УДК 531.44; 62-822; 629.361:628.4

О. В. БЕРЕЗЮК, В. І. САВУЛЯК

Вінницький національний технічний університет, Україна

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРТЯ НА ДИНАМІКУ ГІДРОПРИВОДУ ВИВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ІЗ СМІТТЄВОЗА

Показано доцільність використання композиційних напрямних зі стабільними характеристиками тертя в гідроприводі плити для вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза. Отримано регресійні залежності показників якості перехідних процесів під час пуску гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів.

Ключові слова: *перехідні процеси; гідропривод; плита вивантажування; сміттєвоз; математична модель; тверді побутові відходи.*

Вступ. Відповідно до [1] в населених пунктах України щороку утворюються 46 млн. м^3 твердих побутових відходів (ТПВ). Переважаюча їх частина захоронюються на 4530 полігонах та сміттєзвалищах, які займають загальну площу майже 7,7 тис. га та лише частково утилізуються на сміттєспалювальних заводах або перероблюються. Лише за останнє десятиліття загальна площа полігонів та сміттєзвалищ (в т.ч. перевантажених та тих, що не відповідають нормам екологічної безпеки) в Україні зросла в декілька разів. Збирання ТПВ є основним завданням санітарного очищення населених пунктів і здійснюється більше ніж 4100 спеціальними автомобілями (сміттєвозами) [1], а тому пов'язане із значними фінансовими затратами на пальне [2]. Після перевезення ТПВ сміттєвозами до місця їхньої утилізації виконується операція вивантаження відходів.

Постановка завдання. Актуальною науковою проблемою, що виникає під час проектування та експлуатації технологічних машин та механізмів, є забезпечення їхньої надійності та якості функціонування. Поряд із важливими факторами впливу на надійність – зношуванням, не менший вплив чинять раптові поломки окремих ланок механізмів. В ланцюзі цих взаємопов'язаних факторів тертя та перехідні процеси, збуджені ним в момент початку роботи (пуску), відіграють неабияке значення. Найбільше частоту поломок спостерігають для приводів переміщення (наприклад, плити вивантаження ТПВ із сміттєвозів) в момент початку руху. У переважної більшості сміттєвозів вивантаження ТПВ здійснюється за допомогою гідравлічного приводу виштовхувальної плити. При цьому в вказаному приводі використовується, як правило, телескопічний гідроцилінр. Згідно [1] зношеність автопарку сміттєвозів комунальних підприємств України складає майже 70%. Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 265 [3], забезпечення застосування сучасних високоефективних сміттєвозів у комунальному господарстві країни є актуальною науково-технічною задачею. Зокрема, актуальною є проблема забезпечення надійності приводу та механізмів, що здійснюють вивантаження ТПВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автором [4] відмічено, що протікання масла з корпуса циліндра виштовхувальної плити та рух виштовхувальної плити ривками є одними з найбільш поширених поломок серед усіх видів поломок сміттєвозів і складають 183…225 та 131…180 випадків протягом одного року в перерахунку на 100 сміттєвозів, відповідно. Авторами [5] досліджена надійність сміттєвоза як складної технічної системи. Структура відмов сміттєво-

зів досліджена автором [6]. У роботі [7] наведено повну математичну модель вивантаження ТПВ із сміттєвоза, а в статті [8], на основі аналітичного дослідження повної моделі, запропоновано спрощену математичну модель. Автори [9] наводять результати моделювання робочих процесів віброударного пристрою для розвантаження кузовів самоскидів транспортних засобів. В монографії [2] досліджено вплив матеріалів напрямних плити для пресування ТПВ у сміттєвозі. Однак досліджень впливу матеріалів напрямних виштовхувальної плити на динаміку гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза, в результаті аналізу відомих публікацій, нами не виявлено.

