



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення продуктивності функціонування сміттєвозів шляхом
покращення кузовної системи ущільнення твердих побутових
відходів у ТОВ «Екостайл» м. Кропивницький »

Виконав:

магістрант групи АТ-23М1 Богдан ГАРКУША
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

К.Т.Н. , доц. Дмитро ГОЛУБ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

К.Т.Н. , доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Гаркуші Богдану Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення продуктивності функціонування сміттєвозів шляхом покращення кузовної системи ущільнення твердих побутових відходів у ТОВ «Екостайл» м. Кропивницький»

керівник роботи Голуб Дмитро Вадимович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «07» 08 2024 року №45-13

2. Строк подання здобувачем роботи «12» грудня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи 1.Матеріали переддипломної практики. 2.Дудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. 3.Севостьянов І.В. Експлуатація та обслуговування машин. 4.Форнальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність

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

4.1 Розділ 1 Навести основні поняття напрямків збирання і транспортування твердих побутових відходів. Провести аналіз електронних систем контролю збирання і транспортування твердих побутових відходів. Обґрунтувати вибір мети, об'єкту, предмету досліджень та основних завдань.

4.2 Розділ 2 Дати аналіз системи ущільнення відходів в конструкціях сміттєвозів. Проаналізувати фізичний процес ущільнення відходів при поступально-обертальному русі плити. Розробити математичну модель процесу взаємодії штовхаючої плити сміттєвоза з ущільнювальним середовищем.

4.3 Розділ 3 Визначити параметри ущільнення твердих побутових відходів. Визначити ступінь ущільнення відходів різних структур. Провести оцінку адекватності математичного моделювання процесу ущільнення твердих побутових відходів.

4.4 Розділ 4 Навести алгоритм розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттєвозів. Проаналізувати техніко-економічну ефективність впровадження поступально-обертальної кузовної системи ущільнення сміттєвозів.

5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Мета, об'єкт, предмет досліджень та основні завдання. 2. Аналіз електронних систем контролю збирання і транспортування твердих побутових відходів. 3. Класифікація машин для збору і вивезення твердих побутових відходів. 4. Фізичний процес ущільнення відходів при поступально-обертальному русі плити. 5. Моделювання процесу взаємодії штовхаючої плити сміттєвоза з ущільнювальним середовищем. 6. Параметри ущільнення різних твердих побутових відходів. 7. Ступінь ущільнення відходів різних структур. 8. Результати проведених випробувань. 9. Оцінка адекватності математичного моделювання процесу ущільнення твердих побутових відходів. 10. Алгоритм розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттєвозів. 11. Техніко-економічна ефективність впровадження поступально-обертальної кузовної системи ущільнення сміттєвозів. 12. Висновки.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	РОЗДІЛ 1	14.10.2024	
2	РОЗДІЛ 2	04.11.2024	
3	РОЗДІЛ 3	18.11.2024	
4	РОЗДІЛ 4	02.12.2024	
5	Ілюстративний матеріал	10.12.2024	

Магістрант _____
(підпис)

Гаркуша БОГДАН _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Дмитро ГОЛУБ _____
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Гаркуша Б.В. Підвищення продуктивності функціонування сміттєвозів шляхом покращення кузовної системи ущільнення твердих побутових відходів у ТОВ "Екостайл" м. Кропивницький. Кваліфікаційна робота. - Центральноукраїнський національний технічний університет, 2024.

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню продуктивності роботи сміттєвозів, за рахунок розробки і обґрунтування їх кузовної системи ущільнення поступально-обертальної дії для твердих комунальних відходів.

Розроблено математичну модель процесу взаємодії штовхаючої плити сміттєвозу з ущільнюваним середовищем при поступально-обертальному ущільненні.

Визначено модулі деформації твердих комунальних відходів різних типів при поступальному і поступально-обертальному ущільненні.

Дано залежності міри ущільнення і осьового зусилля, що створюється гідроциліндром при поступальному і поступально-обертальному ущільненні.

Розроблено методику розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттєвозів.

Визначено економічну ефективність застосування поступально-обертальної системи ущільнення відходів в конструкції сміттєвозів.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 70 сторінок тексту, 57 рисунків, 11 таблиць.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ОБГРУНТУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ СМІТТЄВОЗАМИ	9
1.1 Основні поняття напрямків збирання і транспортування твердих побутових відходів	9
1.2 Аналіз електронних систем контролю збирання і транспортування твердих побутових відходів	11
1.3 Обґрунтування вибору мети, об'єкту, предмету досліджень та основних завдань	17
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ УЩІЛЬНЕННЯ ВІДХОДІВ ПОСТУПАЛЬНО- ОБЕРТАЛЬНОЇ ДІЇ ПРИ РОБОТІ СМІТТЄВОЗІВ	19
2.1 Аналіз системи ущільнення відходів в конструкціях сміттєвозів	19
2.2 Аналіз фізичного процесу ущільнення відходів при поступально-обертальному русі плити	31
2.3 Розробка математичної моделі процесу взаємодії штовхаючої плити сміттєвоза з ущільнювальним середовищем	35
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЗМІНУ СТУПЕНЯ ПОСТУПАЛЬНО-ОБЕРТАЛЬНОГО УЩІЛЬНЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ КУЗОВНОЇ СИСТЕМИ СМІТТЄВОЗІВ	43
3.1 Визначення параметрів ущільнення твердих побутових відходів	43
3.2 Визначення ступеня ущільнення відходів різних структур	49
3.3 Оцінка адекватності математичного моделювання процесу ущільнення твердих побутових відходів	59

РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОСТУПАЛЬНО-ОБЕРТАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УЩІЛЬНЕННЯ СМІТТЄВОЗІВ ПРИ ЗБИРАННІ І ТРАНСПОРТУВАННІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ	61
4.1 Алгоритм розрахунку основних параметрів поступально- обертальної системи ущільнення в конструкції смітєвозів	61
4.2 Аналіз техніко-економічної ефективності впровадження поступально-обертальної кузовної системи ущільнення смітєвозів	64
ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

ВСТУП

Збір і вивезення твердих комунальних відходів у населених пунктах є важливою екологічною проблемою. На сьогодні в Україні серйозна увага приділяється питанням збору і вивезення твердих комунальних відходів (ТКВ). Внаслідок інтенсивного зростання об'єму відходів в місцях тимчасового зберігання держава поставила перед собою першочергове завдання своєчасного вивезення відходів з щільно населених територій.

Зниження об'ємів ТКВ, що знаходяться в місцях тимчасового зберігання, можливо завдяки підвищенню продуктивності сміттєвозів за рахунок підвищення міри ущільнення відходів. На сьогоднішній день обслуговуючі компанії не справляються з об'ємами ТКВ, що призводить до переповнювання контейнерів, які є джерелом неприємного запаху і створюють середовище для розмноження бактерій.

Вдосконалення систем для ущільнення ТКВ дозволяє: підвищити об'єм відходів, що транспортуються, зменшити кількість сміттєвозів, експлуатованих в містах, підвищити рівень екологічної безпеки, забезпечити економію паливно-мастильних матеріалів.

Підвищення продуктивності сміттєвозів за рахунок збільшення міри ущільнення відходів є ключем до успішного вирішення завдань, що стоять перед галуззю комунального господарства.

