівноваги одноківшевого екскаватора.

ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА

Одноківшеві екскаватори призначені для виїмки зв'язкових та сипких ґрунтів з

масиву, а також скельних ґрунтів із вибою, розпушеного вибухом з навантаженням їх у транспортні засоби або вивантаження у відвал. Одноковшеві екскаватори застосовуються для розробки ґрунтів до VI категорії включно. Використання різних видів змінного робочого обладнання значно розширює сферу застосування екскаваторів і робить їх універсальними машинами, здатними виконувати найрізноманітніші види земляних, вантажних та інших робіт [5].

Універсальні екскаватори мають 6-8 видів змінного робочого обладнання. Найбільш часто вони використовуються з робочим обладнанням пряма лопата, зворотна лопата, а також драглайна і крана.

На Рис. 1. показано універсальний екскаватор з робочим обладнанням зворотна лопата.



Рис. 1. Універсальний екскаватор з робочим обладнанням зворотна лопата

Fig. 1. Universal excavator with working equipment reverse shovel

Розглянемо металоконструкції робочого обладнання екскаватора (Рис.2). Ними являються стріла 1, яка прикріплена до поворотної платформи 7, рукоять 2, ківш 3, робоче обладнання приходить в дію за допомогою гідроциліндрів 4-6.

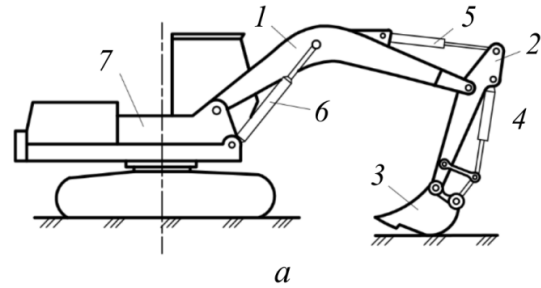


Рис. 2. Металоконструкції робочого обладнання одноківшевого екскаватора

Fig. 2. Metal structures of the working equipment of a single-bucket excavator

Робочий процес одноківшевого екскаватора являється циклічність виконання робочих операцій - копання і транспортування ґрунту до місця розвантаження. Ця особливість в значній мірі впливає і на характер виникаючих динамічних навантажень. Також виконується ряд допоміжних операцій зв'язаних з підйомом, опусканням чи висуненням ковша під розвантаження чи в початкове положення. Через циклічність робочого процесу одноківшевого екскаватора виникають динамічні навантаження на машину, які негативно впливають на стійкість.

СТІЙКІСТЬ

Здатність машини протидіяти зовнішнім навантаженням, включаючи сили тяжіння ґрунту в ковші, а також складових частин екскаватора, протидія ґрунту копанню і сил інерції, які не дають перекинутися та здвинути опорну частину екскаватора відносно ґрунтової основи називається стійкістю екскаватора. [1]

Стійкість залежить від конструктивних параметрів машини, з іншої сторони – від дій оператора. Умовно можна відрізнити власну та керовану стійкість машини: перша залежить від конструктивних параметрів машини, а друга – від дій оператора, і направлених на збереження стійкості машини в критичних ситуаціях, зміною швидкості руху чи положення машини та її робочого обладнання. Така стійкість називається "активною".

Стійкість будівельної машини характеризується коефіцієнтом запасу стійкості:

$$K_c = \frac{M_u}{M_{пер}} \quad (1)$$

де M_u - момент відносно ребра перекидання утримуючих сил, $H \cdot m$; $M_{пер}$ - момент відносно ребра перекидання перекидних сил, $H \cdot m$.

Статична стійкість проти перекидання характеризується рівноважним станом машини під впливом зовнішніх навантажень, постійних за значенням та напрямом. При розрахунку статичної стійкості визначають умову, якій повинна задовольняти система сил, що навантажують машину, щоб остання знаходилася в рівновазі. Стан статичного рівноваги характеризується у своїй тим, що машина тривалий час перебуває у спокої. Порушення такого стану викликає практично миттєве перекидання машин. [2]

Здатність машини протидіяти максимальним статичним перекидним навантаженням визначає максимальну стійкість проти перекидання.

В залежності від напрямку перекидання розрізняють бокове та подовжнє перекидання.

Цілю статичного розрахунку екскаваторів є виявлення врівноваженості поворотної платформи, стійкості екскаватора, сили в роликах та захоплюючих пристроях опорно-поворотного кола, опорні реакції та тиск на ґрунт.

