

## ЗАЛЕЖНІСТЬ ТРИВАЛОСТІ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У СМІТТЄВОЗ ВІД СИЛИ ЗАТИСКАННЯ КОНТЕЙНЕРА

Вінницький національний технічний університет

*Підвищення точності позиціонування маніпулятора сміттєвоза є важливим чинником забезпечення надійності та безпеки процесу завантаження контейнерів, тоді як контроль сили його затискання дозволяє мінімізувати пошкодження тари, зменшити динамічні навантаження на конструкцію та підвищити довговічність гідроприводу і кінематичних вузлів. Тому визначення регресійної залежності тривалості завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза від сили затискання контейнера, яка може бути використана для розробки методики інженерних розрахунків параметрів механізму завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза, є актуальною науково-технічною задачею. Мета дослідження – побудова з використанням регресійного аналізу регресійної залежності тривалості завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз від сили затискання контейнера, яка може бути використана для розробки методики інженерних розрахунків параметрів механізму завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз. Для проведення дослідження застосовано метод регресійного аналізу парних залежностей та результатів однофакторних експериментів із вибором найбільш адекватного виду функції із шістнадцяти найпоширеніших видів використовуючи критерій максимального значення коефіцієнта кореляції. Отримання рівнянь регресії здійснювалось на основі лінеаризувальних перетворень, що дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Обчислення коефіцієнтів рівнянь регресії проводилось з використанням методу найменших квадратів із застосуванням розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz". Отримано регресійну залежність тривалості завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз від сили затискання контейнера, що може бути використана для розробки методики інженерних розрахунків параметрів механізму завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз. Побудовано графічну залежність тривалості завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз від сили затискання контейнера, що дозволяє наглядно відобразити дану залежність та показати достатню збіжність між теоретичними результатами та фактичними. Встановлено, що тривалість завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза при збільшенні сили затискання контейнера зростає за степеневою залежністю.*

**Ключові слова:** завантаження, сміттєвоз, маніпулятор, тверді побутові відходи, регресійна залежність, регресійний аналіз.

### Вступ

Збирання та перевезення твердих побутових відходів до місць подальшого поводження з ними в нашій країні здійснюється як правило кузовними сміттєвозами, виконавчі органи завантаження яких виконано як маніпулятори з гідравлічним приводом [1-5]. В Україні застосовуються майже 3700 сміттєвозів, що спроможні проводити ущільнення твердих побутових відходів, зменшуючи транспортні витрати та потрібні площі полігонів для захоронення. Комунальне господарство нашої країни повинно забезпечуватися сучасними, високопродуктивними та багатофункціональними сміттєвозами, що відіграють ключову роль у системі збирання, транспортування та утилізації твердих побутових відходів. Ефективна робота таких машин є одним із базових чинників екологічної безпеки міських територій і забезпечення санітарного стану населених пунктів. Згідно з офіційними статистичними даними, щороку в містах і селищах міського типу України накопичується близько 54 млн м<sup>3</sup> твердих побутових відходів, причому 93,8 % із цього обсягу направляється на сміттєзвалища та полігони, 2 % піддається спалюванню на сміттєспалювальних заводах, а лише 4,2 % відходів потрапляє на пункти збору вторинної сировини або на сміттєпереробні підприємства [6]. При цьому щорічний приріст кількості твердих побутових відходів становить близько 0,5 % [7], що свідчить про стабільну тенденцію до зростання навантаження на систему поводження з відходами. За умов постійного збільшення обсягів твердих побутових відходів і підвищення екологічних вимог, особливої актуальності набуває своєчасна та раціональна організація процесів збору, транспортування, переробки та утилізації твердих побутових відходів, оскільки від цього безпосередньо залежить екологічна ситуація у містах, а також санітарно-гігієнічні умови проживання населення. Підвищення стандартів якості комунального обслуговування громадян, зокрема в частині санітарного очищення територій, висуває нові вимоги до технічного рівня та енергоефективності спеціалізованого автотранспорту. Сміттєвози сучасних конструкцій повинні забезпечувати не лише ефективне збирання і ущільнення відходів, але й мінімізувати витрати енергії, скорочувати час операцій завантаження та

вивантаження, а також відповідати екологічним нормативам щодо викидів шкідливих речовин.

