УДК 629.361:628.4

**Яворський В.Є.[1], аспірант кафедри технології**
**та автоматизації машинобудування**
**Березюк О.В.[1], професор кафедри безпеки**
**життєдіяльності та педагогіки безпеки, д.т.н., доцент**
*[1]Вінницький національний технічний університет*

# ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК АНТИФРИКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ДИНАМІЧНУ НАВАНТАЖЕНІСТЬ ШАРНІРНО-СПОЛУЧЕНОЇ СТРІЛИ МАНІПУЛЯТОРА СМІТТЄВОЗА

Основним завданням санітарного очищення населених пунктів та забезпечення їхньої екологічної безпеки є збирання твердих побутових відходів (ТПВ). Цей процес здійснюється більше ніж 3,8 тис. спеціальними автомобілями (сміттєвозами) [1], а тому пов'язане із значними фінансовими витратами. Перед перевезенням ТПВ сміттєвозами до місця їх утилізації виконується операція завантаження відходів. Зношеність автопарку сміттєвозів комунальних підприємств складає більше 60% [1].

Аналіз [2] розробок в галузі завантаження ТПВ показав, що у переважної більшості сміттєвозів завантаження відходів здійснюється за допомогою гідравлічного приводу робочих органів [3-8], який широко застосовується зокрема у комунальних машинах [9-13]. Технологічна операція завантаження ТПВ у сміттєвоз складається із повороту важеля та перевертання захвату контейнера. Із зальної тривалості завантаження ТПВ у сміттєвоз основну частину (75%) займає поворот важеля маніпулятора.

В статті [14] запропонована нелінійна математична модель гідроприводу повороту важеля маніпулятора під час завантаження ТПВ у сміттєвоз, дослідження якої дозволило отримати регресійну залежність тривалості повороту важеля маніпулятора від відстані між центрами повороту важеля та штока та початкового значення кута нахилу осі гідроцилідра до горизонталі, на основі якої визначено оптимальні значення вказаних параметрів та мінімальну тривалість повороту важеля маніпулятора [15].

В матеріалах роботи [16] виявлено регресійні залежності показників якості перехідних процесів під час пуску гідроприводу повороту важеля маніпулятора на операції завантаження ТПВ у сміттєвоз.

У статті [17] опубліковано лінеаризовану математичну модель гідроприводу повороту важеля маніпулятора на технологічній операції завантаження ТПВ у сміттєвоз, що дозволила отримати наближені аналітичні залежності тиску в напірній магістралі гідроциліндра, кутової швидкості та кута повороту важеля маніпулятора від часу.

В роботі [18] запропонована математична модель гідроприводу робочих органів перевертання контейнера під час завантаження ТПВ у сміттєвоз, яка дає змогу дослідити динаміку вказаного гідроприводу для вибору більш раціональних його основних конструктивних параметрів.

В статті [19] для проведення проектних розрахунків нових конструкцій сміттєвозів отримано наближені аналітичні залежності тиску в напірній магістралі гідроциліндра, 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 шарнірів шарнірно-сполученої стріли маніпулятора сміттєвоза, який призводить до суттєвого зростання короткочасних ударних напружень у ланках шарнірно-сполучених стріл, підвищення рівня їхньої навантаженості навіть у стабільних умовах експлуатації та збільшення ризику розвитку втомного руйнування [20].

В статті [21] встановлено залежності максимальних ударних динамічних напружень в найбільш навантаженому перерізі стріли маніпулятора сміттєвоза від зносу шарніра маніпулятора та рівня його навантаженості:

$$\sigma_{\max} = 0{,}08552u + 89{,}58\frac{G}{G_n} + 0{,}06243u\frac{G}{G_n} - 2{,}99\cdot 10^{-5}u^2 - 10{,}02\left(\frac{G}{G_n}\right)^2 \text{ [МПа]}, \qquad (1)$$

де $\sigma_{max}$ – максимальні ударні динамічні напруження в найбільш навантаженому перерізі стріли маніпулятора, МПа;

$u$ – знос шарніра маніпулятора, мкм;

$G/G_n$ – рівень навантаженості маніпулятора;

$G$ – вага контейнера з твердими побутовими відходами, Н;

$G_n$ – номінальна вантажопідйомність маніпулятора, Н.

Закономірність зносу вузлів тертя механізму завантаження сміттєвоза від властивостей антифрикційних матеріалів виявлено в роботі [22]

$$u = 458{,}2f + 0{,}1696HB + 4366v - 546{,}2p + 33782fv \text{ [мкм]}, \quad (2)$$

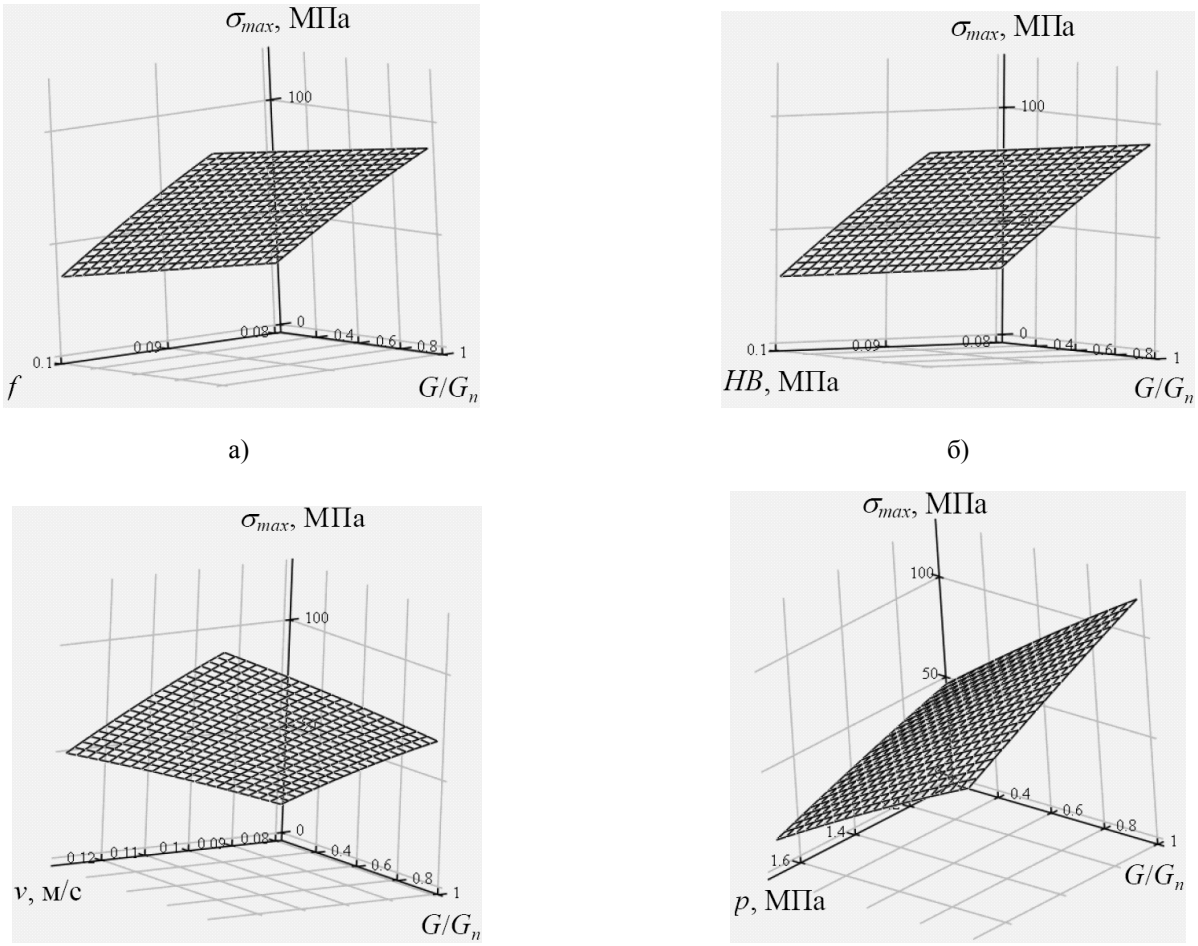
де $f$ – коефіцієнт тертя пари сталь – антифрикційний матеріал;

$HB$ – твердість антифрикційного матеріалу за Бринелем, МПа;

$v$ – швидкість ковзання, м/с;

$p$ – тиск в зоні тертя, МПа.