Метою дослідження є визначення раціональних характеристик тертя матеріалів напрямних ковзання та параметрів гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза для підвищення надійності його роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час вивантаження ТПВ із сміттєвоза на елементи приводу виштовхувальної плити діють значні навантаження, викликані перехідними процесами під час пуску. Враховуючи значну масу рухомих частин (3-16 т) та значну різницю між тертям спокою та тертям ковзання в напрямних плити пускові перевантаження можуть досягати значних величин. Особливу небезпеку це становить для вузлів з'єднання гідроциліндр-плита, гідроциліндр-рама, а також для гнучких трубопроводів високого тиску, які підводять робочу рідину до гідроциліндра. Такі стрибки тиску в режимі перехідних процесів є причиною розриву трубопроводів високого тиску, виходу обладнання з робочого стану та значних втрат робочої рідини (як правило високовартісного мінерального мастила). В даній роботі вищевказані проблеми досліджуються шляхом математичного моделювання роботи гідроприводу за допомогою ЕОМ.

В залежності від виду матеріалу пари тертя в напрямних ковзання виштовхувальної плити характеристики тертя можна апроксимувати у вигляді: незалежної від швидкості ковзання в напрямних (для композитних матеріалів, рис. 1а) та падаючої характеристики (для металів, рис. 1б) [10].

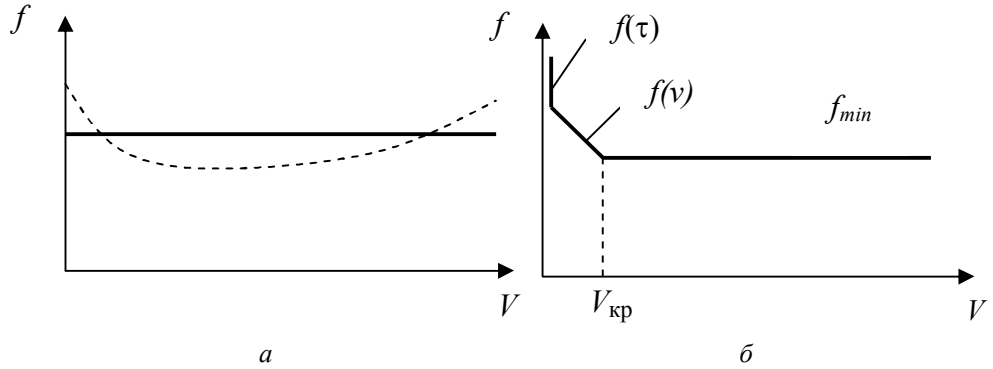


Рис. 1. Апроксимація характеристик тертя:
а – незалежна від швидкості ковзання в напрямних; *б* – падаюча

В результаті імітаційного моделювання на ЕОМ, використовуючи числовий метод Рунге-Кутта-Фельдберга та математичну модель [7], отримано графіки впливу діаметра поршня першої ступені телескопічного гідроциліндра на такі показники якості перехідних процесів в гідроприводі, як час регулювання (рис. 2, *а*) та відносне перерегулювання (рис. 2, *б*), відповідно.