У науковій статті [8] описані рівняння руху малогабаритного пневмоколісного фронтального навантажувача у вигляді системи диференціальних рівнянь руху нелінійного характеру під час автоколювань, проведено аналіз впливу на параметри автоколювань окремих параметрів навантажувача. Визначено основні теоретичні закономірності, а також параметри автоколювальних процесів навантажувача. Встановлений вплив на вихідні параметри автоколювань окремих параметрів малогабаритного пневмоколісного фронтального навантажувача.

В роботі [2] представлена розрахункова схема та математична модель гідравлічного приводу фронтального навантажувача маніпуляторного типу оснащеного гальмівним клапаном, що враховує результати експериментального визначення моменту опору на планшайбі регульованого насоса за рахунок стохастичної складової моменту опору.

В матеріалах наукової статті [9] запропонована математична модель нелінійного характеру гідравлічного приводу повороту важеля маніпулятора на технологічній операції завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз, числове дослідження якої дозволило побудувати регресійну залежність тривалості повороту важеля маніпулятора від відстані між центрами повороту штока та важеля та початкового значення кута нахилу осі гідравлічного циліндра відносно горизонталі, на базі якої визначено оптимальні значення перерахованих параметрів, для яких значення тривалості повороту важеля маніпулятора є мінімальним [10]. При цьому у процесі дослідження параметрами математичної моделі слугували реальні параметри базової моделі серійного сміттєвоза КО-436 [11].

У науковій роботі [12] виявлено регресійні залежності показників якості перехідних процесів, що відповідають пуску гідравлічного приводу повороту важеля маніпулятора під час виконання технологічної операції завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза, а також встановлено, що на зниження темпів зростання зношеності автопарку сміттєвозів комунального господарства, зокрема механізмів та приводів, що забезпечують завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза позитивно впливає скорочення міжцентрової відстані повороту важеля та штока.

В статті [13] опубліковано лінеаризовану математичну модель гідравлічного приводу повороту важеля маніпулятора, що описує технологічну операцію завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза, яка дозволила одержати наближені аналітичні залежності тиску в напірній магістралі гідравлічного циліндра, кута повороту та кутової швидкості важеля маніпулятора з плином часу.

У статті [14] розроблено математичну модель, що дозволяє визначати оптимальні геометричні параметри конструктивних елементів маніпулятора з урахуванням максимального вильоту стріли, вантажопідйомності та ряду інших кінематичних характеристик машини. Така модель є важливим інструментом для інженерів-конструкторів, оскільки вона забезпечує можливість раціонального вибору розмірних параметрів елементів конструкції з метою підвищення ефективності роботи маніпулятора та забезпечення його надійності під час експлуатації. При цьому окрему увагу приділено особливостям роботи шарнірних з'єднань, які функціонують у циклічному режимі, що характерно для машин маніпуляторного типу. Встановлено, що в таких умовах формування повноцінного гідродинамічного режиму тертя є неможливим, оскільки процес змащування протікає переважно в режимах напівсухого та граничного тертя. Це обумовлює підвищені вимоги до властивостей матеріалів деталей, до якості поверхневої обробки та до ефективності системи мащення, оскільки саме ці фактори визначають зносостійкість і довговічність шарнірних вузлів у реальних умовах експлуатації. На відміну від усталеного режиму гідродинамічного тертя, робота підшипників ковзання в умовах напівсухого чи граничного тертя супроводжується інтенсивнішим зношуванням поверхонь тертя. Це призводить до поступової втрати кінематичної точності, появи додаткових динамічних навантажень, ударних навантажень і вібрацій, які, у свою чергу, спричиняють розвиток фреттинг-корозії та передчасне руйнування деталей. Для зменшення сили тертя запропоновано використовувати спеціальні покриття спряжених елементів шарнірів маніпуляторів, зокрема свинцеві, фосфатні та індієві. Доведено, що інтенсивність контактного зношування може бути значно знижена шляхом застосування мастильних матеріалів на основі масел і жирів, а також консистентних мастил, які при температурі 25 °C набувають густої, мазеподібної консистенції. Крім того, визначено доцільність використання фосфатних та анодних металевих покриттів, що сприяють кращому утриманню мастильних речовин на поверхнях тертя, підвищуючи ефективність їх роботи та довговічність вузлів.