Врівноваження поворотної платформи досягається відповідним розміщенням всіх механізмів на поворотній платформі та вибором маси противаги.

Потребує усунення виходу результуючої сили тяжіння платформи механізму та робочого обладнання за периметр опорного круга при повороті платформи з повним навантаженням та без навантаження на робочому органі.

Утримуючий момент утворюється від рівнодіючої сил тяжіння всіх частин екскаватора, що обертаються (за винятком

робочого обладнання) на плечі відносно осі обертання платформи. У протилежному напрямку на платформу екскаватора діє перекидальний момент $M_{пер}$ від сили тяжіння робочого обладнання з вантажем, висунутим на максимальний виліт.

Стійкість екскаватора ділять на стійкість при копанні та всі інші стани екскаватора.

Розрахунок стійкості зводиться до наступних розрахункових положень.

Пряма лопата:

- кінець копання, на ківш, заповнений ґрунтом, діє сила різання, ручка горизонтальна, стріла розташована під кутом $35...40^\circ$ до горизонту, робоче обладнання розташоване поперек ходового обладнання, опорний майданчик горизонтальний, вітер у бік вибою з напором 250 Н/м^2 . Рівняння моментів становлять відносно найближчого до забою краю гусениці (коліс);
- ківш у вибої уперся у перешкоду, стріла розташована під кутом $35 - 40^\circ$ до горизонту, рукоять горизонтальна, реалізується максимальне зусилля в гідроциліндрах повороту рукояті, вітру немає, опорний майданчик горизонтальна, робоче обладнання поперек ходового обладнання. Рівняння моментів складають щодо найближчого до вибою краю гусениці (коліс);
- рух екскаватора на підйом з кутом $20...22^\circ$, робоче обладнання попереду та по ходу руху, стріла під кутом $13...20^\circ$ до горизонту, ківш біля поверхні ґрунту, вітер у бік ухилу з напором 250 Н/м^2 . Рівняння моментів складають щодо лінії контакту задніх котків (коліс) із ґрунтом;
- рух екскаватора під ухил із кутом $20...22^\circ$, робоче обладнання попереду та по ходу руху, стріла піднята на максимальний кут до горизонту, ківш біля ходового обладнання, вітер у бік ухилу з напором 250 Н/м^2 . Рівняння моментів складають щодо лінії контакту передніх котків (коліс) із ґрунтом.

Зворотна лопата:

- вихід порожнього ковша із вибою, ківш уперся у перешкоду, робоче обладнання розташоване поперек ходового

обладнання, в гідроциліндрах повороту рукояті реалізується максимальне зусилля, опорна площадка горизонтальна, вітру немає. Рівняння моментів складають відносно найближчого до забою краю гусениці (коліс);

- розвантаження липкого ґрунту на максимальному вильоті робітника обладнання, робоче обладнання поперек ходового обладнання та спрямовано під ухил із кутом до 12° , вітру немає. Рівняння моментів складають щодо грані гусениці (коліс), розташованої з боку ухилу. Розрахунок стійкості екскаватора зводиться до визначення коефіцієнта запасу стійкості по формулі [1]. Для нормальних умов $K_y = 1,1 \dots 1,2$.

Врівноваження поворотної платформи забезпечується підбором противаги, при встановленні якої рівнодіюча всіх сил, що діють на платформу, що не виходить за контур опорно-поворотного пристрою. У процесі копання ґрунту допускається вихід рівнодіючої межі опорно-поворотного пристрою. При обладнанні прямої лопати, силу тяжіння противаги визначають для двох розрахункових положень, складаючи рівняння моментів відносно крайніх котків опорно-поворотного пристрою:

- перекидання платформи відбувається вперед, стріла знаходиться під кутом $35 \dots 40^\circ$ до горизонту, рукоять горизонтальна, ківш наповнений ґрунтом, копання немає;

- перекидання платформи назад, стріла під кутом 60° до горизонту, ківш розвантажений та опущений біля ходового обладнання. Для зворотної лопати масу противаги визначають також, виходячи з двох розрахункових положень: 1) перекидання вперед, завантажений ківш вийшов із вибою; 2) порожній ківш знаходиться на максимальному вильоті перед початком копання.

Визначення сили тяжіння противаги проводять методом мотузкового багатокутника або складанням рівняння моментів відносно крайніх точок контуру опорно-поворотного пристрою.

ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ

Боротьба зі зносом деталей та підвищення довговічності машин є найважливішими завданнями, оскільки на ремонти та міжремонтне обслуговування машин щорічно витрачаються великі кошти.

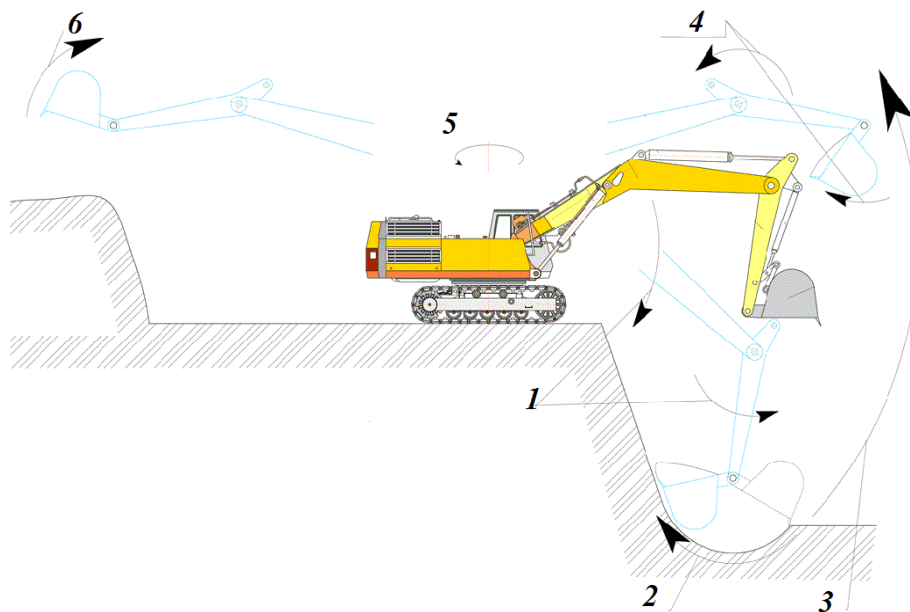


Рис. 3. Послідовність виконання робочих операцій одноківшевого екскаватора з робочим обладнанням зворотна лопата

Fig. 3. Sequence of work operations of a single-bucket excavator with working equipment reverse shovel

Однією з головних причин довготривалих простоїв екскаваторів на ремонтах являються руйнування і недопустимі деформації ряду деталей та їхніх основних вузлів. Причиною цих деформацій і руйнувань, як показує аналіз, є дійсні динамічні навантаження, діючі на вузли екскаваторів в процесі експлуатації. [1]

Вузли та елементи всіх землерийних машин піддаються впливу двох видів навантажень – постійних (вагові навантаження) і змінних (опір ґрунту на робочому органі, опір перекочування та ін.).

Зазвичай динамічні задачі зводяться до визначення максимальних навантажень, що виникають при стопорінні робочих органів або рушіїв при зустрічі з непереборною перешкодою, а також при нестационарних режимах розгону і гальмування механізмів приводу [2].

Динамічні навантаження в елементах та вузлах землерийних машин виникають у процесі виконання ними робочих рухів (циклічних та безперервних) [3].

Характерним прикладом циклічного руху, а отже, і циклічного навантаження є робочі процеси одноковшового екскаватора або деяких видів землерийно-транспортних машин (скрепери, бульдозери). У кожному процесі пов'язаним з рухом землерийної машини, є розгін, рух, гальмування, усталений рух, зупинка. [3]

На Рис. 3. показано циклічний робочий процес одноковшового екскаватора з робочим обладнанням зворотна лопата. В робочий процес послідовно входять такі процеси: 1 - заглиблення стріли та позиціонування рукояті; 2 - завантаження ковша; 3 - виглиблення стріли; 4 - поворот рукояті та ковша; 5 - поворот платформи; 6 - розвантаження ковша.

При роботі екскаватора в зв'язних ґрунтах, максимальні навантаження на робочому органі, елементи приводу робочого обладнання і в інших елементах конструкцій екскаватора отримуються на початку та в кінці копання [1]. Для аналізу динамічних явищ, діючих в цих машинах, необхідно оперувати даними, які

характеризують динаміку зовнішніх навантажень, динаміку конструкцій і динаміку конструкційних матеріалів [1].