Підставивши формули (2) в залежність (1) побудуємо графіки впливу властивостей антифрикційних матеріалів на максимальні ударні динамічні напруження в найбільш навантаженому перерізі стріли маніпулятора сміттєвоза, зображені на рис. 1.




а) б)

в) г)

Рисунок 1 – Графіки впливу властивостей антифрикційних матеріалів на максимальні ударні динамічні напруження в найбільш навантаженому перерізі стріли маніпулятора сміттєвоза

(а) $\sigma_{\max} = f(f, G/G_n)$ (б) $\sigma_{\max} = f(f, G/G_n)$ (в) $\sigma_{\max} = f(v, G/G_n)$ (г) $\sigma_{\max} = f(p, G/G_n)$

**Висновки.** Досліджено вплив властивостей антифрикційних матеріалів на максимальні ударні динамічні напруження в найбільш навантаженому перерізі стріли маніпулятора сміттєвоза.

**Література**

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.Є. Аналіз конструкцій і робочих органів механізмів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз, Наукові праці Вінницького національного технічного університету, 2023, № 4, 8 с. https://doi.org/10.31649/2307-5376-2023-4-26-34

3. Kozlov L., Polishchuk L., Piontkevych O., Purdyk V., Petrov O., Tverdomed V., Tungatarova A. Optimization of Design Parameters of a Counterbalance Valve for a Hydraulic Drive Invariant to Reversal Loads, Mechatronic Systems, Vol. 1, Routledge, London, 2021, p. 137-148. DOI: 10.1201/9781003224136-12

4. Petrov O., Kozlov L., Lozinskiy D., Piontkevych O. Improvement of the hydraulic units design based on CFD modeling, In: Lecture Notes in Mechanical Engineering XXII, 2019, p. 653-660.

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

6. Polishchuk L.K., Piontkevych O.V., Dynamics of adaptive drive of mobile machine belt conveyor, 22nd International Scientific Conference «MECHANIKA 2017», Kaunas, 19 May 2017, p. 307-311.

7. Піонткевич О.В. та ін. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві, Вісник машинобудування та транспорту, 2022, № 16(2), с. 96-100.

8. Лозінський Д.О. та ін. Оптимізація електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків, Вісник машинобудування та транспорту, 2023, № 17 (1), с. 87-91.

9. Березюк О.В. Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза, Промислова гідравліка і пневматика, 2011, № 34 (4), с. 80-83.

10. Polishchuk L., Khmara O., Piontkevych O., Adler O., Tungatarova A., Kozbakova, A. Dynamics of the conveyor speed stabilization system at variable loads. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce i Ochronie Środowiska, 2022, Vol. 12, No. 2, p. 60-63.

11. Піонткевич О.В. Математична модель гідроприводу фронтального навантажувача з гальмівним клапаном, Вісник машинобудування та транспорту, 2015, № 2, с. 83-90.

12. Kozlov L., Burennikov Yu., Piontkevych O., Paslavska 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.

13. Березюк О.В., Савуляк В.І. Вплив характеристик тертя на динаміку гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза, Проблеми тертя та зношування, 2015, № 3 (68), с. 45-50.

14. Березюк О.В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози, Вісник ВПІ, 2009, № 4, с. 81-86.

15. Березюк О.В. Оптимізація завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози, Системи прийняття рішень в економіці, техніці та організаційних сферах: від теорії до практики: колективна монографія у 2 т, Т. 2. Павлоград: АРТ Синтез-Т, 2014, с. 75-83.

16. Березюк О.В. Дослідження динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози, Вісник ОДАБА, 2009, № 33, с. 403-406.

17. Березюк О.В. Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу повороту важеля маніпулятора на операції завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз, Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2010, № 3, с. 93-98.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. Bereziuk O.V., Savulyak V.I., Kharzhevskyi V.O., Yavorskyi 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. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-109-3-18-24

22. Bereziuk O.V., Savulyak V.I., Kharzhevskyi V.O., Serdiuk O.V., Yavorskyi 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. https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-113-3-15-23