У науковій роботі [15] розглянуто метод синтезу траєкторії руху маніпуляційного робота з урахуванням його ступенів рухливості. Показано, що згин штока формує опорні реакції в зоні контакту, аналогічно до роботи балки, яка спирається на дві опори. На основі визначеного контактного тиску можна оцінити потенційні процеси зношування поверхонь гідроциліндра, штока та ґрундбукси.

Встановлено, що навіть за умов повної відсутності небезпеки втрати міцності штоком при згині, контактні напруження, які сягають приблизно третини від межі міцності матеріалу, можуть суттєво прискорювати знос поверхонь тертя. Такий підхід дозволяє більш точно пояснити причини утворення характерних картин зношування та визначити особливості їхньої ідентифікації.

У матеріалах статті [16] подано результати аналізу конструктивних особливостей захватів маніпуляторів кузовних сміттєвозів та дослідження їхньої надійності. На основі проведених досліджень було розроблено розрахункову модель сміттєвоза, яку розглянуто як коливальну систему. В процесі аналізу встановлено особливості коливань рами сміттєвоза під час роботи, а також виявлено закономірності формування зусиль у взаємодії елементів системи «захват – бак – захват». Дослідження показали, що найбільші навантаження припадають на тягу та шток гідравлічного циліндра, і ці навантаження зростають зі збільшенням маси контейнера. При цьому зміна маси самого сміттєвоза не впливає на величину чи амплітуду навантажень, але призводить до зміни їхньої частотної характеристики. У ході експлуатаційних спостережень встановлено, що основною причиною відмов сміттєвозів є знос і корозія робочих поверхонь деталей робочого обладнання. Зокрема, 32 % усіх поломок у системі гідравлічного приводу припадає на гідроциліндри. Відмови цих вузлів пов'язані з деформаціями штока та циліндра, зношуванням робочих поверхонь спряжень під дією експлуатаційних навантажень, що виникають унаслідок нерівномірного завантаження кузова, а також із абразивним зношуванням у важких умовах роботи. Основним чинником відмов у роботі гідроприводу є інтенсивний знос робочих поверхонь ключових деталей його конструкції, зокрема золотників і корпусів гідророзподільників, а також штоків гідроциліндрів. Додатковим фактором деградації виступає гідроабразивне пошкодження, яке виникає внаслідок несвоєчасної заміни гідравлічної робочої рідини та застосування зношених або неякісних ущільнювальних елементів, таких як сальники гідравлічних циліндрів. Це призводить до проникнення у зону ковзання частинок пилу та продуктів зносу, що значно прискорює руйнування робочих поверхонь. Для підвищення ресурсу та відновлення працездатності деталей рекомендовано застосовувати технологію хромування в холодному саморегульованому електроліті, яка забезпечує отримання хромових покриттів із високою якістю осаду, підвищеною зносостійкістю та достатньою продуктивністю, що робить її одним із найбільш перспективних методів відновлення зношених елементів гідроприводів.

У роботі [17] проведено аналітичне дослідження лінеаризованої удосконаленої математичної моделі функціонування гідроприводу механізму завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза. Розроблена модель дозволяє врахувати основні конструктивні та експлуатаційні параметри гідросистеми, зокрема характеристики гідроциліндрів, втрати тиску в гідролініях та вплив зовнішнього навантаження. Лінеаризація рівнянь руху дала змогу отримати аналітичні залежності, придатні для подальшого інженерного аналізу та оцінювання динамічних режимів роботи механізму. У результаті дослідження, зокрема, отримано наближену залежність тривалості перевертання контейнера з урахуванням зносу пар тертя в гідроциліндрі та шарнірних з'єднаннях.

В матеріалах статті [18] запропоновано удосконалену математичну модель нелінійного характеру роботи гідроприводу механізму завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза під час виконання перевертання контейнера, що дозволила врахувати знос пар тертя та чисельно провести дослідження динаміки даного приводу в процесі пуску та визначити, що врахування зносу пар тертя в значній мірі впливає на ключові параметри гідравлічного приводу перевертання контейнера в процесі завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза. Встановлено, що тривалість перевертання контейнера в процесі завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза під час збільшення зносу гідравлічного циліндра зростає за степеневу закономірністю.

Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 265 [19], одним із пріоритетних напрямів державної політики у сфері управління твердими побутовими відходами визначено забезпечення впровадження сучасних, високоефективних і екологічно безпечних сміттєвозів, які відповідають європейським стандартам. Це передбачає модернізацію наявного рухомого складу, удосконалення конструкцій базових моделей, застосування енергоощадних гідроприводів та автоматизованих систем керування технологічними процесами.

