

Павло Гавриш¹, Вадим Юсіфов²

¹доктор технічних наук, професор, професор кафедри підйомно-транспортних і металургійних машин
Донбаської державної машинобудівної академії

(Краматорськ, Україна)

E-mail: nauka.breda@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9999-0099>

ResearcherID: [AAx-4741-2020](https://orcid.org/0000-0001-9999-0099). Scopus Author ID: [7801588222](https://orcid.org/0000-0001-9999-0099)

²аспірант кафедри підйомно-транспортних і металургійних машин

Донбаської державної машинобудівної академії (Краматорськ, Україна)

E-mail: vadim.yusifov.97@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0201-4836>

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕКСКАВАТОРА CAT 349D2

На основі удосконалення гідравлічної системи шляхом встановлення додаткового навісного обладнання – знижена забрудненість гідравлічної системи в процесі експлуатації екскаватора. Це дало змогу знизити робочі температури трансмісійної і гідравлічної системи. Таким чином розроблено і розраховано спосіб встановленого додаткового обладнання що підвищує продуктивність екскаватора. Крім того, зменшуються витрати на технічне обслуговування і ремонт.

Ключові слова: гідравлічна система; трансмісійна система; клапан для промивки; продуктивність екскаватора; технічне обслуговування та ремонт; температура системи.

Рис.:5; Бібл.:12.

Актуальність теми дослідження. Сучасне виробництво вимагає застосування спеціалізованих підйомно-транспортних машин, що дозволяють більш ефективно та економічно виконувати технології виробництва земляних робіт. Гідравлічний екскаватор використовується при розробці ґрунтів (гірських порід, корисних копалин) та навантаженні сипких матеріалів. Безперечними перевагами таких машин є не тільки їх потужність та продуктивність, але також і простота пристрою, нескладне керування та мінімальні потреби у технічному обстеженні. Тому від таких показників екскаватору як продуктивність, працездатність і довговічність залежить швидкість видобутку та розкриву корисних копалин. А це в свою чергу – підвищення економічної стабільності держави.

Постановка проблеми. На надійність роботи кар'єрних екскаваторів впливають експлуатаційні фактори та їх сукупності (геологія родовища, температура навколишнього середовища, завантаженість, технологія розробки). Однак організаційно-технічні фактори не менш важливі і приводять до погіршення технічного стану функціональних вузлів машини, а це є причиною простою екскаваторів та зниження коефіцієнту їх ефективного використання [1, 2].

У гідростатичній трансмісії екскаватора є два гідравлічні контури, кожен з яких має своє функціональне призначення і підключені до нього компоненти. Це головний контур системи, контур охолодження і подачі рідини, що підживлює. Робоча рідина циркулює між контурами за рахунок витоків і витрати через клапан для промивання, якщо система їм обладнана. Якість робочої рідини забезпечується насамперед за рахунок контуру підживлення/охолодження, але основним споживачем високоякісної робочої рідини є головний контур. Забруднення контуру призводить до подальшого руйнування фрикційного механізму гідромотора та планетарних механізмів редуктора ходу, і відповідно до зупинки агрегату. Тому, результатом пошуку способів зниження забруднення гідравлічного контуру є насамперед зменшення простоїв машини, зменшення витрат на технічне обслуговування, підвищення продуктивності [3, 4]. Хоча поняття продуктивності є добре вивченою областю діяльності, але огляд наукової літератури виявив невідповідності між ефективністю палива, робочої рідини гідравлічних систем і поняттям продуктивності гідравлічних екскаваторів. Чим більше потужність екскаватора, тим більше політична стурбованість осіб, які намагаються захищати навколишнє середовище