На величину напруження при динамічних навантаженнях впливають параметри коливальних рухів (амплітуда, частота, дискримент загасання та ін.), характеристика пружних елементів у системі, а також зазори між частинами конструкції. Динамічний стан системи при необхідності може бути встановлений при розгляді конкретної характеристики приводу до механічної частини системи машини [2].

На характер динамічних коливань також впливає досвід та кваліфікація оператора. При роботі машиніста середньої кваліфікації у важких зв'язних ґрунтах III-IV групи навантаження порівняно рідко перевищували максимальне розрахункове більше ніж на 30-40%. Під час роботи в таких самих умовах машиніста з малим досвідом роботи, максимальне значення навантаження нерідко перевищувало максимальне розрахункове біль ніж на 60...80% [1].

Виконавши аналіз експериментальних досліджень на однокішшевих екскаваторах виявлено, що при роботі екскаватора в зв'язних ґрунтах, максимальні навантаження на робочому органі, в елементах приводу робочого обладнання і в інших елементах конструкцій екскаватора отримуються в кінці копання [1].

Аналіз осцилограм приведених в дослідженні [1] вказують на наявність коливальних навантажень на робочому органі, механізмів приводу і напружень в елементах робочого обладнання, виникаючих при копанні за рахунок пружності елементів конструкції екскаватора і динамічного характеру зміни зовнішніх навантажень. Основні коливання виникають при прискоренні робочого органа в початку копання.

Як показують дослідження [5] та розрахунки, напруження в елементах металоконструкцій робочого обладнання однокішшового екскаватора з ковшем ємністю $0,5 \text{ м}^3$ з урахуванням динамічних навантажень перевищують напруження від

статичних навантажень залежно від положення робочого обладнання (виліт, нахил стріли тощо) при розгоні 1,65...5,1, а при гальмуванні – 2,5...5,9 рази.

З допоміжних операцій, супроводжуваних значними динамічними навантаженнями, слідє відмітити процеси розвантаження липкого ґрунту з ковша. В цих випадках оператори змушені «трясти» ківш різкими гальмуваннями, при цьому різкі процеси гальмування ковша при опусканні супроводжуються, зазвичай, значними інерційними навантаженнями та коливаннями системи робочого обладнання [1]. Для збільшення утримуючого моменту потребується збільшення плеча противаги, яка б при максимальному виліті стріли змінювала своє положення та компенсувала момент перекидання, без суттєвого збільшення маси противаги. За рахунок зміни положення рухомої противаги навколо поворотної платформи одноківшевий екскаватор буде зберігати свою стійкість відносно похилої площини. Додаткова противага дає змогу виконувати циклічні операції на похилі площині без втрати стійкості.

Додаткові завдання в області динаміки гідравлічних екскаваторів виникають при використанні робочого обладнання ударного, віброударної або вібраційної дії. В цих випадках необхідно розглядати не тільки взаємодія ударного або вібраційного процесів робочого органу із середовищем, а й одночасно оцінювати ступінь передачі коливальних дій на елементи конструкції екскаватора.

1.1. Динамічна стійкість проти перекидання

Втрата динамічної рівноваги машини, яка викликає відрив її зовнішніх опор від основи, не обов'язково зв'язана з її перекиданням. Все залежить від зміни руху машини після втрати контакту її зовнішніх опор з основою, від того як буде розвиватися процес переходу динамічної системи з одного стану в інший. На характер і тривалість перехідного процесу в свою чергу впливають такі фактори, як початкові умови руху системи, попередні

втрати стійкості, обурення, діючи на входах системи, її інерційні властивості. В залежності від поєднання цих факторів початкового руху машини відносно осі перекидання може викликати короткочасний відрив її зовнішніх опор від основи. після чого машина повернеться в першочергове положення рівноваги, чи цей рух буде необоротним і приведе до перекидання машини [4].

Цікавий для розгляду досвід порівняльного розрахунку коефіцієнтів стійкості екскаватора з обладнанням "зворотна лопата", проведеного за цією методикою та методиками КЕЗ, ВНДІСДМ. Результати цих розрахунків наведено Рис 4. Значення розрахованих коефіцієнтів на Рис. 4 відповідають найгіршому для стійкості поєднанню кутів нахилу стріли, рукояті та ковша. Розрахунки за методиками КЕЗ (крива 1) і ВНДІСДМ (крива 2) показують, що стійкість екскаватора забезпечується за будь-яких кутах повороту платформи, оскільки ($K > 1$). У той час як розрахунок за уточненою методикою (крива 3) вказує на те, що при $\alpha_n < 70^\circ$ коефіцієнт стійкості менше 1, що свідчить про відрив від основи опор, що не лежать на ребрі перекидання. Однак через короткочасну дію динамічних навантажень екскаватор не перекидається, а тільки піднімається відносно опорної поверхні на невеликий кут. Найгіршим для стійкості є положення платформи екскаватора, що визначається кутом α_n від 0 до 20° . Аналіз впливу зусиль, що

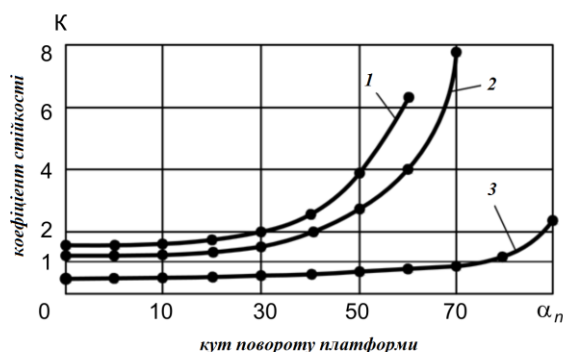


Рис. 4. Розрахунок стійкості екскаватора різними методиками

Fig. 4. Calculation of the stability of the excavator by various methods

становлять перекидальний момент, показав, що при цих кутах найбільший вплив на стійкість надає перекидний момент від сил інерції гальмування стріли. При $\alpha_n = 60 - 80^\circ$ найбільший вплив на стійкість надає перекидальний момент від сил Коріоліса при суміщенні поворотів платформи та стріли. Перекидуючими моментами від сил вітру і відцентрових сил при повороті рукояті можна знехтувати [7].

З аналітичного дослідження можна висунути гіпотезу, що за рахунок адаптивної системи рухомої протизаги можна зменшити динамічні навантаження на одноківшевий екскаватор. За рахунок динамічної дії рухомої протизаги можна компенсувати динамічні навантаження, що діють на систему.

Зменшення динамічного навантаження на одноківшевий екскаватор збільшить техніко-економічні показники, довговічність деталей, вузлів машини та рівновагу всієї системи, що прямо веде до збільшення безпеки на робочому майданчику в цілому.

В подальшому потребується експериментальне дослідження динамічних навантажень на одноківшевий екскаватор. Розробка та дослідження адаптивної системи, що буде компенсувати динамічні навантаження, Розрахунок руху адаптивної системи рухомої протизаги. Визначення максимальних положень рухомої протизаги. Експериментальне дослідження динамічних навантажень, що діють на одноківшевий екскаватор з адаптивною системою забезпечення рівноваги та без неї.

ПОПЕРЕДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

З аналітичного дослідження патенту на корисну модель одноківшевого екскаватора Рис. 5 виявлено, що за рахунок використання потенціальної енергії рухомої протизаги можна зменшити витрати енергії на підйом робочого обладнання при розробки ґрунта одноківшевим екскаватором. В залежності від характеру та умов ґрунта автоматично здійснюється установка траєкторії переміщення рухомої протизаги. Перевагами такого одноківшевого

екскаватора полягає в тому, що на цьому екскаваторі при незмінній потужності двигуна можна встановити ківш більшої ємності та забезпечити збільшення продуктивності екскаватора.

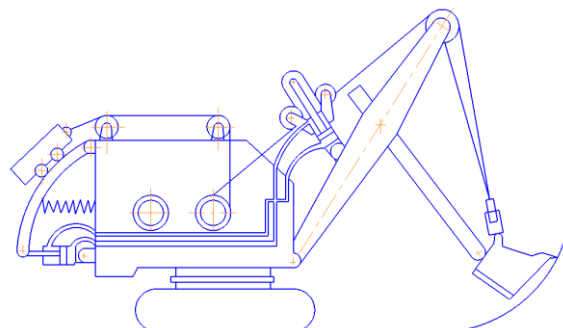


Рис. 5. Корисна модель канатного одноківшевого екскаватора з рухомою протизагою

Fig. 5. A useful model of a single-bucket rope excavator with a movable counterweight

Недоліком даної конструкції являється те що вона підходить тільки для канатних екскаваторів. [9]