У зв'язку з цим визначення регресійної залежності тривалості завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза від сили затискання контейнера, яка може бути використана під час розробки методики інженерних розрахунків параметрів механізму завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза, є актуальною науково-технічною задачею. Розв'язання цієї задачі дозволить підвищити продуктивність роботи комунальної техніки, знизити витрати пального, скоротити час виконання технологічних операцій та забезпечити екологічну безпеку під час експлуатації сміттєвозів.

Метою роботи є визначення регресійної залежності тривалості завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза від сили затискання контейнера, що може бути використана для розробки методики інженерних розрахунків параметрів механізму завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз.

### Результати дослідження

У таблиці 1 показані значення тривалості завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз для різної сили затискання контейнера масою 150 кг [20].

Регресія проводилась базуючись на лінеаризувальних перетвореннях, які роблять можливим зведення нелінійної залежності до лінійної. Обчислення коефіцієнтів рівнянь регресії виконувалось методом найменших квадратів [21] використовуючи розроблену комп'ютерну програму "RegAnaliz", захищену свідоцтвом про реєстрацію авторського права [22] і детально описану в роботах [23, 24].

Таблиця 1

Значення тривалості завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз для різної сили затискання контейнера [14]

Сила затискання контейнера, Н	600	1000	1800	1960	2100
Тривалість завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз, с	15,3	16	16,8	35,6	35,9

Програма "RegAnaliz" дозволяє виконувати регресійний аналіз парних залежностей та результатів однофакторних експериментів із вибором більш адекватного виду функції із 16 найпоширеніших видів використовуючи критерій максимального коефіцієнту кореляції зберігаючи результати у форматі Bitmap та MS Excel.

Отримані результати регресійного проведеного аналізу наведені у таблиці 2, в якій сірим кольором позначено комірки з видом регресії, що відповідає максимальну значенню коефіцієнта кореляції R.

Таким чином, за результатами регресійного аналізу базуючись на даних таблиці 1 остаточно прийнято таку адекватну регресійну закономірність

$$t_{зав} = 15,01 + 8,748 \cdot 10^{-24} F_{зат}^{7,351} \text{ [с]}, \quad (1)$$

де  $t_{зав}$  – тривалість завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз, с;  $F_{зат}$  – сили затискання контейнера, Н.

Таблиця 2

Результати проведеного регресійного аналізу залежності тривалості завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз від сили затискання контейнера

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,78044	9	$y = ax^b$	0,74444
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,81495	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,72700
3	$y = a + b / x$	0,66391	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,72700
4	$y = x / (a + bx)$	0,42862	12	$y = a / (b + x)$	0,81495
5	$y = ab^x$	0,79580	13	$y = ax / (b + x)$	0,70697
6	$y = ae^{bx}$	0,79580	14	$y = ae^{b/x}$	0,68293
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,79580	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,68293
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,68293	16	$y = a + bx^n$	0,90778

На рис. 1 показані теоретичну та фактичну графічні залежності тривалості завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза від сили затискання контейнера.

Порівняння теоретичних та фактичних даних показало, що теоретична тривалість завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз залежно від сили затискання контейнера, розрахована за допомогою закономірності (1), несуттєво відрізняються від даних роботи [14], підтверджуючи визначену раніше точність запропонованої закономірності на рівні 0,90778.

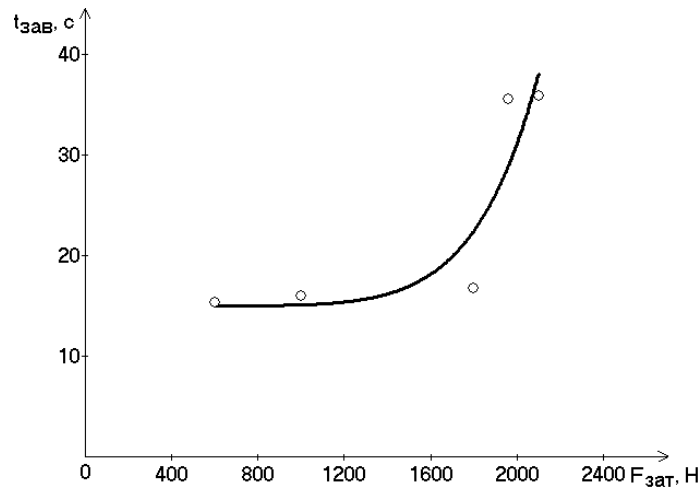


Рис. 1. Зміна концентрації забруднень робочої рідини від тривалості експлуатації об'ємних гідроприводів

З рис. 1 видно, що тривалість завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз при збільшенні сили затискання контейнера зростає за степеневу залежністю.