від більш потужних викидів в атмосферу. Наша мета – без збільшення потужності збільшити продуктивність машини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковці [5] виконали теоретичне дослідження з метою визначення оптимальної системи упорскування палива дизеля OM537 Common Rail. Звісно, конструкція інжекторів дуже важлива для стабільної роботи дизеля, але вона не вирішує основного завдання проблеми стабілізації якості робочої рідини впродовж експлуатації екскаватора. KG Pugin [6] у своїх дослідженнях вивчав питання підвищення надійності гідравлічних систем технологічних машин. Дійсно, ми погоджуємося з автором, що підвищити надійність гідросистем можливо за рахунок використання якісних елементів в її складі. Елементи гідравлічної системи – це силові циліндри і гідромотори, гідророзподільники, гідроклапани, дроселі, фільтри тощо. Більш якісні елементи коштують значно дорожче, а при роботі вони все одно зношуються і забруднюють робочу рідину. Можна також використати передові, сучасні методи технічного обслуговування. Проте ми вважаємо, що незважаючи на важливість діагностики гідравлічної системи необхідно використовувати методи, що попереджають забруднення системи понад норму. Важливу роль грають як сама конструкція, так і методи з'єднання її з металоконструкцією екскаватора [7, 8].

За даними D.J. Edwards [9] і інших науковців понад 45% екскаваторів Caterpillar Inc. (CAT), Komatsu Ltd. and J C Bamford Excavators Ltd. – обладнані гідравлічним приводом, що підтверджує важливість і необхідність проведення робіт з удосконалення елементів гідравлічної системи. Науковці з Великобританії [10] пропонують установити поточний моніторинг для прогнозування забрудненості робочої рідини гідравлічних систем. Так, це дуже цікаво і надасть позитивні зміни як у майбутніх конструкцій, так і у проведенні діагностики і технічного обслуговування машини. Але на нашу думку, додаткові датчики і нові електронні пристрої для екскаватора, що працює у важких виробничих умовах є доцільними у лабораторних умовах. Lei Ge [11] і інші науковці пропонують для приводів екскаваторів нову систему узгодження потужності і енергоефективності гідравлічних пристроїв. Ми вважаємо, що напрямки узгодження потужності і енергоефективності з метою підвищення продуктивності екскаваторів Caterpillar дадуть ідеї для створення нових екскаваторів. Jennifer A. Harding та Jacqueline Glass [12] у своїй експериментальній роботі встановили зв'язок між паливною економічністю та продуктивністю. Крім того встановлено, що досягання максимальної швидкості руху екскаватора не пов'язано з максимальною продуктивністю. І навпаки налаштування низьких обертів не обов'язково приводить до споживання найменшої кількості палива для виконання того ж завдання. Результати наукового дослідження також показують, що наполовину заповнений ківш екскаватора може мати максимальний ефект покращення продуктивності на 30%, з економією палива 24%.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз опублікованих статей показав їх неоднакову спрямованість, широке коло проблем і методів вирішення. Але конкретне вирішення проблеми підвищення продуктивності і реалізований на практиці метод не знайшов висвітлення у останніх публікаціях. Тому пропонований спосіб підвищення продуктивності без підвищення потужності екскаватора є актуальним і реалізованим у процесі експлуатації.

Метою статті є розробка способу підвищення продуктивності, що не потребує збільшення потужності самого екскаватора.

Виклад основного матеріалу. Поняття продуктивності тісно пов'язане з розвитком теорії проектування, техніки та вдосконалення технології гірничих робіт. Змінна експлуатаційна продуктивність характеризує продуктивність ходової частини агрегату протягом робочої зміни з урахуванням використання агрегату як у часі, так і по завантаженню

(вантажопідйомності). Фактори, що впливають на продуктивність ходової частини екскаватора:

- труднощі розробки гірничої маси, яка оцінюється категорією породи та її станом;
- технічні дані, стан та надійність ходової частини;
- якість забою, що оцінюється його висотою, умовами підходу транспорту до місця навантаження. Ці фактори неможливо повністю усунути, крім того рівень забруднення головного циліндру екскаватора CAT 349D2, що допустимий при експлуатації не допустимий для інших елементів гідравлічної системи.