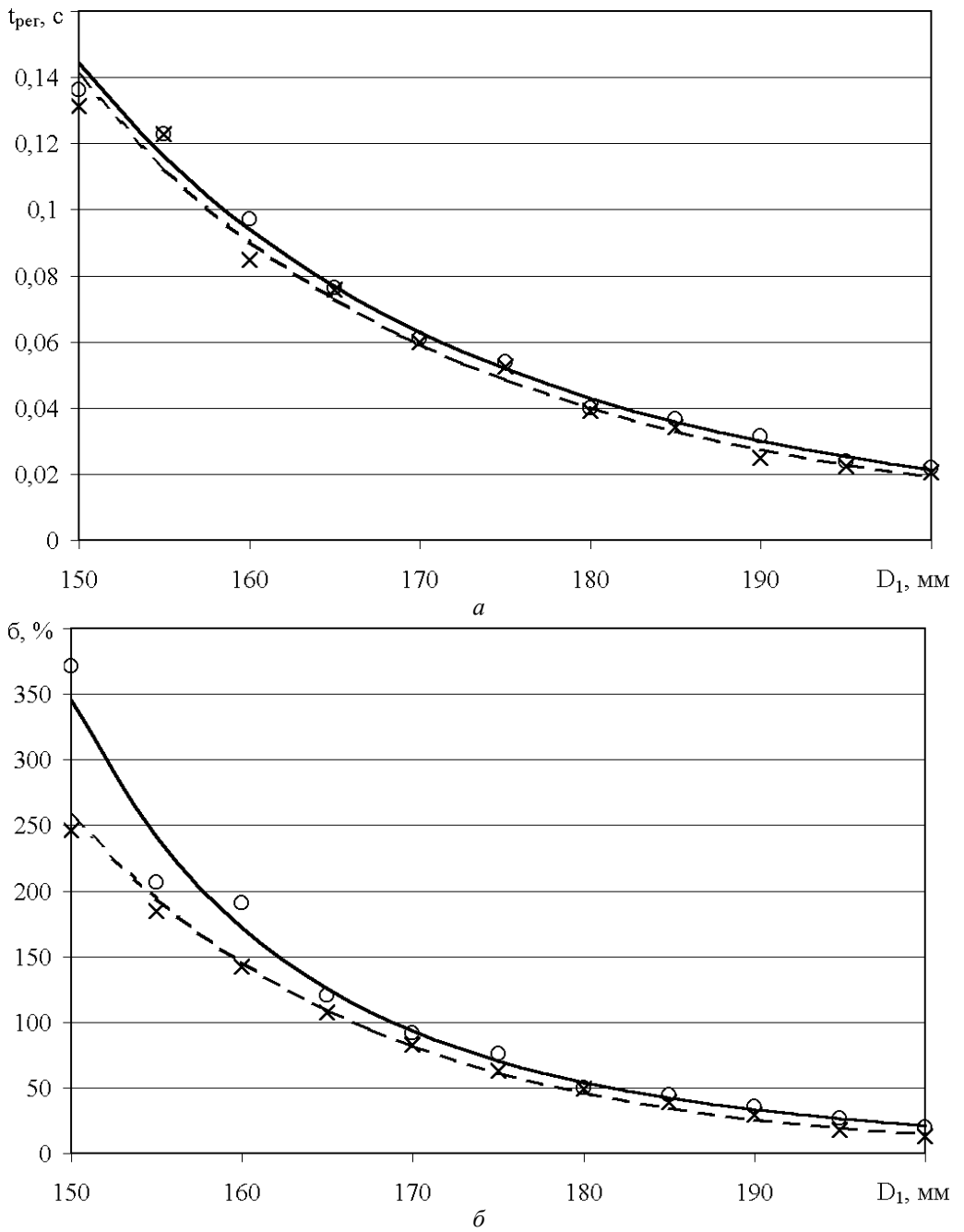


Рис. 2. Вплив діаметра поршня першої ступені телескопічного гідроциліндра D_1 на: *а* – час регулювання $t_{рег}$; *б* – відносне перерегулювання σ для падаючої характеристики тертя —○ та характеристики тертя, незалежної від швидкості ковзання в напрямних – –×

Аналіз графіків, представлених на рис. 2 показав, що час регулювання та відносне перерегулювання менші для падаючої характеристики тертя в усьому досліджуваному діапазоні діаметра поршня першої ступені телескопічного гідроциліндра (150…200 мм). Збільшення діаметра поршня першої ступені телескопічного гідроциліндра виштовхувальної плити позитивно впливає на якість перехідних процесів, особливо для композитних пар тертя.

На основі даних, наведених на рис. 2, за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [11], проведено регресійний аналіз залежності показників якості перехідних процесів під час пуску гідроприводу виштовхувальної плити сміттєвоза від діаметра штока першої ступені телескопічного гідроциліндра D_1 за умов використання різних матеріалів напрямних. Результати регресійного аналізу наведені в табл. 1, де сірим кольором позначено комірки з максимальними значеннями коефіцієнта кореляції R для кожної із парних регресій.