### Висновки

Визначено регресійну залежність тривалості завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза від сили затискання контейнера, яка може бути використана під час розробки методики інженерних розрахунків параметрів механізму завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза.

Побудовано графічну інтерпретацію залежності тривалості завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза від сили затискання контейнера, що дозволяє наглядно відобразити дану залежність, показавши збіжність отриманих теоретичних результатів з фактичними на рівні 0,90778.

Встановлено, що тривалість завантаження твердих побутових відходів у кузов сміттєвоза при збільшенні сили затискання контейнера зростає за степеневу закономірністю.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Л. Г. Козлов, І. В. Бойко, та О. В. Піонткевич, "Вплив параметрів системи керування на стійкість гідропривода інваріантного до знакозмінного навантаження", *Наукові нотатки*, № 40, с. 118-123. 2013.
- [2] О. В. Піонткевич, "Математична модель гідроприводу фронтального навантажувача з гальмівним клапаном", *Вісник машинобудування та транспорту*, № 2, с. 83-90. 2015.
- [3] Л. К. Поліщук, О. В. Піонткевич, та О. О. Коваль, "Аналіз впливу параметрів системи керування на динамічні процеси гідропривода стрічкового конвеєра", *Промислова гідроліка і пневматика*, № 2(52), с. 37-47. 2016.
- [4] О. В. Піонткевич, "Вплив параметрів системи керування гідроприводом мобільної робочої машини на динамічні характеристики", *Вісник машинобудування та транспорту*, № 2, с. 68-76. 2016.
- [5] Л. Г. Козлов, В. А. Ковальчук, О. В. Піонткевич та М. П. Коріненко, "Дослідження статичних і динамічних характеристик систем керування гідроапаратами на основі пропорційних електромагнітів", *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, № 3. 2014. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/download/416/414>
- [6] Т. А. Орлова, "Екологічна оцінка земельних ділянок, зайнятих об'єктами поводження з відходами", *Містобудування та територіальне планування: науково-технічний збірник*, вип. 25, с. 167-181. 2006.
- [7] Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. *Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2018 рік*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2018-rik/>.
- [8] Л. В. Назаров, С. І. Овсянніков, Л. В. Разарьонов та ін., "Теоретичні дослідження динаміки малогабаритного пневмоколісного фронтального навантажувача при автоколиваннях", *Вісник ХНАДУ: зб. наук. пр.* Харків: ХНАДУ, Вип. 38, с. 13-17. 2007.
- [9] О. В. Березюк, "Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 81-86. 2009.
- [10] О. В. Березюк, "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.* Павлоград: АРТ Синтез-Т, Т. 2, с. 75-83. 2014.
- [11] *Сміттєвоз кузовний КО-436: технічний опис та інструкція з експлуатації*. Турбів, Україна, 1996. 27 с.
- [12] О. В. Березюк, "Дослідження динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози", *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, № 33, с. 403-406. 2009.
- [13] О. В. Березюк, "Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу повороту важеля маніпулятора на операції завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3. с. 93-98.

2010.

[14] D. V. Chernik, and K. N. Chernik. "Mathematical model of a combined manipulator of a forest machine", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, No. 5(919), Art. no. 052037. 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/5/052037>

[15] A. Beisembayev, A. Yerbosynova, P. Pavlenko, and M. Baibatshayev, "Planning trajectories of a manipulation robot with a spherical coordinate system for removing oxide film in the production of commercial lead, zinc", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 124(2), Art. no. 80, 2023. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286463>

[16] R. V. Kargin, I. A. Yakovlev, and E. A. Shemshura, "Modeling of workflow in the grip-container-grip system of body garbage trucks", *Procedia Engineering*, No. 206, p. 1535-1539, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.727>

[17] O. V. Bereziuk, V. I. Savulyak, V. O. Kharzhevskiy, S. Cv. Ivanov, and V. Ye. Yavorskiy, "Analytical study of a hydraulic drive model for a municipal waste container overturning mechanism in a garbage truck considering the wear of friction pairs", *Problems of Tribology*. No. 30(3/117). p. 30-49. 2025. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2025-117-3-30-40>

[18] О. В. Березюк, та В. Є. Яворський, "Удосконалена математична модель роботи гідроприводу механізму завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз із урахуванням зносу пар тертя", *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, № 1, с. 154-164. 2025. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-154-164>

[19] Кабінет Міністрів України. (2004, берез. 4). *Постанова № 265, Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/265-2004-%D0%BF>.

[20] X. Meng, Q. Sun, M. Liu, та ін., "Design and experiment of automatic grasping manipulator for side-mounted garbage truck", *Scientific Reports*, No. 15, 11677. 2025.

[21] В. М. Михалевич, О. І. Шевчук, та Н. Л. Буга, "Математичні системи комп'ютерної алгебри як засіб підвищення ефективності і якості освітнього процесу з вищої математики", *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми: зб. наук. прац.*, Випуск 14. Київ-Вінниця: ДОВ «Вінниця», с. 357-360. 2007.

[22] О. В. Березюк, "Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz")", Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. Київ: Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації: 03.06.2013.

[23] O. V. Bereziuk, "Determination of the regression of the solid waste compaction factor on the height of the polygon on the base of the computer program "RegAnaliz"", *Automation of technologies and productions*, No. 2 (8), p. 43-45. 2015.

[24] О. В. Березюк, "Встановлення регресій параметрів захоронення відходів та потреби в ущільнювальних машинах на основі комп'ютерної програми "RegAnaliz"", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 40-45. 2014.

**Березюк Олег Володимирович** – д-р техн. наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, <https://orcid.org/0000-0002-2747-2978>, e-mail: [berezyukoleg@i.ua](mailto:berezyukoleg@i.ua)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Стаття надійшла до редакції 22.12.2025 р.

Прийнята до друку після рецензування 03.02.2026 р.

Опублікована 30.03.2026

**O. Bereziuk**

## **Duration dependence of loading municipal solid waste into a garbage truck on the container clamping force**

Vinnitsia National Technical University

*Increasing the accuracy of positioning the garbage truck manipulator is an important factor in ensuring the reliability and safety of the container loading process, while controlling its clamping force allows minimizing damage to the container, reducing dynamic loads on the structure, and increasing the durability of the hydraulic drive and cinematic units. Therefore, determining the regression dependence of the duration of loading municipal solid waste into a garbage truck on the container clamping force, which can be used when developing a methodology for engineering calculations of the parameters of the mechanism for loading municipal solid waste into a garbage truck, is an urgent technical and scientific problem. The purpose of the study is to construct, using regression analysis, the regression dependence of the duration of loading municipal solid waste into a garbage truck on the container clamping force, which can be used when developing a methodology for engineering calculations of the parameters of the mechanism for loading municipal solid waste into a garbage truck. During the study, the regression analysis method of the single-factor experiments results and other pairwise dependencies was used with the selection of the most adequate type of function from the sixteen most common options according to the criterion of the maximum value of the correlation coefficient. The regression was carried out on the basis of linearization transformations, which allow reducing the nonlinear dependence to a linear one. The regression equations coefficients were determined by the method of least squares using the developed computer program "RegAnaliz". The regression dependence of the duration of loading municipal solid waste into a garbage truck on the container clamping force was obtained, which can be used when developing a methodology for engineering calculations of the parameters of the mechanism for loading municipal solid waste into a garbage truck. A graphical dependence of the duration of loading municipal solid waste into a garbage truck on the container clamping force was constructed, which allows us to clearly illustrate this dependence and show sufficient convergence of the theoretical results with actual ones. It has been established that the duration of loading municipal solid waste into a garbage truck increases according to a power law relationship as the container clamping force increases.*

**Keywords:** loading, manipulator, garbage truck, municipal solid waste, regression analysis, regression dependence.

**Bereziuk Oleh** – Dr. Sc. (Eng.), Associated Professor, Professor of the Chair Security of Life and Pedagogic of Security, <https://orcid.org/0000-0002-2747-2978>, e-mail: [berezyukoleg@i.ua](mailto:berezyukoleg@i.ua)