

майбутньому можна очікувати подальшого зростання значення мультимодальних перевезень, особливо в контексті швидко зростаючої глобалізації та збільшення обсягів міжнародної торгівлі. Для успішного використання цих перспектив необхідно продовжувати розвивати технології, вдосконалювати логістичні процеси та сприяти співпраці між усіма учасниками ланцюгу постачання та перевезень.

УДК 629.361:628.4

**АПРОКСИМАЦІЯ НЕЛІНІЙНОСТІ ВТРАТ РОБОЧОЇ РІДИНИ В
ПРОЦЕСІ ЗНОСУ ПАР ТЕРТЯ ГІДРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ
ЗАВАНТАЖЕННЯ ТПВ У СМІТТЄВОЗ**

**NONLINEARITY APPROXIMATION OF WORKING FLUID LOSSES
DURING THE WEAR OF FRICTION PAIRS OF THE HYDRAULIC
DRIVE OF THE MSW LOADING MECHANISM IN A DUSTCART**

*В.Є. Яворський, докт. техн. наук О.В. Березюк
Вінницький національний технічний університет (м. Вінниця)*

*V.Ye. Yavorskyi, O.V. Bereziuk, Dr. Sc. (Tech.)
Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia)*

Збирання твердих побутових відходів (ТПВ) здійснюється більше ніж 3,8 тис. спеціальними автомобілями (смiттевозами) [1], які є елементами національної транспортної інфраструктури. Процес пов'язаний із значними фінансовими витратами. Перед перевезенням ТПВ смiттевозами до місця їх утилізації виконується операція завантаження відходів. Зношеність автопарку смiттевозів комунальних підприємств складає більше 60% [1].

Аналіз [2] розробок в галузі завантаження ТПВ показав, що у переважної більшості смiттевозів завантаження відходів здійснюється за допомогою гідравлічного приводу робочих органів [3-7], який широко застосовується зокрема у комунальних машинах [8-11].

У роботі [12] запропонована математична модель гiдроприводу робочих органів перевертання контейнера під час завантаження ТПВ у смiттевоз, яка дає змогу дослідити динаміку вказаного гiдроприводу для вибору більш раціональних його основних конструктивних параметрів.

В матеріалах статті [13] для проведення проектних розрахунків нових конструкцій смiттевозів отримано наближені аналітичні залежності тиску в напірній магістралі гiдроциліндра, кутової швидкості та кута

перевертання контейнера від часу на основі запропонованої лінеаризованої математичної моделі гідроприводу перевертання контейнера на технологічній операції завантаження ТПВ у сміттєвоз.

Але розглянуті вище математичні моделі не враховують знос пар тертя механізму перевертання контейнера [14]. Тому в статті [15] встановлено залежності максимальних ударних динамічних напружень в найбільш навантаженому перерізі стріли маніпулятора сміттєвоза від зносу шарніра маніпулятора та рівня його навантаженості. Закономірність зносу вузлів тертя механізму завантаження сміттєвоза від властивостей антифрикційних матеріалів виявлено в роботі [16].

В науковій статті [17] запропоновано удосконалену нелінійну математичну модель роботи гідроприводу механізму завантаження ТПВ у сміттєвоз, яка враховує знос пар тертя. Ця модель містить зокрема нелінійну залежність втрат Q_B робочої рідини на перетікання з області високого тиску в область низького тиску в процесі зносу пар тертя

$$Q_B = \frac{\pi D \left\{ \delta_0 + 10^{-6} [458,2f + 0,1696HB + 4366(1 + 7,738f)x' - 5,462 \cdot 10^{-4} p_2] \right\}^3}{12\nu\rho l} (p_2 - p_3). \quad (1)$$

З метою побудови лінеаризованої удосконаленої роботи гідроприводу механізму завантаження ТПВ у сміттєвоз проведено апроксимацію залежності втрат робочої рідини від тривалості процесу t , що характеризується коефіцієнтами $\alpha = 4,054 \cdot 10^{-4}$ і $\beta = 128,4$

$$Q_B \approx \frac{\pi D \delta_0^3}{12\nu\rho l} (p_2 - p_3) + \alpha (1 - e^{-\beta t}). \quad (2)$$

[1] Попович В.В. та ін. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище" // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27, № 10. – С. 111-116.

[2] Березюк О.В., Яворський В.С. Аналіз конструкцій і робочих органів механізмів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз // Наукові праці ВНТУ. – 2023. – № 4. – 8 с.

[3] Kozlov L., Polishchuk L., Piontkevych O. et al. Optimization of Design Parameters of a Counterbalance Valve for a Hydraulic Drive Invariant to Reversal Loads // Mechatronic Systems 1. – London, 2021. – P. 137-148.

[4] Козлов Л., Репінський С., Паславська О., Піонткевич О. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора // Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 2. – 9 с.

[5] Піонткевич О.В. та ін. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві // Вісник машинобудування та транспорту. – 2022. – № 16(2). – С. 96-100.

[6] Лозінський Д.О. та ін. Оптимізація електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків // Вісник машинобудування та транспорту. – 2023. – № 17(1). – С. 87-91.

[7] Polishchuk L., Khmara O., Piontkevych O. et al. Dynamics of the conveyor speed stabilization system at variable loads // Informatyka, Automatyka, Pomiar W Gospodarce i Ochronie Środowiska. – 2022. – No. 2(12). – P. 60-63.

[8] Березюк О.В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози // Вісник ВПІ. – 2009. – № 4. – С. 81-86.

[9] Піонткевич О.В. Математична модель гідроприводу фронтального навантажувача з гальмівним клапаном // Вісник машинобудування та транспорту. – 2015. – № 2. – С. 83-90.

[10] Березюк О.В. Дослідження динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози // Вісник ОДАБА. – 2009. – № 33. – С. 403-406.

[11] Kozlov L., Burennikov Yu., Piontkevych O., Paslavskaya O. Optimization of design parameters of the counterbalance valve for the front-end loader hydraulic drive // Proceedings of 22nd International Scientific Conference «MECHANIKA 2017». – Kaunas University of Technology, Lithuania, 19 May 2017. – P. 195-200.

[12] Березюк О.В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів перевертання контейнера під час завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 5. – С. 60-64.

[13] Berezyuk O.V., Savulyak V.I. Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart // Technical Sciences. – 2017. – No. 20(3). – P. 259-273.

[14] Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Preliminary dynamics and stress analysis of articulating non-telescoping boom cranes using finite element method // International Review on Modelling and Simulations. – 2015. – Vol. 8, No. 2. – P. 223-226.

[15] Bereziuk O.V., Savulyak V.I., Kharzhevskiy V.O., Yavorskiy V.Ye. The influence of hinges wear on the dynamic load of the articulated boom of a garbage truck's manipulator // Problems of Tribology. – 2023. No. 28(3/109). – P. 18-24.

[16] Bereziuk O.V., Savulyak V.I., Kharzhevskiy V.O., Serdiuk O.V., Yavorskiy V.Ye. Dependence of wear of friction pairs of the mechanism for loading solid household waste into a garbage truck on the characteristics of antifriction materials // Problems of Tribology. – 2024. – No. 29(3/113). – P. 24-30.

[17] Березюк О.В., Яворський В.Є. Удосконалена математична модель роботи гідроприводу механізму завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз із урахуванням зносу пар тертя // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2025. – № 1. – 11 с.