В патенті на корисну модель одноківшевого екскаватора Рис.6. вирішується проблема стійкості екскаватора. Виявлено, що на похилій площині змінюється центр мас, що зменшує стійкість машини, то ж в ході роботи була забезпечена стійкість машини від перекидання. [8]

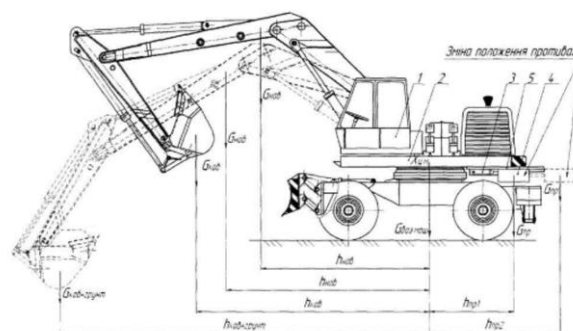


Рис. 6. Корисна модель одноківшевого екскаватора з рухомою протизагою

Fig. 6. A useful model of a single-bucket excavator with a movable counterweight

До поворотної платформи горизонтально прикріплені корпуси гідроциліндрів у напрямках з можливістю повздовжнього переміщення. Штоки закріплені до противаги.

При роботі робочим обладнанням відбувається зміщення центра мас у передню частину, щоб уникнути перекидання машини, машиніст перемикає розподільник, що висуває противагу до тих пір, поки екскаватор не займе горизонтальне положення.

Недоліком такої конструкції являється те що система не є автоматичною та адаптивною, висунення противаги здійснюється тільки поздовжньо, тільки по одній лінії.

Є доцільним розробка адаптивної системи рухомої противаги, яка б пристосовувалась до зовнішніх умов, забезпечувала стійкість одноківшевого екскаватора без допомоги машиніста та зменшувала дію статичних, динамічних навантажень на робоче обладнання, вузли та поворотну платформу, здійснювала рух навколо поворотної платформи та поздовжньо.

Рухома противага також використовується в автокранах. В дослідженнях описано, що рухома противага дозволяє збільшити вантажні характеристики крана, без вагової зміни його конструкції [10].

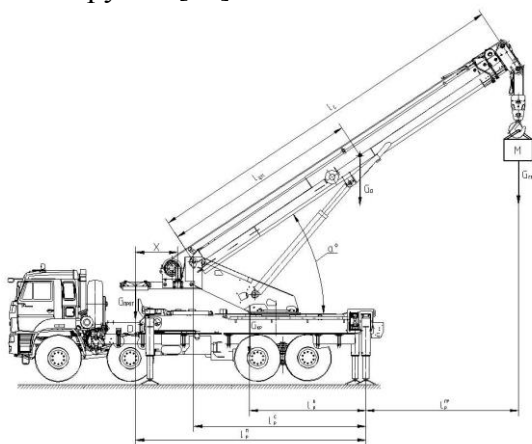


Рис. 7. Корисна модель автокрана з рухомою противагою

Fig. 7. A useful model of a mobile crane with a movable counterweight

ВИСНОВКИ

Модернізація існуючого та створення нового робочого обладнання землерийних машин є перспективним напрямом підвищення ефективності їх використання.

Статичні та динамічні навантаження суттєво впливають на техніко-економічні показники, безпеку на робочому майданчику та здатність машини виконувати роботу в складних умовах.

Стійкість залежить від конструктивних параметрів машини, а з іншої від дій оператора.

Статична стійкість проти перекидання характеризується рівноважним станом машини під впливом зовнішніх навантажень, постійних за значенням та напрямом.

Динамічні навантаження в елементах та вузлах землерийних машин виникають у процесі виконання ними робочих рухів (циклічних та безперервних).

Узагальнення вищенаведених досліджень і практичних досягнень дозволяє висунути гіпотезу, що при застосуванні рухомої противаги у універсальних одноківшевих екскаваторів можна збільшити стійкість машини та зменшенні динамічних навантажень на машину та її вузи, збільшити техніко-економічні показники, зменшити руйнування і недопустимі деформації деталей машини, збільшити безпеку на робочому майданчику, збільшити рівновагу машини в цілому. За рахунок зрівноваження системи рухомою противагою.