В екскаваторі CAT 349D2 використовується аксіально-поршневий гідромотор з похилим диском (див. рис. 1). Принцип роботи аксіально-поршневих гідравлічних моторів полягає в паралельному переміщенні поршнів до осі валу гідромотора. Поршні у циліндри з'єднуються з валом. Далі поршні штовхають вал, що створює крутний момент.



Рис.1. Аксіально-поршневий гідромотор з похилим диском [1]:

1 – блок гідроциліндрів з похилим диском; 2 – корпус вала з підшипниками; 3 – вал

Забруднення гідравлічного контуру призводить до подальшого руйнування фрикційного механізму гідромотора та планетарних механізмів редуктора ходу, і відповідно до зупинки агрегату. Щоб запобігти несправності редуктора ходу, пропонується встановлення додаткового обладнання, а саме – клапана для промивання контуру.

При розробці конструкції додаткового обладнання, а саме клапана промивання гідравлічного контуру гідромотора, повинні враховуватися параметри гідромотора та його особливості конструкції, для подальшої установки клапана. Екскаватор CAT 349D2 має на борту двоконтурний аксіально-поршневий гідромотор, з можливістю встановлення додаткового обладнання, без механічного втручання. Проектування промивного клапана гідростатичного контуру полягає у виборі його конструктивної форми, найбільш повно відповідної конструкції гідромотора, визначаються розміри патрубків, для установки в гідромотор вхідного патрубка, і вихідного в розподільник.

Гідравлічний тиск у кожній точці гідростатичного контуру промивного клапана схильний до змін в результаті коливання температури гідравлічної рідини через попадання в контур забруднюючих елементів, і як наслідок відбувається зміна кількості та температури циркулюючого теплоносія.

На (рис. 2) представлено варіант встановлення додаткового обладнання через гідророзподільник.

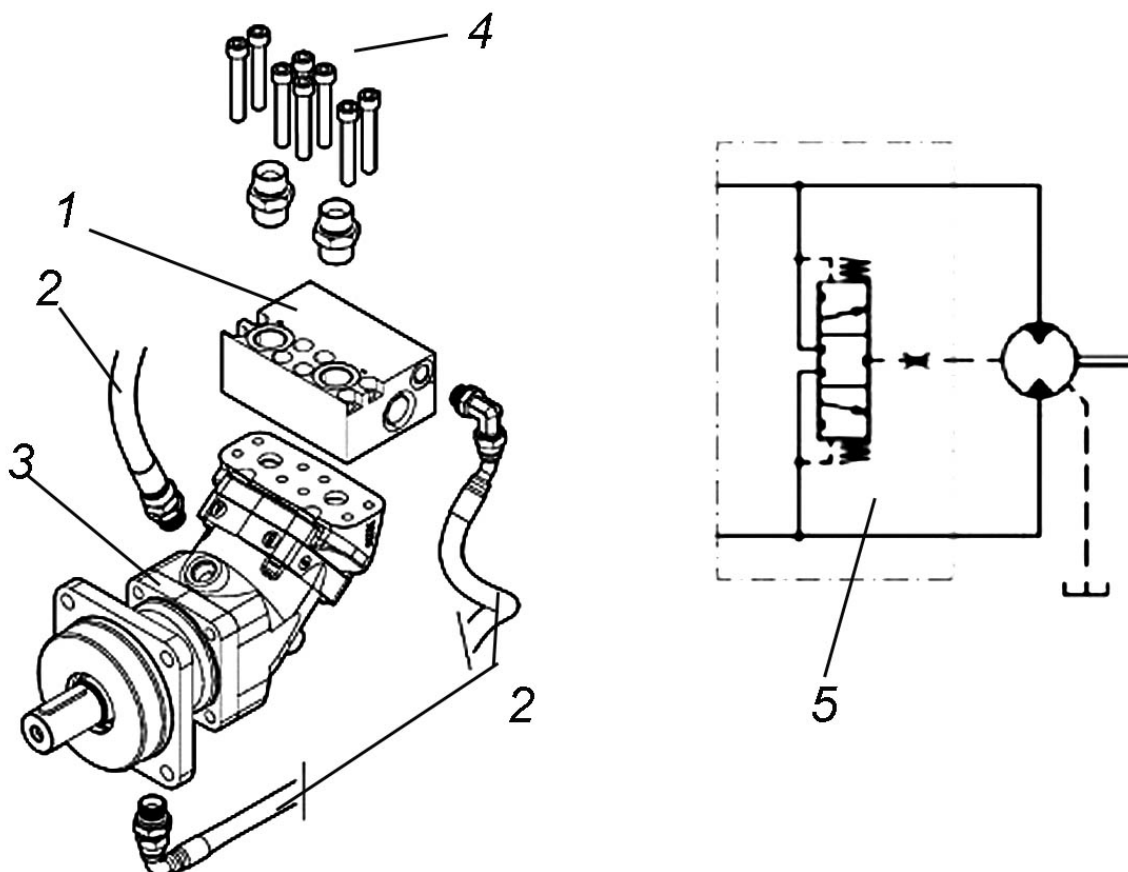


Рис. 2. Варіант встановлення промивного клапана: 1 – клапан для промивання контуру, 2 – гідравлічні рукави системи, 3 – гідромотор, 4 – з'єднувальні елементи, 5 – гідравлічна схема промивного клапана

Джерело: розроблено авторами при використанні обладнання

<https://hydromarket.com.ua/ua/p575130754-promyvochnyj-klapan-sunfab.html>

Існує два шляхи, за допомогою яких можна вирішити проблему перегріву та попадання забруднюючих речовин у гідравлічних системах. Перший шлях – зниження теплової потужності. Другий – збільшення здатності системи до розсіювання тепла та бруду. Промивний клапан є компонентом гідравлічної системи, який дозволить контролювати подачу якісної робочої рідини в головний контур, для запобігання руйнування механізмів ходового обладнання.

Промивний клапан значно покращує відведення тепла та забруднень з головного контуру, покращуючи якість робочої рідини та продовжуючи термін служби компонентів. Гідравлічна схема розташування проектованого промивного клапана показана на (рис. 3).