Таблиця 1

Результати регресійного аналізу показників якості перехідних процесів під час пуску гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза

№	Вид регресії	коефіцієнт кореляції R для парних регресій			
		$t_{рег}^{над} = f(D_1)$	$\sigma^{над} = f(D_1)$	$t_{рег}^{пос} = f(D_1)$	$\sigma^{пос} = f(D_1)$
1	$y = a + bx$	0,95921	0,88428	0,95670	0,94199
2	$y = 1 / (a+bx)$	0,97450	0,94954	0,97246	0,89015
3	$y = a + b / x$	0,97793	0,91508	0,97506	0,96525
4	$y = x / (a + bx)$	0,96740	0,93906	0,96661	0,88114
5	$y = ab^x$	0,99661	0,99338	0,99504	0,99636
6	$y = ae^{bx}$	0,99661	0,99338	0,99504	0,99635
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,99661	0,99338	0,99504	0,99635
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,37755	0,35187	0,37134	0,28760
9	$y = ax^b$	0,99727	0,99554	0,99531	0,99327
10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,96934	0,90024	0,96665	0,95431
11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,96934	0,90024	0,96665	0,95431
12	$y = a / (b + x)$	0,97450	0,94954	0,97246	0,89015
13	$y = ax / (b + x)$	0,95492	0,92344	0,95256	0,85514
14	$y = ae^{b/x}$	0,99627	0,99615	0,99389	0,98867
15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,99627	0,99616	0,99389	0,98867
16	$y = a + bx^n$	0,94763	0,86734	0,94531	0,92843

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних табл. 1, як найбільш адекватні за критерієм максимального коефіцієнта кореляції, остаточно прийняті такі регресійні залежності для часу регулювання та відносного перерегулювання:

$$t_{рег}^{над} = 4{,}065 \cdot 10^{13} D_1^{-6{,}64}; \quad (1)$$

$$\sigma^{над} = 5{,}148 \cdot 10^{724/D_1 - 3}; \quad (2)$$

$$t_{рег}^{пос} = 1{,}445 \cdot 10^{14} D_1^{-6{,}898}; \quad (3)$$

$$\sigma^{пос} = 1{,}375 \cdot 10^6 \cdot 0{,}9444^{D_1}, \quad (4)$$

де $t_{рег}^{над}$, $t_{рег}^{пос}$ – час регулювання для падаючої та постійної характеристик тертя, відповідно, с; $\sigma^{над}$, $\sigma^{пос}$ – відносне перерегулювання для падаючої та постійної характеристик тертя, відповідно, %.

З рівнянь (1…4) за допомогою математичних перетворень отримано залежності для визначення діаметра штока першої ступені телескопічного гідроциліндра D_1, необхідного для забезпечення якісних перехідних процесів під час пуску

гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза при використанні різних матеріалів напрямних:

$$D_{1.t_{рег}}^{пад} = \frac{112{,}1}{\left(t_{рег}^{н}\right)^{0{,}1506}}; \quad (5)$$

$$D_{1.\sigma}^{пад} = \frac{724}{\lg\sigma^{н} + 2{,}288}; \quad (6)$$

$$D_{1.t_{рег}}^{пос} = \frac{113}{\left(t_{рег}^{н}\right)^{0{,}145}}; \quad (7)$$

$$D_{1.\sigma}^{пос} = 247{,}1 - 40{,}26\lg\sigma^{н}, \quad (8)$$

де $t_{рег}^{н}$, $\sigma^{н}$ – нормовані значення часу регулювання та відносного перерегулювання, відповідно.

Як остаточне значення D_1 приймається найбільше із значень $D_{1.t рег}$ та $D_{1.\sigma}$.

Використовуючи залежності (5…8), встановлено, що діаметр штока першої ступені телескопічного гідроциліндра D_1, необхідного для забезпечення якісних перехідних процесів під час пуску гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза повинен становити 192 мм та 188 мм для падаючої та постійної характеристик тертя, відповідно. Отже, використання композитних напрямних із стабільним коефіцієнтом тертя дозволяє досягти якісної роботи гідроприводу вивантаження ТПВ при меншому значенні діаметра штока першої ступені телескопічного гідроциліндра.