Потребується додаткове дослідження динамічного навантаження на одноківшеві екскаватор зі змінним робочим обладнанням, вплив на основні вузли.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Ветров Ю.А., Кархов А.А., Кондра А.С., Станевський В.П.** Машини для земляних работ / Ю. А. Ветров, А. А. Кархов, А. С. Кондра, В. П. Станевський. К: Вища школа. – 1965, – 462 с.
2. **Баладінський В., Гаркавенко О.** Машини для земляних работ / В. Баладінський, О. Гаркавенко, С. Кравець, І. Русан, А. Фомін. Рівне: РДТУ, – 2000. – 288 с.

3. **Тетерятник О., Рашківський В.** Відмінності розрахунків високошвидкісних робочих органів в залежності від кінематики їх робочих процесів / О. Тетерятник, В. Рашківський // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, – Вип.98, – 2021, С. 5–10. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2021.98.0101>
4. **Сухарев Э.А.** Основы динамики подъемно-транспортных и дорожно-строительных машин. Ровно: НУВХП, 2012, – 191 с.
5. **Рашківський В., Фецишин Б.** Аналіз характеру стружкоутворення при роботі просторово-орієнтованими ножами динамічної дії / В. Рашківський, Б. Фецишин // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, – Вип.97, – 2021. – 57–61. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0402>
6. **Гоберман Л.А.** Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин. Машиностроение, – 1988. – 464 с.
7. **Sukach M., Lysak S.** Робоче обладнання екскаватора для поперечного копання / М. Sukach, S. Lysak // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, – Вип.88, – 2016. – 71–77. <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/216447>.
8. **Пелевін Л.Є., Рашківський В.П., Мельниченко Б.М.** Одноківшевий екскаватор, Патент України, Київ 2012.
9. **Хмара Л.А., Гене В.М., Лашених А.А., Єрмілов А.Б., Лаздон В.С., Штепа В.Л.** Одноківшевий екскаватор. Патент України, Дніпро 1978.
10. **Sukach M.K., Gorbatjuk Eu.V., Marchenko O.A.,** Syntez zemleryjnoi i dorozhnoi tehniki: pidruchnyk. Za red. d.t.n., prof. M.K. Sukacha. Kyiv, Vyd-vo Lira-K, – 2013, – 376.

REFERENCES

1. **Vetrov Y.A., Karkhov A.A., Kondra A.S., Stanevsky V.P.** (1965). Machines for earthworks. K: Higher school, 462.
2. **Baladinsky V., Harkavenko O., Kravets V., Rusan I., Fomin A.** (2000). Machines for earthworks. Rivne, RDTU, 288.
3. **Teteryatnik, O., Rashkivskiy, V.** (2021). Differences in calculations of high-speed working bodies depending on the kinematics of their work processes. Mining, constructional, road and melioration machines, Nr98, 5–10. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.98.0101>.
4. **Sukharev E.A.** (2012). Fundamentals of dynamics of lifting and transport and road

construction machines. Educational manual. Rivne, NUVHP, 191.

5. **Rashkivskiy V., Fedyshyn B.** (2021). Analysis of the nature of chip formation when working with spatially oriented knives of dynamic action. Mining, constructional, road and melioration machines, No.97, 57–61. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0402>
6. **Goberman L.A.** (1988). Fundamentals of theory, calculation and design of construction and road machines: Manual for technical schools, Mashinostoenie, 464.
7. **Sukach, M., Lysak, S.** (2016). Excavator working equipment for transverse digging Mining, constructional, road and melioration machines, No.88, 71–77. <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/216447>.
8. **Pelevin L.E., Rashkivskiy V.P., and Melnychenko B. M.** (2012). Odnokivshevyy excavator, Patent of Ukraine, Kyiv.
9. **Khmara L.A., Gene V.M., Laschenykh A.A., Yermilov A.B., Lazdon V.S., Shtepa V.L.** (1978). Odnokivshevyy excavator. Utility model patent, Dnipro 1978.
10. **Sukach M.K., Gorbatjuk Eu.V., Marchenko O.A.** (2013). Syntez zemleryjnoi i dorozhnoi tehniki. Kyiv, Vyd-vo Lira-K, 376.

Analysis of the dynamics of the attached equipment of a single-bucket excavator when working with variable working equipment

Oleksiy Proskurin

Kyiv National University of Construction and Architecture

Abstract. The results of an analytical study of the effect of dynamic loads on the equipment of a single-bucket excavator are presented, and an analysis of previous studies is performed. Dynamic and static stability against overturning is considered. The expediency of using an adaptive moving counterweight for single-bucket excavators is described.

Keywords: dynamic loads, static loads, balance, stability.