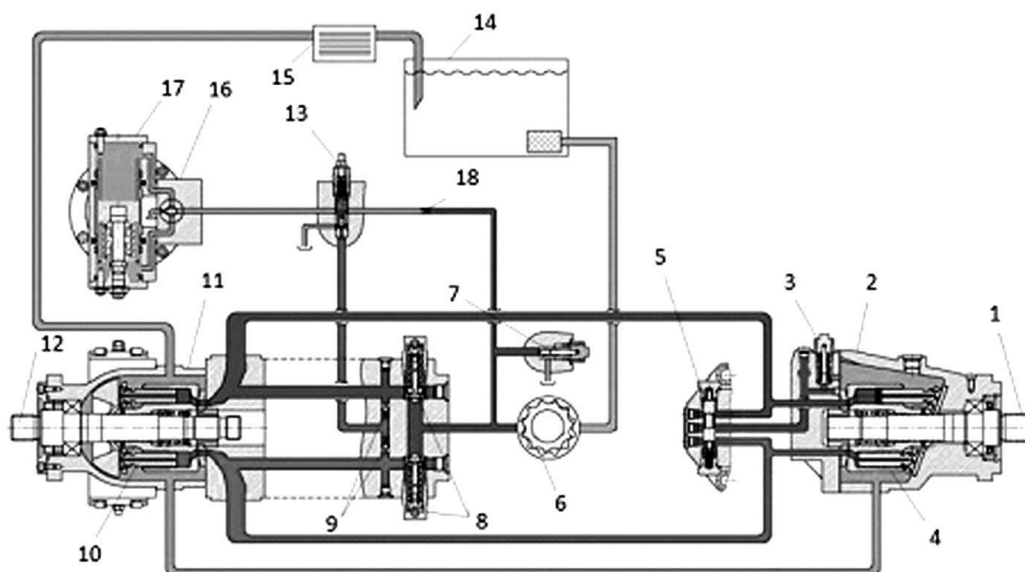


Рис. 3. Гідравлічна схема встановлення клапану: 1 – вал; 2 – гідромотор; 3 – клапан живлення; 4 – вузол підкачки; 5 – промивний клапан; 6 – насос підживлення; 7 – клапан підживлення; 8 – зворотньо-запобіжні клапани; 9 – зворотні клапани; 10 – вузол підкачки; 11 – гідронасос; 12 – вал; 13 – клапан відсічення; 14 – гідробак; 15 – теплообмінник; 16 – механізм сервокерування; 17 – розподільник; 18 – трубопровід

Джерело: розроблено авторами з використанням [1]

Для дослідження процесу роботи екскаватора з додатковим обладнанням виконали вимірювання температури гідравлічної та трансмісійної рідини з додатковим обладнанням, і без нього. Температури робочих рідин вказуються на комп'ютерній панелі екскаватора у кабіні машиніста. Вимірювання температур виконано при русі екскаватора на відстані 3 км від виробленого вибою до робочого (рис. 4).

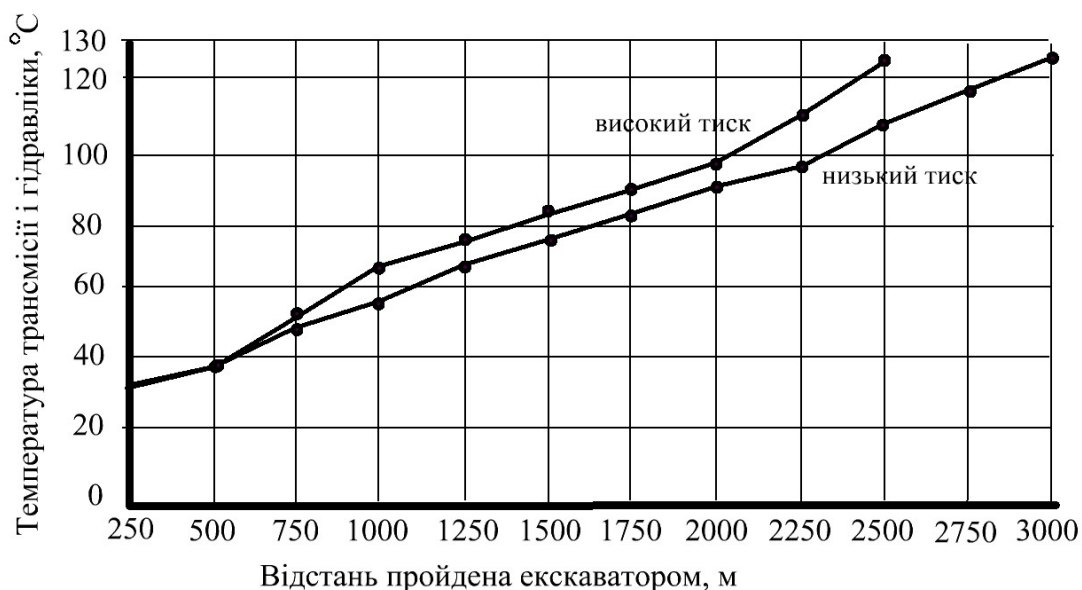


Рис. 4. Залежність температури при русі екскаватора без додаткового обладнання

Джерело: розроблено авторами

При випробуваннях екскаватора в режимі високої швидкості необхідно стежити за звуком ходового редуктора, оскільки екскаватор долає відстань, на яку ходове обладнання не розраховане, а це може призвести до руйнування блоку сателітів, тому при наявності зайвого шуму або критичного підвищення температури необхідно зупинити рух. На (рис. 4) наведено побудовані графіки залежності температури трансмісії і гідравліки від пройденної відстані екскаватором при високому і низькому тиску без додаткового обладнання на (рис. 5) з додатковим обладнанням. Треба відзначити, що при підвищенні температури (високий тиск) понад норму екскаватор було зупинено (див.рис.4 – 2500 м).

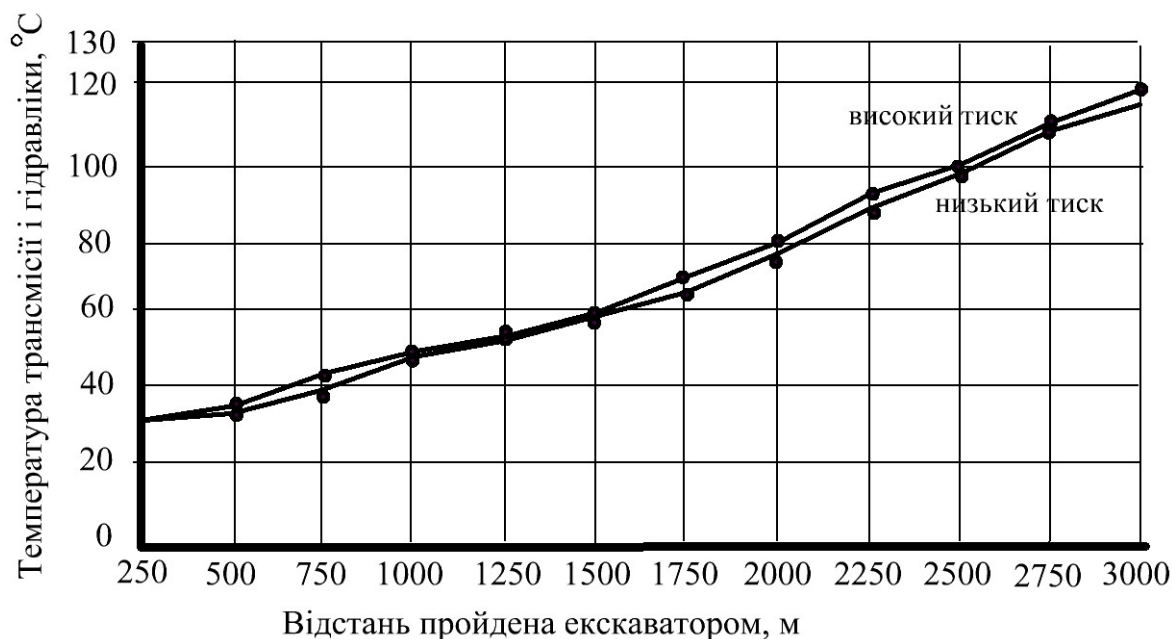


Рис.5. Залежність температури при русі екскаватора з додатковим обладнанням

Джерело: розроблено авторами

Проведення ходових випробувань екскаватора з додатковим обладнанням – промивний клапан, можна зробити висновки, що це є доцільним рішенням для оптимізації ходової частини, а саме її механізмів, гідромотора і редуктора ходу. Промивний клапан дозволяє знизити рівень температури трансмісійної та гідравлічної рідин, тим самим запобігти руйнуванню фрикційного механізму гідромотора та блоку сателітів редуктора ходу.

Висновки.

1. Підвищення продуктивності екскаваторів – актуальна і важлива задача задля збільшення видобутку корисних копалин та підвищення економічної самостійності України.

2. Спосіб зменшення забруднень гідравлічної системи дає можливість зменшити витрати підприємства на технічне обслуговування та ремонт.

3. Встановлення додаткового гідравлічного елемента не спотворює роботу гідравлічної системи, а, навпаки, – гарантує підвищення терміну експлуатації гідравлічних елементів.

4. Зниження максимальних робочих температур є напрямком удосконалення конструкції гідравлічних систем.

Список використаних джерел

1. CAT Parts Manual 349D2 Excavator. – Пеорія, Арізона :Caterpillar Intruder, 2014. – 1108 с.
2. Беркман, И. Л. Одноковшовые экскаваторы / И. Л. Беркман, А. В. Раннев, А. К. Рейш. – Москва : Машиностроение, 1964. – 358 с.
3. Горбатюк, Є. В. Робочі органи землерийних машин з роздільним потоком розвантаження / Є. В. Горбатюк // Науково-практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій : зб. наук. статей. – Київ : МНС України, КНУБА, 1999. – Вип. 2. – С. 117-119.
4. Громадський, А. С. Проектування, формування та використання комплексів гірничорудного механізованого обладнання : навч. посіб. / А. С. Громадський, Ю. Г. Горбачов, О. С. Ліфенцов. – Кривий Ріг : КНУ, 2017. – 229 с.
5. Pourdarbani, R. Theoretical study to determine the proper injection system for upgrading fuel system of diesel engine om357 to common rail system / R. Pourdarbani, R. Aminfar // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – № 7(4). – P. 2594-2597. DOI : <http://doi:10.14419/ijet.v7i4.17364>.
6. Pugin, K. G. Improving the reliability of hydraulic systems of technological machines / K. G. Pugin // [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering](http://doi:10.1088/1757-899X/971/5/052042). – 2020. – Vol. 971: [Machine Science, Mechanization, Auotomatization and Robotics](http://doi:10.1088/1757-899X/971/5/052042). DOI : <http://doi:10.1088/1757-899X/971/5/052042>.
7. Havrysh, P. A. Manual «Features of metal structure repair by welding» [Osoblivosti metodiv remontu metalokonstrukcij zvaryuvannyam] / P. A. Havrysh. – Kramatorsk : DSEA, 2020. – 120 p.
8. Improvement of technology for repair of ore-bucket unloader metal structure working under cyclic loading / P. A. Gavrish, A.V. Perig, E. P. Gribkov, M. Yu. Dorokhov. // Advances in Materials and Processing Technologies. – 2021. – № 7(3). – P. 280-399. DOI : <https://doi.org/10.1080/2374068X.2020.1805683>.
9. Edwards, D. A linear programming decision tool for selecting the optimum excavator / D. J. Edwards, H. Malekzadeh, S. B. Yisa // Struct. Surv. – 2001. – № 19(2). – P. 113-120. DOI : <https://doi.org/10.1108/EUM0000000005628>.
10. Ng, F. Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring / F. Ng, J. A. Harding, J. Glass // Mech. Syst. Signal Process. – 2016. – P. 816-831. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2016.06.006i>.
11. Power Matching and Energy Efficiency Improvement of Hydraulic Excavator Driven with Speed and Displacement Variable Power Source / L. Ge, L. Quan, X. Zhang, Z. Dong, J. Yang // Chin. J. Mech. Eng. – 2019. – № 32:100. – P. 9-12. DOI : <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0415-x>.
12. Ng, F. An eco-approach to optimise efficiency and productivity of a hydraulic excavator / F. Ng, J. A. Harding, J.Glass // Journal of Cleaner Production. – 2016. – № 112. – P. 3966-3976. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.110>.

References

1. CAT Parts Manual 349D2 Excavator. (2014). Peoria, Arizona: Caterpillar Intruder.
2. Berkman, I.L., Rannev, A.V. (1964). *Universal single-bucket excavators*. Moscow: Mashynobuduvannia.
3. Gorbatur, E.V. (1999). Working parts of earth-moving machines with separate flow of sanitatio. *Scientific and practical problems of modelling and forecasting of critical situations*, 2, 117–119.
4. Gromagskii, A.C., Gorbachev, Y.G., Lifentsov, O.S. (2017). *Design, molding and development of complexes for mining ore mechanized equipment*. Kryvyi Rih: KNU.
5. Pourdarbani, R., Aminfar, R. (2018). Theoretical study to determine the proper injection system for upgrading fuel system of diesel engine om357 to common rail system. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 2594–2597. <http://doi:10.14419/ijet.v7i4.17364>.
6. Pugin, K.G. (2020). Improving the reliability of hydraulic systems of technological machines. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 971, 052042. <http://doi:10.1088/1757-899X/971/5/052042>.
7. Havrysh, P.A. (2020). Features of metal structure repair by welding. Kramatorsk: DSEA.

8. Gavrish, P.A., Perig, A.V., Gribkov, E.P., Dorokhov, M.Yu. (2021). Improvement of technology for repair of ore-bucket unloader metal structure working under cyclic loading. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 7(3), 280–399. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2020.1805683>.

9. Edwards, D.J., Malekzadeh, H., Yisa, S.B. (2001). A linear programming decision tool for selecting the optimum excavator. *Struct. Surv.*, 19(2), 113–120. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000005628>.

10. Ng, F., Harding, J.A., Glass, J. (2016). Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring. *Mech. Syst. Signal Process.*, 816–831. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2016.06.006>.

11. Ge, L., Quan, L., Zhang, X., Dong, Zh. and Yang, J. (2019). Power Matching and Energy Efficiency Improvement of Hydraulic Excavator Driven with Speed and Displacement Variable Power Source. *Chin. J. Mech. Eng.*, 32(100), 9–12. <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0415-x>.

12. Ng, F., Harding, J.A., Glass, J. (2016). An eco-approach to optimise efficiency and productivity of a hydraulic excavator. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3966–3976. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.110>.

Отримано 21.09.23

UDC 62-82

Pavlo Havrysh¹, Vadim Usifov²

¹ PhD in Technical Sciences, Professor of the Department Handling systems, Transport and Metallurgical machines
Donbass State Engineering Academy
(Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: nauka.breda@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9999-0099>
ResearcherID: [AAX-4741-2020](https://orcid.org/0000-0001-9999-0099). Scopus Author ID: [7801588222](https://orcid.org/0000-0001-9999-0099)

² postgraduate of the Department Handling systems, Transport and Metallurgical machines Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: vadim.yusifov.97@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0201-4836>

INCREASED PRODUCTIVITY OF EXCAVATOR CAT 349D2

The use of hydraulic excavators in mining is the adoption of a technological process. The creation of new designs and improvement of existing designs of mining equipment are needed to increase their productivity, durability, and operability. An analysis of research and publications of scientific articles showed that the topic for our research is relevant and important, not only for our country. Thus, scientists from Iran, Great Britain, China, India, and Belgium are researching ways and means of reducing contamination of hydraulic systems in order to increase the productivity, durability, and performance of excavators. However, such proposals from scientists as: installing total control over the quality of hydraulic fluids, changing the design of the excavator, measuring the wear of parts of the hydraulic system, etc. – are not always acceptable in practice.

For example, the installation of total control over the quality of hydraulic fluids entails the need for large investments in the development and creation of such control systems; to change the design of an excavator, not only design development and full-scale testing are required, but all such improvements are not possible at enterprises that operate excavators.

The purpose of the article is to improve the hydraulic system of the machine by installing additional equipment. Such equipment is designed to reduce the level of contamination of hydraulic fluid. There is no need for huge capital expenditures. This additional equipment was installed on the CAT 349D2. Studies of the thermal load on the excavator drive have been carried out. Research has shown the feasibility and reliability of installing additional equipment. Reducing the operating temperatures of the drive hydraulic fluid increases the productivity, durability, and operability of excavators.

A real reduction in the cost of maintenance and repairs of the drive allows you to reduce the cost of soil development and increases the competitiveness of the operating machine compared to new expensive machines.

Keywords: hydraulic system, transmission system, flush valve, excavator productivity, technical maintenance and repair, system temperature.