Висновки:

1. Встановлено, що використання композитних напрямних із стабільним коефіцієнтом тертя сприяє підвищенню якості перехідних процесів під час вивантаження ТПВ із сміттєвоза.

2. Отримано регресійні залежності показників якості перехідних процесів під час пуску гідроприводу вивантаження ТПВ, що можуть бути використаними під час проведення проектних розрахунків нових конструкцій сміттєвозів.

3. Виявлено, що для забезпечення якісної роботи гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза діаметр штока першої ступені телескопічного гідроциліндра рекомендується виконувати більшим ніж D_1 = 188 мм при використанні композитних напрямних із стабільним коефіцієнтом тертя.

Список літератури

1. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування об’ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні / О. В. Березюк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – № 2(7). – С. 88–91.

2. Савуляк В. І. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів. Монографія / В. І. Савуляк, О. В. Березюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 217 с. – ISBN 966–641–194–6.

3. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 «Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами» [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України : http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF.

4. Березюк О. В. Надійність окремих вузлів і агрегатів сміттєвозів / О. В. Березюк // Тези доповідей ІІ-ої міжнародної інтернет-конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій», 12 листопада 2014 року : збірник наукових праць. Час-

тина 1 / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – С. 16.

5. Шемшура Е. А. Исследования надежности мусоровоза как сложной технической системы / Е. А. Шемшура, М. С. Алтунина // Научные труды SWorld. – 2014. – № 4. Т. 2. – С. 28–36. – ISSN 2224–0187.

6. Домницкий А. А. Повышение эффективности кузовных мусоровозов совершенствованием конструкции манипулятора и системы технического обслуживания: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук / А. А. Домницкий.– Новочеркасск: 2007. – 21 с.

7. Березюк О. В. Дослідження динаміки гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвозів / О. В. Березюк // Машинознавство. – Львів : НУ "Львівська політехніка". – 2008. – № 10 (136). – С. 25–28. – ISSN 1729–4959.

8. Березюк О. В. Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза / О. В. Березюк // Промислова гідравліка і пневматика. – 2011. – № 34 (4). – С. 82-83. – ISSN 1994-4691.

9. Іскович-Лотоцький Р. Д. Моделювання робочих процесів віброударного пристрою для розвантаження кузовів самоскидів транспортних засобів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // «Гідро- та пневмоприводи машин – сучасні досягнення та застосування». Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція, 22 грудня 2014 р. : збірник тез доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – С. 54–55. – ISBN 978–966–641–604–2.

10. Немировский И. А. Гидроприводы сельскохозяйственных машин / И. А. Немировский, В. Ф. Маркин, Л. П. Середа. – К. : Техніка, 1979. – 139 с.

11. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz") / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486 // власник свідоцтва О. В. Березюк. – К. : Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації : 03.06.2013.

Стаття надійшла до редакції 30.09.2015.

O. V. BEREZYUK, V. I. SAVULYAK

INFLUENCE OF FRICTION FEATURES ON DYNAMIC HYDRAULIC DRIVE UNLOADING THE SOLID DOMESTIC WASTES FROM DUST-CART

A dynamics of hydraulic drive of plate for unloading of solid domestic wastes is considered with use of number research of mathematical model. Aspects of influencing parameters of drive and construction, materials for directing, are studied. Expedience of using in drive of composition directing with stable descriptions of friction is shown. The regressive dependences of quality indexes of transitional processes during starting hydraulic drive of unloading solid domestic wastes are obtained.

Key words: transitional processes; hydraulic drive; plate for unloading; dust-cart; mathematical model; solid domestic wastes.

Березюк Олег Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна, berezyukoleg@yandex.ru, 095-879-02-20.

Савуляк Валерій Іванович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технології підвищення зносостійкості Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна.