

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра машинобудування та технічного сервісу машин

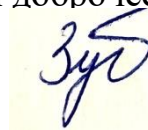
ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОТОРНОГО ТРАНШЕЙНОГО ЕКСКАВАТОРА

Пояснювальна записка і розрахунки
до дипломної роботи магістра

ЕТР162.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 211-БКМ-Д24
спеціальності 133 – Галузеве
машинобудування (роботу виконано
самостійно, відповідно до принципів
академічної доброчесності)

Богдан ЗУБ



Керівник: професор, докт. техн. наук
Сергій ВОРОНІН

Рецензент: професор, докт. техн. наук
Дмитро ПЛУГІН

Харків 2026

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Будівельний»

Кафедра «Машинобудування та технічний сервіс машин»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, колійні машини та обладнання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук



Сергій ВОРОНІН

«03» листопада 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ Зуб Богдану Михайловичу

1 Тема роботи: «ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОТОРНОГО ТРАНШЕЙНОГО ЕКСКАВАТОРА», та науковий керівник Воронін Сергій Володимирович докт. техн. наук, професор затверджені розпорядженням по будівельному факультету від «27» жовтня 2025 року № 15.

2 Строк подання студентом закінченої роботи: «30» грудня 2025 року.

3 Вихідні дані: 1 Базова машина – екскаватор ЕТР-162
2 Характеристики робочої рідини екскаватора ВМГЗ
3 Існуючі дослідження в галузі електричної обробки олив

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 4.1 Аналіз конструкції та методів підвищення ефективності роторних траншейних екскаваторі
- 4.2 Розрахунки обладнання екскаватора та оцінка умов роботи гідравлічних агрегатів
- 4.3 Дослідження протизносних властивостей робочої рідини
- 4.4 Практичні рекомендації щодо застосування електричної обробки робочої рідини в гідросистемі екскаватора ЕТР-162
- 4.5 Техніко-економічний розрахунок
- 4.6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 - 5.1 Класифікація екскаваторів та характеристика ЕТР-162 - 1 лист
 - 5.2 Екскаватор ЕТР-162 креслення загального вигляду - 1 лист (А1)
 - 5.3 Гідравлічна схема екскаватора - 1 лист
 - 5.4 Дослідження протизносних властивостей робочої рідини - 2 листа
 - 5.5 Прогнозування зміни продуктивності екскаватора - 2 листа
 - 5.6 Обґрунтування параметрів бортового пристрою - 2 листа
 - 5.7 Результати техніко-економічного розрахунку - 1 лист

6 Консультанти окремих розділів

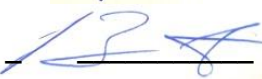
Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування	Токмакова І.В., професор, д.е.н.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Козар Л.М., доцент, к.т.н.		

7 Дата видачі завдання «03» листопада 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Аналіз конструкції та методів підвищення ефективності роторних траншейних екскаваторі	01.08.25 – 30.09.25	
2 Розрахунки обладнання екскаватора та оцінка умов роботи гідравлічних агрегатів	01.10.25 – 31.10.25	
3 Дослідження протизносних властивостей робочої рідини	01.06.25 – 30.09.25	
4 Практичні рекомендації щодо застосування електричної обробки робочої рідини в гідросистемі екскаватора ЕТР-162	01.11.25 – 15.11.25	
5 Техніко-економічний розрахунок	03.11.25 – 30.11.25	
6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.12.25 – 15.12.25	
4.6 Графічна частина	10.12.25 – 25.12.25	

Студент  Б.М. Зуб

Керівник  С.В. Воронін

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота складається з пояснювальної записки на 104 аркушах формату А4, що містить 15 табл., 20 рис., список джерел з 29 найм., додатки на 11 сторінках.

Ключові слова: ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕКСКАВАТОР, НАСОС, ГІДРОМОТОР, ГІДРАВЛІЧНА ОЛИВА, ЕЛЕКТРИЧНА ОБРОБКА.

Об'єктом дослідження є процес впливу електричної обробки гідравлічної оливи на продуктивність гідравлічних агрегатів роторного траншейного екскаватора ЕТР-162.

Метою дослідження є підвищення продуктивності гідравлічних агрегатів роторного траншейного екскаватора шляхом розробки пристрою для електростатичної обробки гідравлічної оливи.

Підвищення продуктивності гідравлічних агрегатів досягається шляхом уповільнення темпу падіння їх об'ємного коефіцієнта корисної дії за рахунок зменшення зносу деталей при змащуванні оливою, що оброблюється електричним полем у бортовому пристрої.

ABSTRACT

The thesis consists of an explanatory note on 104 sheets of A4 format, containing 15 tables, 20 figures, a list of sources with 29 entries, appendices on 11 pages.

Keywords: PRODUCTIVITY, EXCAVATOR, PUMP, HYDRAULIC MOTOR, HYDRAULIC OIL, ELECTRICAL PROCESSING.

The object of the study is the process of influence of electric treatment of hydraulic oil on the productivity of hydraulic units of the rotary trench excavator ETR-162.

The purpose of the study is to increase the productivity of hydraulic units of the rotary trench excavator by developing a device for electrostatic treatment of hydraulic oil.

Increasing the productivity of hydraulic units is achieved by slowing down the rate of decline of their volumetric efficiency by reducing wear of parts when lubricated with oil treated by an electric field in the on-board device.

Зміст

Вступ	6
1 Аналіз конструкції та методів підвищення ефективності роторних траншейних екскаваторів	8
1.1 Конструктивні особливості ЕТР	8
1.2 Аналіз факторів підвищеного зносу гідравлічних агрегатів	21
1.3 Методи підвищення продуктивності гідравлічних агрегатів	27
1.4 Висновки. Мета та задачі дослідження	29
2 Розрахунки обладнання екскаватора та оцінка умов роботи гідравлічних агрегатів	32
2.1 Конструкція роторного колеса	32
2.2 Розрахунок параметрів роторного колеса	33
2.3 Розрахунок гідроциліндрів механізму підйому ротора	38
2.4 Тяговий розрахунок екскаватора	40
3 Дослідження протизносних властивостей робочої рідини екскаватора ЕТР-162	45
4 Практичні рекомендації щодо застосування електричної обробки робочої рідини в гідросистемі екскаватора ЕТР-162	53
4.1 Прогнозування зміни продуктивності екскаватора при застосуванні електричної обробки робочої рідини	53
4.2 Обґрунтування конструкції бортового пристрою для обробки робочої рідини	57
5 Техніко-економічний розрахунок	65
6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	77
Висновки по роботі	88
Список використаних джерел	90
Додаток А. Ілюстративний матеріал	94

					ЕТР162.00.00.000 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Зуб			Підвищення продуктивності роторного траншейного екскаватора				Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірив		Воронін									5	104
Реценз.									Дипломна робота магістра Кафедра МТСМ			
Н. Контр.		Козар										
Затверд.		Воронін										

Висновки по роботі

1. Вузли тертя гідравлічних насосів та моторів періодично працюють у режимі граничного навантаження, при якому відбувається інтенсивне зношування поверхонь тертя, що призводить до зниження об'ємного ККД таких гідромашин. Це в свою чергу, призводить до падіння продуктивності машини в цілому. Однією з основних умов забезпечення мінімального зношування поверхонь тертя є застосування РР з високими протизносними властивостями.

2. Для підвищення продуктивності екскаватора ЕТР-162 запропоновано застосувати електричну обробку РР, як метод, що уповільнює знос деталей тертя та падіння загального об'ємного ККД гідроприводу, тобто сприяє підвищенню продуктивності машини.

3. В конструкторському розділі виконані проаналізовано гідравлічну схему екскаватора та проведені розрахунки параметрів гідравлічного насоса і гідромотора хода. Підібрані такі гідромашини:

– насос Гідросила PVH71 аксіально-поршневий регульований з похилим диском, призначений для об'ємних гідроприводів (ГСТ), що складаються з насоса і гідромотора, що працюють за закритою схемою, робочим об'ємом 69,8 см³, номінальною потужністю 125,9 кВт, максимальною подачею рідини 275,8 л/хв., максимальним тиском в напірній магістралі 45 МПа, номінальною частотою обертів 2500 хв⁻¹, об'ємним ККД 0,97;

– гідромотор радіально-поршневий HCD2 400 з максимальним крутним моментом 3300 Нм, швидкістю обертання від 0 до 550 об/хв., робочому тиску рідини до 45 МПа, робочим об'ємом 424 см³ та максимальною потужністю 112 кВт, об'ємним ККД – 0,98.

4. В дослідницькому розділі наведено результати випробувань зразків плунжерної пари на машині тертя СМТ-1 при застосуванні електричної обробки гідравлічної оливи ВМГЗ. Встановлено, що вагове зношування колодки при

					ЕТР162.00.00.000 ПЗ	Лист
						88
Зм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

змащуванні обробленою РР знижується в залежності від тиску в контакті, в порівнянні з варіантом змащування необробленою РР, в 1,4 - 4,2 рази. Таке суттєве зменшення зношування призводить до уповільнення зменшення об'ємного ККД гідроприводу, як наслідок, зростання продуктивності екскаватора.

5. В першій частині розділу практичних рекомендацій проведено прогнозний розрахунок продуктивності екскаватора ЕТР-162 для двох варіантів: штатне виконання та із впровадженням електричної обробки РР. Встановлено, що протягом 1 року експлуатації річна продуктивність базової машини складає 297 542 м³/рік, а при застосуванні електричної обробки РР складе 332 830 м³/рік, при розрахунковому річному фонді часу 2000 годин.

6. В другій частині розділу практичних рекомендацій виконаний розрахунок параметрів бортового пристрою для обробки РР, а також обґрунтовано місце розташування пристрою в гідравлічній системі екскаватора ЕТР-162.

7. Техніко-економічний розрахунок ефективності обох варіантів екскаватора ЕТР-162 показав, собівартість машино-години використання модернізованого варіанту склала 2888 грн., що на 158 грн. менше ніж у базового, а приріст економічного ефекту за 10 років роботи склав 3 155 358 грн. Строк повернення одноразових витрат для модернізованої машини склав 1 рік, на відміну від базової, який склав 2 роки.

8. В розділі охорони праці проведено аналіз умов роботи машиніста екскаватора ЕТР-162 та запропоновані відповідні заходи безпеки. Також виконаний розрахунок факторів, що виникають при землетрусі, та проведено оцінку впливу землетрусу на безпеку будівельного підприємства.

					ЕТР162.00.00.000 ПЗ	Лист
						89
Зм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

Список використаних джерел

1. Багатоковшеві екскаватори // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 26.
2. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2004. — Т. 1 : А — К. — 640 с.
3. Домбровський Н. Г. Багатоковшеві екскаватори. Конструкції, теорія и розрахунок. — К.: Машинобудування, 1972. — 432 с.
4. Аврунін Г.А., Кабаненко И.В., Хавиль В.В. Аналіз сучасного технічного рівня гідрооб'ємних передач. // Вібрації в техніці та технологіях. - 2003. - № 4. — С. 3-7.
5. Руднєв В.К., Венцель Є.С., Лисіков Є.М. Експлуатаційні матеріали для будівельних та дорожніх машин: Навчальний посібник. - Київ: ИСИО, 1993.- 236 с.
6. Лисіков Є.М. Надмолекулярні структури рідких мастильних середовищ та їх вплив на знос технічних систем. Монографія / Є.М. Лисіков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронін. — Харків: ЕДЕНА, 2009. — 274 с.
7. Венцель Є.С., Березняков А.І., Євтушенко А.В. До механізму дії протизношувальної присадки до мастил: Міжвуз. зб. наук. праць «Управління технічною експлуатацією рухомого складу». - Харків: ХДАЗТ, 1988.-С.50—54.
8. Холодов, А. М. Проектування машин для земляних робіт [Текст]: навч. / А. М. Холодов - Х.: Вища. школа, 1986. - 272 с.
9. Гідравлічні насоси та мотори: каталог [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://hydromarket.com.ua/ua/g92786908-gidravlika>. — (Дата звернення: 19.10.2025).
10. Боровик Ю.Т., Назаренко І.Л. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 7.090214

					ЕТР162.00.00.000 ПЗ	Лист
						90
Зм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

«Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини та обладнання». Харків: УкрДАЗТ, 2012. – 32 с. Також доступний у PDF: URL : <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/5842> (дата звернення: 30.05.2024).

11. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Чинний від 2015–05–01. Київ : Мінекономрозвитку, 2015. 18 с. Також доступний у PDF: URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=61781 (дата звернення: 30.11.2025).

12. ДСТУ Б А.3.2-15:2011. Норми освітлення будівельних майданчиків. На заміну ГОСТ 12.1.046–85: чинний від 2012–12–01. URL: http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY4/dsty_b_a.3.2-15-2011.pdf (дата звернення: 01.12.2025).

13. Порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій :затв. МОЗ України 21.05.2007. // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0846-07#Text> (дата звернення: 01.12.2025).

14. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці: НПАОП 0.00-4.12-05: затв. Держнаглядохоронпраці 26.01.2005 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text> (дата звернення: 01.12.2025).

15. ДСТУ EN 626-1:2014. Безпечність машин. Зниження ризику для здоров'я, спричинюваного небезпечними речовинами, що їх виділяють машини. Частина 1. Принципи і технічні вимоги для виробників машин. Чинний від 2016–01–01. URL: http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_en_626-1-2003.pdf (дата звернення: 01.12.2025).

16. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99 : затв. МОЗ України 01.12.1999 // База даних «Нормативно-директивні документи МОЗ України». URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (дата звернення: 03.12.2025).

					ЕТР162.00.00.000 ПЗ	Лист
						91
Зм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

17. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку: ДСН 3.3.6.037-99 : затв. МОЗ України 01.12.1999 // База даних «Нормативно-директивні документи МОЗ України». URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1789> (дата звернення: 05.12.2025).

18. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації: ДСН 3.3.6.039-99 : затв. МОЗ України 01.12.1999 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99#Text> (дата звернення: 05.12.2025).

19. ДСТУ EN 1837:2009. Безпечність машин. Вмонтоване освітлення; (EN 1837:1999+A1:2009 IDT). На заміну ДСТУ ГОСТ EN 1837:2009 : чинний від 2012-01-01. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=68874 (дата звернення: 05.12.2025).

20. ДСТУ EN 953:2014. Безпечність машин. Огорожі. Загальні вимоги до проектування і конструювання нерухомих та рухомих огорож. Чинний від 2016-01-01. URL: <http://document.ua/bezpechnist-mashin -ogorozhi -zagalni-vimogi-do-proektuvannj-std28443.html> (дата звернення: 05.12.2025).

21. Правила охорони електричних мереж: затв. Кабінетом Міністрів України 04.03.1997 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/209-97-%D0%BF> (дата звернення: 05.12.2025).

22. Правила охорони ліній електрозв'язку: затв. Кабінетом Міністрів України 29.01.1996 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/135-96-%D0%BF> (дата звернення: 05.12.2025).

23. Кодекс цивільного захисту України : затв. Верховною Радою України 02.10.2012 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 07.12.2025).

					ЕТР162.00.00.000 ПЗ	Лист
						92
Зм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

24. Національний класифікатор України. Класифікатор надзвичайних ситуацій : ДК 019:2010 : чинний від 2011–01–01 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text> (дата звернення: 07.12.2025).

25. Класифікаційні ознаки надзвичайних ситуацій : затв. МВС України 06.08.2018 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0969-18#Text> (дата звернення: 07.12.2025).

26. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001-2014 : затв. МВС України 30.12.2014 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> (дата звернення: 07.12.2025).

27. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок: НПАОП 40.1-1.32-01 : затв. Мінпраці України 21.06.2001 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text> (дата звернення: 08.12.2025).

28. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення : ДБН В.1.1-46:2017 : затв. Мінрегіонбудом України 25.04.2017. URL: <http://surl.li/dvoj1> (дата звернення: 31.10.2024).

29. Васійчук В. О., Гончарук В. Є., Качан С. І., Мохняк С. М. Основи цивільного захисту : навч. посіб. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2010. 417 с. Також доступний у PDF: URL: https://dut.edu.ua/uploads/l_1672_87262937.pdf (дата звернення: 08.12.2025).