Із зростанням кількості ТКВ також ростуть і витрати на їх збір і транспортування. Зменшити ці витрати можна за рахунок підвищення об'єму відходів, що транспортується в сміттєвозі. Відходи є неоднорідними, і попадання в кузов відходів негабаритів або будівельних призводить до зниження заповнення сміттєвозів. За результатами аналізу систем ущільнення виявлений ряд проблем, які призводять до недостатнього завантаження сміттєвозів, а, отже, і до зниження продуктивності.

Актуальність роботи викликана проблемою зниження продуктивності сміттєвозів за рахунок зменшення міри ущільнення ТКВ.

Зниження ефективності пов'язане з неоднорідністю ТКВ і попаданням

у відходи таких будівельних матеріалів, як арматура, залізобетон, меблеві відходи і т. д. Внаслідок високої щільності будівельні відходи не здатні ущільнитися і у результаті, за наявності у відходах неділимих предметів, відбувається неповне заповнення кузова сміттєвозу, внаслідок чого міра ущільнення відходів в існуючих системах ущільнення знижується.

У зв'язку з цим основними завданнями роботи є наступні:

- розробити математичну модель процесу взаємодії штовхаючої плити сміттєвозу з ущільнюваним середовищем при поступально-обертальному ущільненні;
- визначити модулі деформації твердих комунальних відходів різних типів при поступальному і поступально-обертальному ущільненні;
- визначити залежності міри ущільнення і осьового зусилля, що створюється гідроциліндром при поступальному і поступально-обертальному ущільненні;
- розробити методику розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттєвозів;
- визначити економічну ефективність застосування поступально-обертальної системи ущільнення відходів в конструкції сміттєвозів.

РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ СМІТТЄВОЗАМИ

1.1 Основні поняття напрямків збирання і транспортування твердих побутових відходів.

На сьогоднішній день відходи, що утворилися в ході життєдіяльності людини, прийнято називати твердими побутовими відходами (ТПВ). В Україні і більшості зарубіжних країн найбільш поширеної є система збору і вивезення ТПВ, що накопичуються в спеціальних ємностях - контейнерах різної форми і місткості, а також паперових і поліетиленових мішках. Як правило, контейнери призначені для механізованого розвантаження в кузов сміттєвозу і встановлюються на незначному віддаленні від житлових будинків на спеціальних майданчиках (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 - Місце тимчасового зберігання ТПВ

Сміттєвози, що збирають ТПВ, об'їжджають контейнерні майданчики і перевантажують вміст контейнерів в кузов, в якому після його заповнення відходи транспортуються в місця знешкодження або утилізації.

Перевага системи незамінних контейнерів полягає у високому ступені її пристосованості до механізації навантажувальних робіт. Недоліками

системи є: необхідність періодичного миття незамінних контейнерів за допомогою спеціальної машини; обов'язкова наявність спеціального майданчика для контейнерів; необхідність додаткового змісту, особливо в зимовий час.

Смітєвози, що застосовуються в цій системі, дуже різноманітні як по вантажопідйомності шасі, так і по конструкції завантажувальних і ущільнюючих механізмів.

Досить добре використовується система збору ТПВ в контейнери різної місткості, які вивозяться спеціальними контейнерними смітєвозами. При цьому на машині можуть розташовуватися як один, так і декілька контейнерів. Контейнерні смітєвози мають механізм підйому контейнера на раму автомобільного шасі, а також механізм розвантаження контейнерів, як правило, самозвалювальний із заднім або бічним розвантаженням.

При роботі за цією технологією смітєвоз спочатку розвантажує на землю порожній контейнер, після чого на його місце встановлюється заповнений контейнер, який далі вивозиться.

Основним недоліком системи змінюваних контейнерів є неефективне використання вантажопідйомності базового автомобільного шасі із-за невеликої маси неущільнених відходів. Для усунення цього недоліку останнім часом контейнери великої місткості оснащуються ущільнюючими механізмами, які називаються «Рол-каток» (рис. 1.2), що збільшують кількість завантажуваних відходів в два - три рази.



Рисунок 1.2 - Вигляд рол-катка або валового ущільнювача

Таким чином, технологічні особливості систем збору і вивезення ТПВ значною мірою визначають конструкцію сміттевозів. Основною відмінною особливістю сміттевозів для збору і вивезення ТПВ є наявність спеціального механізму, що дозволяє перевантажувати сміття з накопичувальних місткостей в кузов або завантажувальний бункер. Кузови цих сміттевозів оснащуються ущільнюючими пристроями і механізмами розвантаження кузова.

Основними технологічними операціями, які здійснюють ці сміттевози, є збір ТПВ на території житлових мікрорайонів і їх транспортування на порівняно невеликій відстані (до 20 - 25 км).

Бункери сміттевозів виготовляють різної конструкції і встановлюють на автомобільні шасі різної вантажопідйомності. Вибір базового автомобіля визначається конкретними умовами роботи сміттевозу наприклад: плечами транспортування; розмірами внутрішньоквартальних проїздів; особливостями контейнерів, що використовуються.

У меншій мірі умови роботи впливають на вибір конструкції ущільнюючих і розвантажувальних пристроїв, оскільки принцип ущільнення в різних конструкціях сучасних сміттевозів залишається однаковим. В той же час конструкція завантажувального механізму практично повністю визначається формою і розмірами контейнерів або інших місткостей для збору відходів. На сьогоднішній день найбільше поширення отримали сміттевози із заднім і бічним завантаженням відходів. Принципова відмінність між ними полягає в тому, що в сміттевозах з бічним завантаженням відходів ущільнюючий механізм одночасно виконує функції ущільнюючого і виштовхуючого механізму при розвантаженні кузова, тоді як в машинах із заднім завантаженням відходів необхідно мати два роздільні механізми.

1.2 Аналіз електронних систем контролю збирання і транспортування твердих побутових відходів.

При усій різноманітності машин для збору і транспортування ТПВ підвищення продуктивності сміттевозів все ще залишається відкритим

питанням. Методи підвищення продуктивності сміттєвозів можна розділити на 3 типи: конструктивні удосконалення; технологічні прийоми; організаційні заходи.

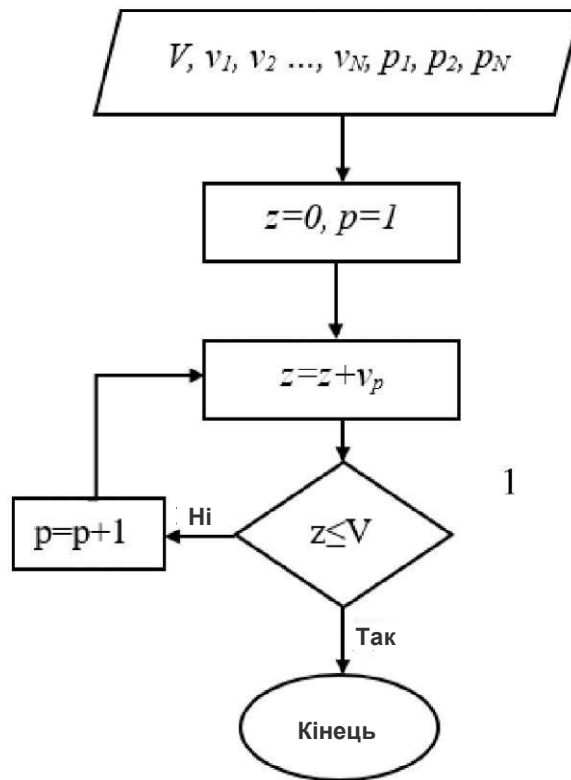
З появою інформаційних технологій аналізу дій з використанням системи GPS зросла потреба в наявності на сміттєвозах аналітичних комп'ютерних систем [2, 10].

Підвищення ефективності сміттєвозів відбувається за рахунок збору статистичних даних і планування маршруту сміттєвозу для збільшення відсотка наповнюваності кузова [10]. Сміттєвоз збирає відходи в певних пунктах збору, згідно з маршрутом руху. Після заповнення кузова сміттєвоз припиняє збір і їде по найкоротшому шляху у бік місця утилізації відходів. Порожній сміттєвоз повертається в робочу зону і розпочинає рух з наступного циклу відвідування нового контейнера [6]. Після кожного заповнення кузова сміттєвоз завжди повертається до місця утилізації. Таким чином, підвищення відсотка заповнення кузова дозволяє зменшити транспортні витрати, що підвищує продуктивність сміттєвозу.

У кожному циклі сміттєвоз відвідує якомога більше пунктів збору. Головне, щоб загальна маса відходів не перевищила вантажопідйомність шасі [2]. В той же час, оператор сміттєвозу прагне заповнити максимальний об'єм кузова [14].

Алгоритм збору і транспортування відходів показує структуру робочого циклу сміттєвозів (рис. 1.3).

Цей алгоритм демонструє, що спочатку потрібно введення даних, які ми отримуємо в ході завантаження відходів, а заповнюваність сміттєвозу дорівнює нулю. Коли відбувається заповнення кузова сміттєвозу, виконується умова 1, яка свідчить про завершення циклу збору, якщо об'єм контейнера перевищує об'єм вільного місця в кузові сміттєвозу. Кінець означає необхідність вивезення відходів до місця тимчасового зберігання або утилізації відходів [10].



V - максимальний об'єм кузова сміттєвозу; V_N - об'єм відходів в N контейнері; p_N - номер контейнера за чергою; z - фактичний об'єм заповнення кузова сміттєвозу

Рисунок 1.3 - Алгоритм збору відходів

Маршрутизація сміттєвозу дозволяє підвищити продуктивність і забезпечити своєчасний збір відходів, що особливо затребувано в густонаселених містах. Економія паливно-мастильних матеріалів і часу роботи оператора підвищують ефективність процесу збору і транспортування відходів [10]. Планування маршруту визначається, в першу чергу, виходячи з міського трафіку і швидкості пересування сміттєвозу. У більшості випадків збір відходів намагаються відкласти на нічний період часу, оскільки в нічний час менше дорожніх пробок і машин [10].

Використання системи стеження GPS дозволяє відстежувати маршрути і шукати коротші або швидші шляхи. Контроль маршруту виключає незаплановані пункти зупинки або злив палива, а також дозволяє уникнути незаконного звалища відходів [14, 15].

Контроль за роботою сміттєвозів відбувається таким чином (рис. 1.4).

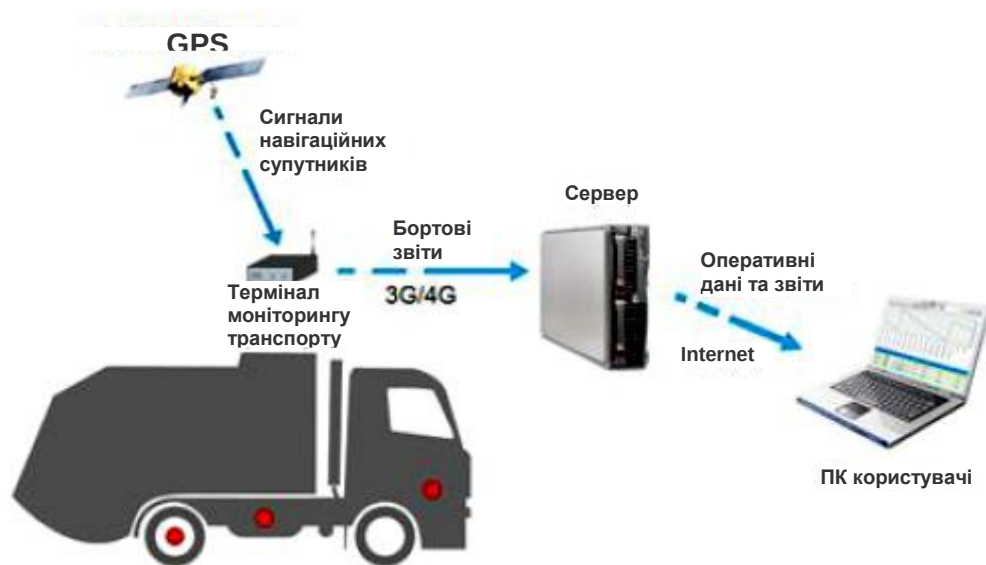


Рисунок 1.4 - Схема збору даних про роботу сміттєвозу

На сміттєвоз встановлюється блок збору даних (рис. 1.5), який відповідає за збір даних, що поступають від різних датчиків: палива; швидкості; заповнення кузова; ваги контейнера; кута нахилу контейнера; а також дані з відеокамер, встановлених в кабіні і зовні сміттєвозу [10, 12, 16].

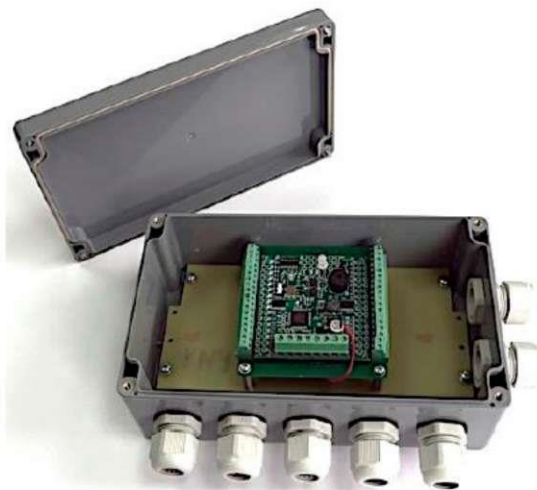


Рисунок 1.5 - Блок збору даних

Сучасні технології дозволяють підвищити точність виміру зібраних об'ємів відходів. Контейнери оснащують спеціалізованими чипами, які дозволяють визначати, якій компанії належить цей контейнер (рис. 1.6). Коли

смітєвoз робить завантаження контейнера, відбувається зчитування і збір даних про контейнер (номер, місце розташування, час попереднього спорожнення і т.д.), після чого отримані дані вирушають на головний сервер [17].



Рисунок 1.6 - Інформаційний чіп

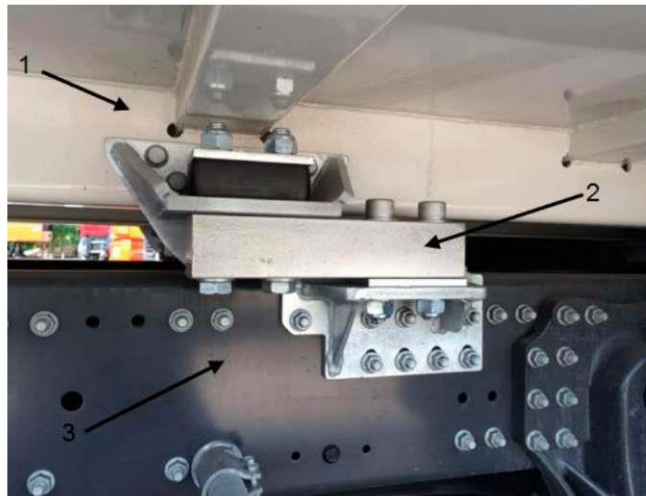
Останнім часом контейнери також оснащують датчиками стеження. У контейнер вбудовується лазерний або звуковий датчик, який визначає відсоток наповнення контейнера (рис. 1.7). Коли об'єм відходів стає достатнім, щоб перекрити сигнал від джерела випромінювання до приймача, на сервер подається сигнал про те, що контейнер пора розвантажити. Проблемою цієї системи є необхідність наявності постійного джерела енергії. Для живлення встановлені батареї, які можуть забезпечити систему датчиків енергією до 5 років [16].



Рисунок 1.7 - Установка датчиків в контейнері

Для збору інформації про вагу відходів застосовується визначення ваги смітєвoгo контейнера. Для цього використовують два види зважування:

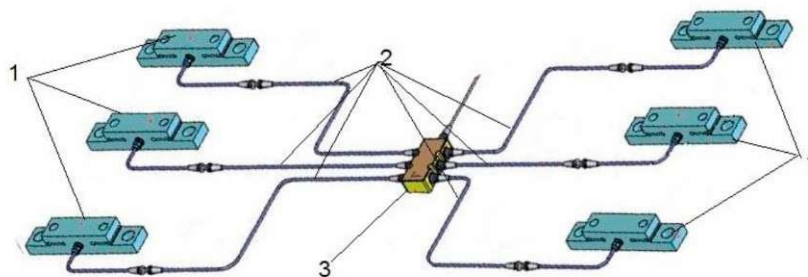
статичний та динамічний. Статичний метод простіший і менш точний. Для цього методу використовують датчик, встановлений в якості проміжної ланки між рамою машини і кузовом сміттєвозу (рис. 1.8).



1 - кузов сміттєвозу; 2 - датчик; 3 - рама машини

Рисунок 1.8 - Статична система зважування

Статична система призначена для визначення ваги кузова сміттєвозу після завантаження контейнера. Більшість систем статичного зважування складаються з комплекту датчиків (рис. 1.9).



1 - датчик; 2 - кабель; 3 - комутатор

Рисунок 1.9 - Система зважування на сміттєвозі

Система з декількох датчиків дозволяє розподілити загальну вагу конструкції і підвищити точність виміру.

Динамічна система зважування встановлюється в системі підйомно-перевертаючого пристрою (рис. 1.10). Зважування відбувається при розвантаженні кожного контейнера. Для більш точного зважування

сміттового контейнера необхідно забезпечити його зависання, щоб уникнути впливу інерційних навантажень. Зважування відбувається двічі, перший раз зчитування відбувається у момент відриву від землі для визначення загальної ваги контейнера з відходами. Другий раз зважування відбувається після перекидання контейнера з відходів в кузов. Для визначення ваги відходів, що потрапили в кузов сміттевозу, необхідно вичислити різницю між другим показником датчика і першим.



1 - датчик ваги; 2 - підйомно-перевертаючий пристрій; 3 - кріплення підйомно-перевертаючого пристрою

Рисунок 1.10 - Підйомно-перевертаючий механізм з системою динамічного зважування

Динамічна система має переваги в порівнянні із статичною за рахунок підвищеної точності. Окрім цього, датчики в статичній системі мають термін придатності, і кожен сезон потрібна їх тарировка або заміна.

1.3 Обґрунтування вибору мети, об'єкту, предмету досліджень та основних завдань.

Метою магістерської роботи є підвищення продуктивності роботи сміттевозів, за рахунок розробки і обґрунтування їх кузовної системи ущільнення поступально-обертальної дії для твердих побутових відходів.

Об'єктом дослідження є кузовна система ущільнення сміттєвозів поступально-обертальної дії.

Предметом дослідження є робочі процеси кузовної системи ущільнення сміттєвозів поступально-обертальної дії.

Актуальність теми роботи не викликає сумніву, оскільки існує проблема зниження продуктивності сміттєвозів за рахунок зменшення міри ущільнення твердих побутових відходів. Зниження ефективності пов'язане з неоднорідністю твердих побутових відходів і попаданням у відходи таких будівельних матеріалів, як арматура, залізобетон, меблеві відходи і т. д. Внаслідок високої щільності будівельні відходи не здатні ущільнитися і у результаті, за наявності у відходах неділимих предметів, відбувається неповне заповнення кузова сміттєвозу, внаслідок чого міра ущільнення відходів в існуючих системах ущільнення знижується.

В зв'язку з цим сформульовані *основні завдання* роботи, які полягають у наступному:

- розробити математичну модель процесу взаємодії штовхаючої плити сміттєвозу з ущільнюваним середовищем при поступально-обертальному ущільненні;
- визначити модулі деформації твердих побутових відходів різних типів при поступальному і поступально-обертальному ущільненні;
- визначити залежності міри ущільнення і осьового зусилля, що створюється гідроциліндром при поступальному і поступально-обертальному ущільненні;
- розробити методику розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттєвозів;
- визначити економічну ефективність застосування поступально-обертальної системи ущільнення відходів в конструкції сміттєвозів.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ УЩІЛЬНЕННЯ ВІДХОДІВ ПОСТУПАЛЬНО-ОБЕРТАЛЬНОЇ ДІЇ ПРИ РОБОТІ СМІТТЄВОЗІВ

2.1 Аналіз системи ущільнення відходів в конструкціях смітєвозів.

Початковою ланкою в ланцюзі утилізації відходів є збір відходів з контейнерів, які знаходяться біля житлових будівель. У більшості випадків для збору і транспортування відходів застосовують двох або тривісні вантажні машини зі встановленими на них спеціальними бункерами для відходів. Наявність великої різноманітності типів відходів, а також умов їх зберігання говорить про необхідність застосування для збору і транспортування відходів різноманітних смітєвозів, що дозволяють їх використати повною мірою. Класифікація машин для збору і транспортування ТПВ приведена на рис. 2.1.

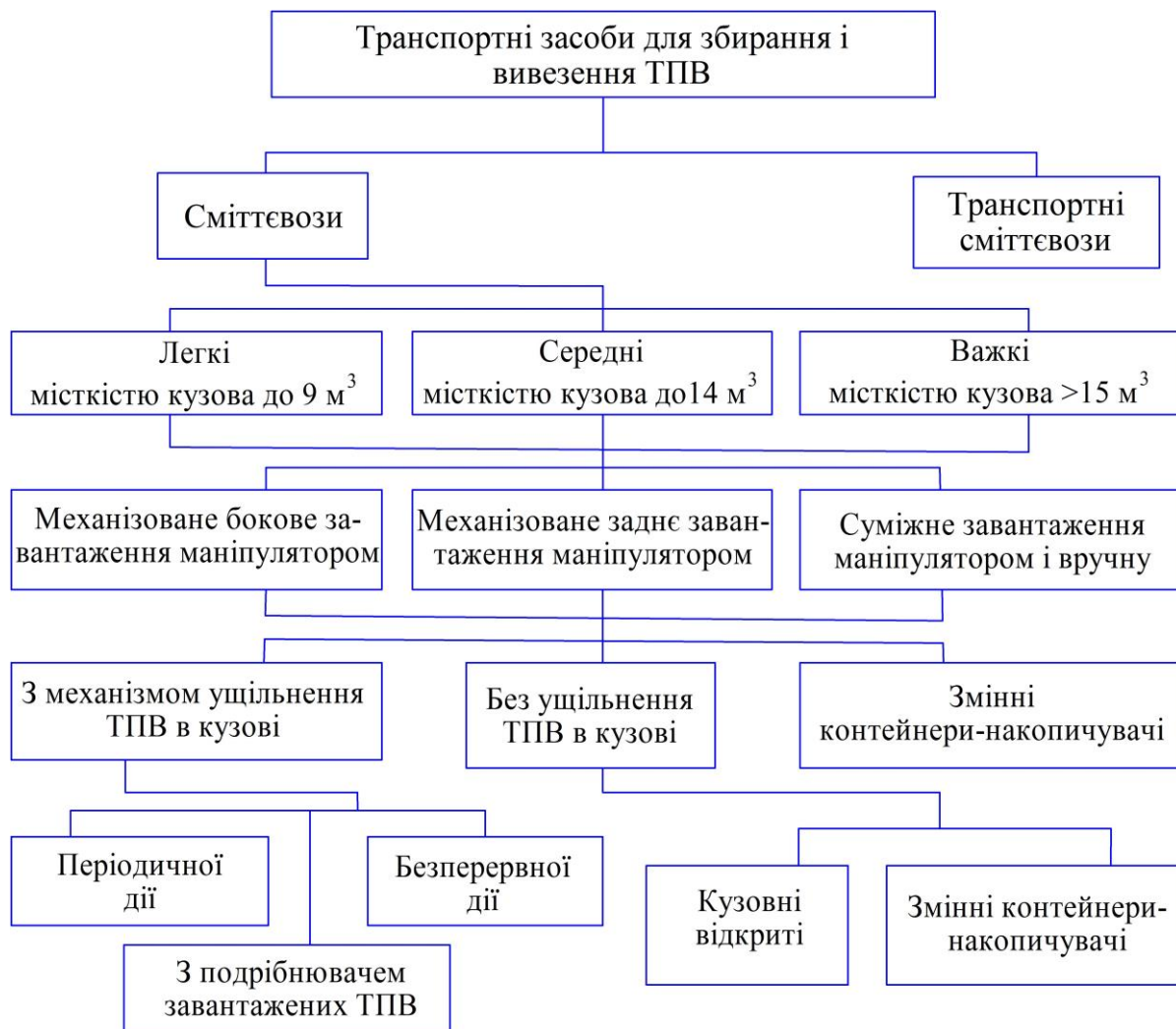
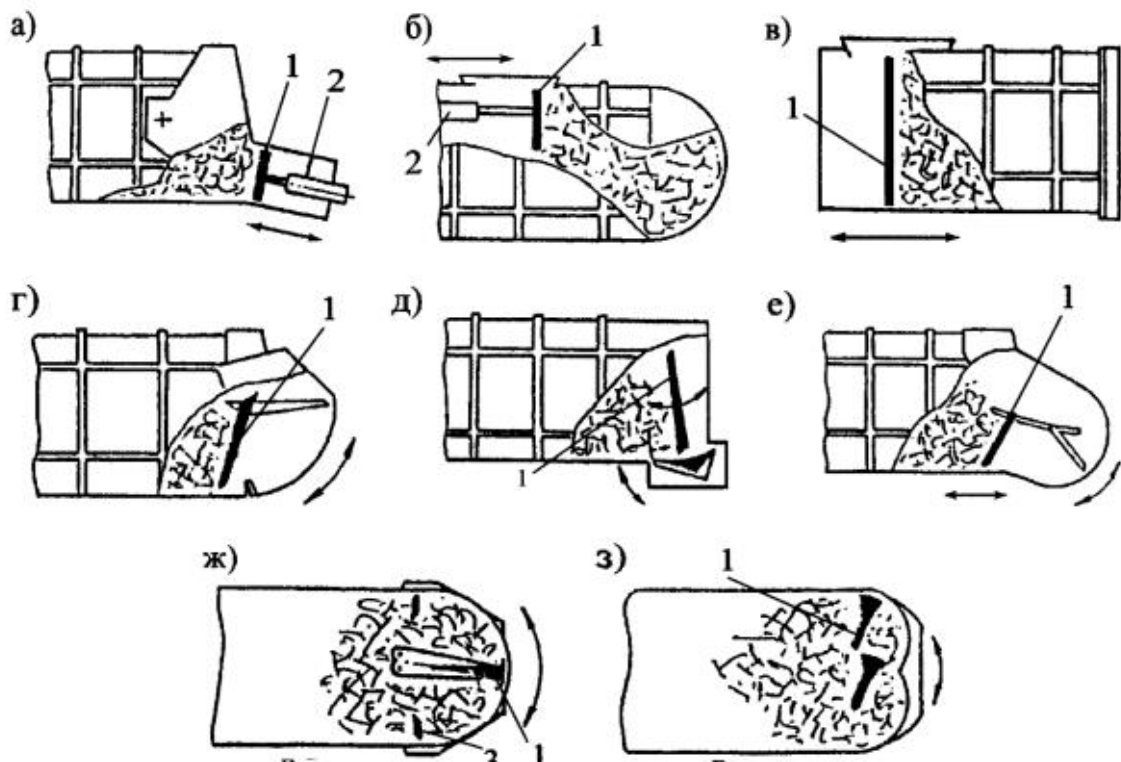


Рисунок 2.1 - Класифікація машин для збору і вивезення ТПВ

Машини для збору і транспортування ТПВ мають різні конструкції і вантажопідйомність. Машини такого типу класифікуються по: вантажопідйомності; принципу завантаження кузова; наявності або відсутності ущільнення відходів в кузові; характеру руху ущільнюючого пристрою та ін.

Найбільше поширення отримали кузовні сміттевози, в яких є механізм завантажувального ущільнювача і виштовхуюча плита. Остання виконує роль пресуючої стінки при завантаженні і ущільненні відходів. Пристрої завантажувальних ущільнювачів, працюючі за принципом прямої плити, що здійснює в завантажувальному бункері зворотно-поступальні переміщення (рис. 2.2, а), застосовують в легких сміттевозах вантажопідйомністю до 8 т.



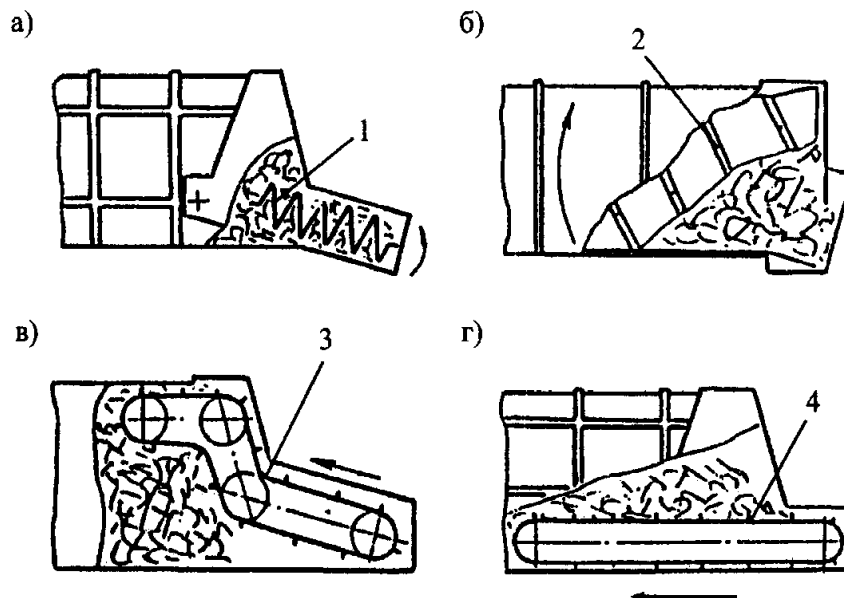
а - плита, що поступально рухається; б - зворотно-поступальна плита верхнього розташування; в - плита, що поєднує ущільнювальну і розвантажувальну функції; г - плита, що коливається; д - плита, що коливається, з передущільненням; е - плита, що поєднує плоскопаралельне переміщення; ж - обертальна плита з подрібнювачами відходів; з - дві плити, що обертаються;

1 - плита; 2 - гідроциліндр; 3 - подрібнювач відходів

Рисунок 2.2 - Схеми механізмів завантажувальних ущільнювачів циклічної дії

Завантажувальний бункер машин розташовується в задній частині кузова, а плита нахилена під невеликим кутом до горизонтальної поверхні [1]. Нахил забезпечує зменшення висоти вантаження і покращує заповнення кузова. Проте при відведенні плити в початкове положення спостерігається сповзання відходів з кузова в завантажувальний бункер. Це призводить до необхідності встановлювати спеціального відсікача, працюючого синхронно з ущільнюючою плитою. Обмеженість застосування пояснюється невисокою мірою ущільнення відходів в кузові. На схемі, показаній на рис. 2.2, б, ущільнююча плита, розташована у верхній частині кузова, забезпечує заповнення і ущільнення відходів витискуванням їх до циліндричної частини кузова. На схемі, показаній на рис. 2.2, в, плита розташовується практично по усьому поперечному перерізу кузова і виконує одночасно функції виштовхуючої плити. Висока міра використання вантажопідйомності базової машини досягається, а по-перше, за рахунок високої міри ущільнення відходів і повнішого заповнення кузова, в інших, за рахунок зниження маси спеціального устаткування [1, 4].

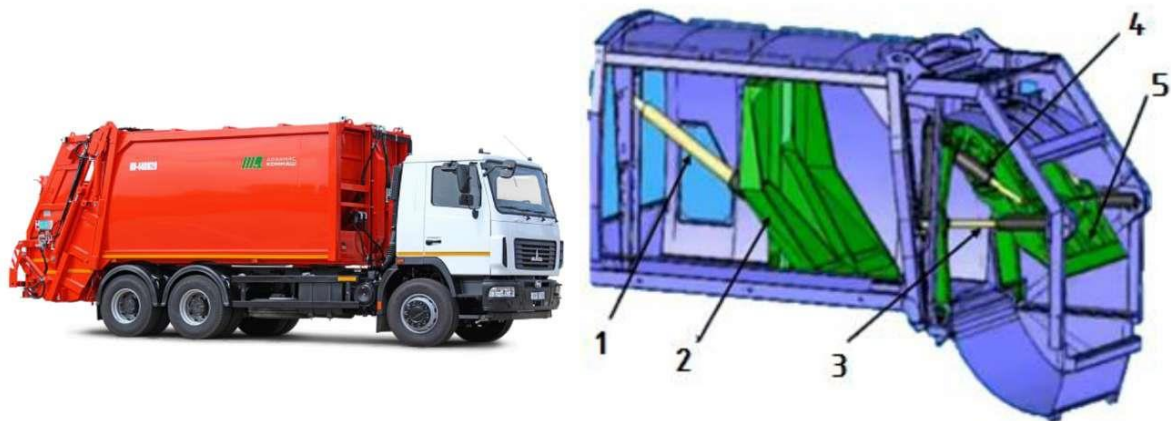
Сміттєвози з безперервною системою ущільнення (рис. 2.3) не отримали широкого поширення, оскільки мають складну конструкцію, що призводить до підвищення вартості машини.



а - шнековий ущільнювач; б - кузов-барабан із спіральними лопатями; в - похилий скребковий транспортер; г - рухома підлога; 1 - шнек; 2 - лопаті барабана; 3 - скребковий конвеєр; 4 - конвеєр

Рисунок 2.3 - Схеми механізмів завантажувальних ущільнювачів безперервної дії

Найбільшу популярність отримали сміттєвози із заднім завантаженням з системою ущільнення (рис. 2.4).



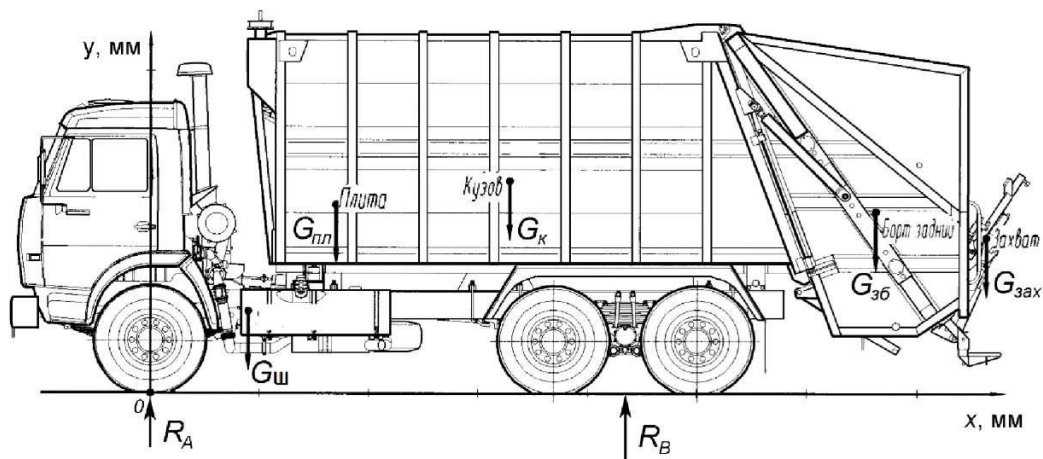
1 - телескопічний гідроциліндр; 2 - штовхаюча плита; 3 - гідроциліндр штовхаючої плити; 4 - гідроциліндр пристрою, що загібає; 5 - пристрій, що загібає

Рисунок 2.4 - Сміттєвоз із заднім завантаженням

Ця система дозволяє досягти міри ущільнення до 7, що забезпечує високу продуктивність, але такі сміттєвози мають складнішу і дорожчу конструкцію. Установка пристрою, що загібає, вимагає наявності додаткових гідродвигунів і складної системи управління процесом пресування відходів. Сміттєвоз із заднім завантаженням має задній борт, який винесений консольно відносно задньої осі машини, що тягне збільшення ваги, яка доводиться на задній візок шасі.

Це призводить до зменшення як вантажопідйомності сміттєвозу, так і до зменшення об'єму вміщуваних відходів (рис. 2.5).

Сміттєвози з ручним завантаженням (рис. 2.6) оснащені стаціонарним ковшом з об'ємом від 0.5 до 1 м³. Ківш перевертається в кузов за допомогою гідравлічного приводу. Сміттєвоз з ручним завантаженням має механізм ущільнення у вигляді штовхаючої плити, яка також виконує роль виштовхуючого механізму при розвантаженні і здатна підвищити щільність сміття в 3 - 4 рази. Ця конструкція малоефективна і призначена для збору сміття з невеликих територій, а із-за малої місткості кузова така конструкція має низьку продуктивність [5].



$G_{пл}$ - вага плити; $G_{куз}$ - вага кузова; $G_{від}$ - вага відходів; $G_{зб}$ - вага заднього борту; $G_{зах}$ - вага захоплення; $G_{ш}$ - вага шасі; R_A - навантаження на передню вісь автомобіля; R_B - навантаження на задній візок автомобіля

Рисунок 2.5 - Розрахункова схема при визначенні навантаження від повної маси сміттєвозу



Рисунок 2.6 - Сміттєвози з ручним завантаженням

Сміттєвоз з бічним завантаженням має майже повну механізацію, ручна праця застосовується тільки для постановки контейнера в зону захоплення (рис. 2.7). Основною особливістю сміттєвозу з бічним завантаженням є наявність маніпулятора з бічного боку кузова. Люк для завантаження сміттєвозу знаходиться у верхній кришці кузова, маніпулятор може захоплювати контейнери на відстані до 4 метрів від машини, що дозволяє автоматизувати процес завантаження. Наявність маніпулятора дозволяє забезпечити роботу сміттєвозу з одним оператором, на відміну від інших сміттєвозів, яким для роботи потрібно від двох до трьох чоловік [6].



Рисунок 2.7 - Сміттєвози з бічним завантаженням

Сміттєвози з бічним завантаженням мають меншу собівартість, але при цьому у них менше продуктивність в порівнянні із сміттєвозами із заднім завантаженням із-за меншої міри ущільнення відходів. Система ущільнення, в якій плита виконує функції ущільнюючого і виштовхуючого механізму, дозволяє зберегти корисний об'єм кузова і корисну вантажопідйомність машини.

Для підвищення щільності відходів в сміттєвозах з бічним завантаженням стали застосовувати пресуючі камери маятникового типу (рис. 2.8, а) і пресуючі камери з плитою зменшеного розміру (рис. 2.8, б), але наявність прес-камери зменшує корисний об'єм сміттєвозу і знижує вантажопідйомність машини [1].



Рисунок 2.8 - Сміттєвози з пресуючою маятнковою плитою

Показником ефективності ущільнюючої системи є величина максимальної міри ущільнення відходів $K_{уц}$. На підставі зібраних даних про різні моделі сміттєвозів видно, що сміттєвози із заднім завантаженням

мають більшу міру ущільнення, чим сміттєвози з бічним завантаженням (табл. 2.1 і 2.2). Це обумовлено особливістю конструкції, оскільки сміттєвози із заднім завантаженням ущільнюють відходи за допомогою пристрою, що загібає, а сміттєвози з бічним завантаженням застосовують для ущільнення штовхаючу плиту.

Таблиця 2.1 - Міра ущільнення відходів в сміттєвозах з бічним завантаженням

Тип ущільнюючого пристрою								
Маятникова плита			Плита зменшеного розміру			Плита поєднує ущільнювальну і розвантажувальні функції		
Марка і модель	Об'єм кузова м ³	$K_{ущ}$	Марка і модель	Об'єм кузова, м ³	$K_{ущ}$	Марка і модель	Об'єм кузова м ³	$K_{ущ}$
МК-4554-06	18,3	до 5	МК-4555-07	22	до 6	КО-440-4к2	11	до 4
МК-4554-04	14,6	до 5	МК-4555-06	18	до 6	До-440-5	18	до 4
МК-4554-05	18,3	до 5	МК-4555-05	17	до 6	До-440-6	22	до 4
МК-4554-07	21,7	до 5	МК-4555-04	14	до 6	До-440-8	22	до 4

Таблиця 2.2 - Міра ущільнення відходів в сміттєвозах з різним завантаженням

Марка і модель	Максимальна міра ущільнення $K_{ущ}$	Марка і модель	Максимальна міра ущільнення $K_{ущ}$
Сміттєвози із заднім завантаженням		Сміттєвози з бічним завантаженням	
КО-440K20	7	МКМ-11	4
№440N	4	КО-33МД	2,5
МКЗ-40	6	СБЗ-7,5	0,5
МКЗ-17101	6	До-449-10	2,5
Farid PN 10	5	МКМ-111	3
Kobit PRESKO 7	6	Farid FMO - 15K	3
LT - 5060ZYS	6	МКМ-35	3
HIDRO - МАК НМ16	6	МКМ-4605	3,5

Для визначення оптимального використання корисного об'єму кузова вводиться поняття міри ущільнення $K_{ущ}$ для кожного типу відходів [66]:

$$K_{уц} = \frac{V_n}{V_k}, \quad (2.1)$$

де V_n - початковий об'єм відходів, м³;

V_k - кінцевий об'єм відходів, м³.

Відомо, що зараз використовується поняття міри ущільнення, яка не враховує категорію відходів, їх масу і щільність, тому варіюється в діапазоні від 2 до 7 одиниць. Щільність відходів залежить від їх типу і може коливатися від 100 кг/м³ до 750 кг/м³, проте для роботи сміттезбиральної техніки набуває середнього значення величини - 250 кг/м³, також на неї впливає механізм ущільнення [6].

Сміттевози з системою «Rotopress» (рис. 2.9) складаються з бункера, що обертається, із спіралевидним контуром усередині циліндричного кузова. Ця система досить ефективна, оскільки в процесі обертання сміття відбувається його подрібнення і рівномірний розподіл по кузову, що дозволяє добитися максимальної міри ущільнення. Така система має міру ущільнення $K_{уц}$ в діапазоні від 6 до 9 [1].



1 - різальні кромки для подрібнення сміття; 2 - різальні шнеки кузова;
3 - кузов, що обертається, для збору сміття; 4 - ведений зубчастий вінець; 5 -
лабіринт ущільнювача

Рисунок 2.9 - Сміттевоз з системою ущільнення «Rotopress»

Сміттевози з системою «Rotopress» не отримали популярність, оскільки мають велику вартість і складність в обслуговуванні [6].

Застосування механізмів для ущільнення відходів знижує витрати на їх вивезення, зменшуючи їх об'єми у декілька разів. Механізми ущільнення в сміттєвозах найчастіше працюють від гідроприводу, а також мають різні форми і розміри. Головними функціями ущільнюючих пристроїв є переміщення ТПВ уздовж кузова і їх ущільнення до максимальної міри [1].

Конструкція системи ущільнення відходів сучасних сміттєвозів складається з: системи пресування і виштовхуючої плити. Ця система дозволяє забезпечувати однорідну щільність сміття завдяки використанню системи підпресовування. Ця система починає ущільнювати відходи при знаходженні плити в крайньому від кабіни положенні, відходи поступають в кузов і зрушують плиту, підвищуючи щільність відходів. Щільність залежатиме від регулювання клапана телескопічного гідроциліндра, який регулюється залежно від необхідної щільності відходів.

Конструкція сміттєвозу із заднім завантаженням неефективна для застосування поступально-обертальної системи ущільнення, оскільки диск, що обертається, встановлений на штовхаючу плиту, повинен безпосередньо взаємодіяти з об'ємом відходів, що знову поступив. У системі сміттєвозу із заднім завантаженням штовхаюча плита виконує роль збереження однорідної щільності за усім обсягом кузова і не взаємодіє з відходами, що знову поступають. Для реалізації завдань роботи доцільно використати конструкцію, де нові партії відходів безпосередньо взаємодіють з штовхаючою плитою. Для цього підходять конструкції сміттєвозів з бічним і фронтальним завантаженням.

Для дослідження сміттєвозу з поступально-обертальною системою ущільнення була вибрана конструкція сміттєвозу з бічним завантаженням. Конструкція сміттєвозів з бічним завантаженням дозволяє забезпечити автоматизацію процесу, оскільки для завантаження контейнера з відходами ця конструкція використовує маніпулятор, на відміну від сміттєвозу із заднім завантаженням, де потрібна постійна робота людини, яка повинна підвезти контейнер до задньої частини машини.

Штовхаюча плита поступально-обертальної дії розташована усередині кузова. Вона переміщається по направляючих, встановленим уздовж кузова. Рух штовхаючої плити виконується за допомогою телескопічного гідроциліндра (рис. 2.10).

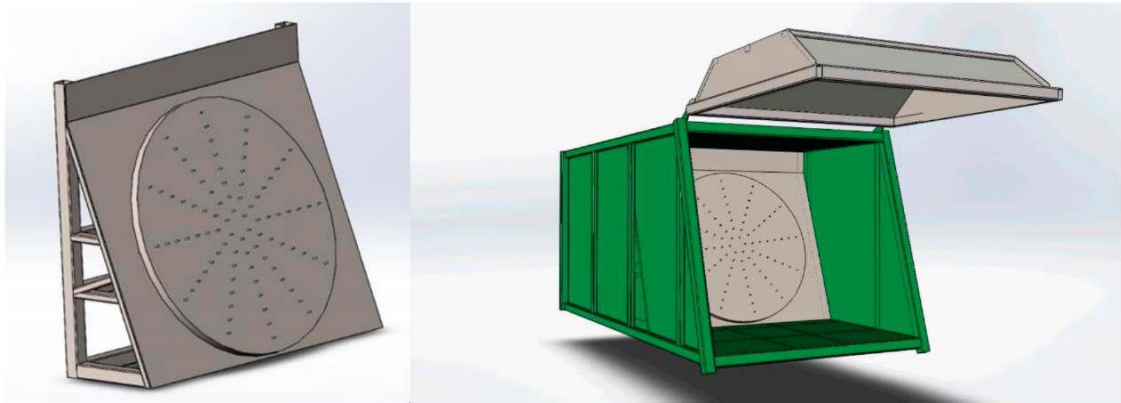


Рисунок 2.10 - Система ущільнення поступально-обертальної дії

Сміттєвоз з поступально-обертальною системою ущільнення виконаний на базовому шасі 1 зі встановленим на ньому порожнистим кузовом 2 прямокутного або круглого перерізу з приймальним люком 3, розташованим в передній частині згаданого кузова 2 за кабіною 4 (рис. 2.11). У кузові 2 передбачені задній затвор 5 у вигляді кришки, закріпленої через шарнір 6 у верхній частині кузова 2, а також гідроциліндри 7, які здійснюють підйом і опускання підйомно-перевертаючого механізму 8, встановленого на основу 9 кузовів 2 в його передній частині через шарнір 10.

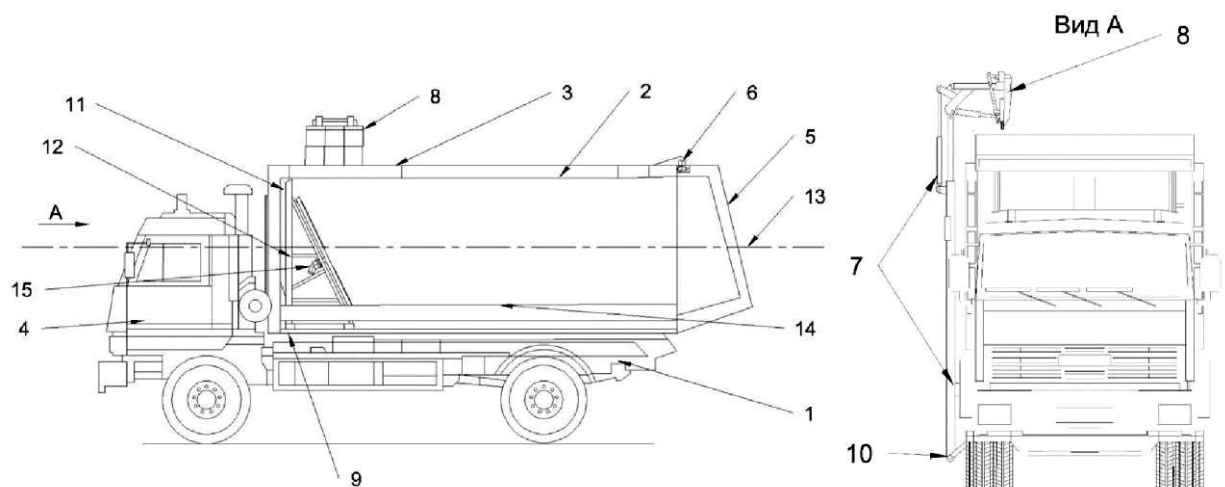


Рисунок 2.11 - Сміттєвоз з поступально-обертальною системою ущільнення

Всередині кузова 2 розміщена штовхаюча плита 11 з приводом у вигляді гідроциліндра 12 з можливістю переміщення згаданої плити 11 уздовж осі 13 кузовів 2 по тих, що направляють 14, які приварені до основи кузова 2.

Штовхаюча плита 11 складається з рами 15 і забезпечена диском, що обертається, 16 з ущільнюючою поверхнею 17, що перекриває переріз кузова. Диск 16 забезпечений приводом у вигляді гідромотора 18, при цьому згаданий диск 16 встановлений на валу гідромотора 18 з можливістю обертання в підшипникових опорах 19, а його ущільнююча поверхня 17 забезпечена зачепами 20, які закріплені на диску за допомогою різьбових з'єднань 21 (рис. 2.12) [1].

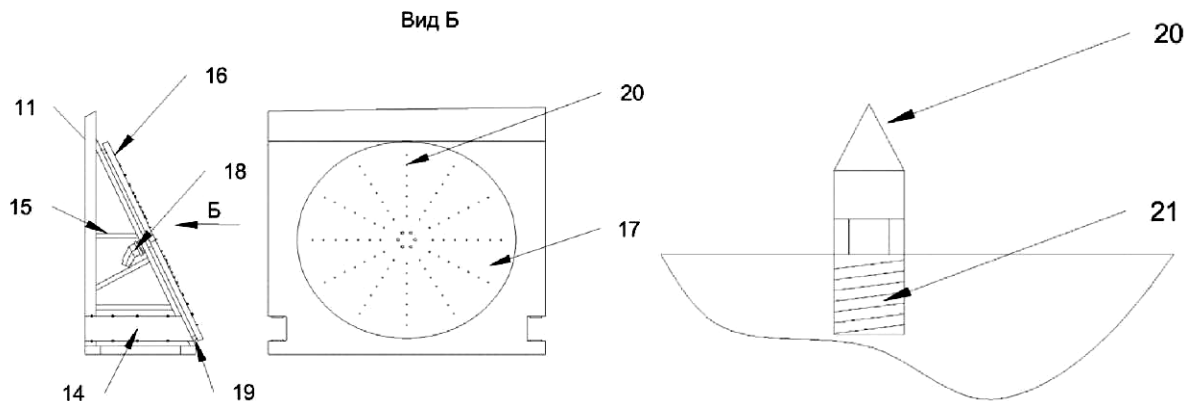


Рисунок 2.12 - Штовхаюча плита поступально-обертальною системою ущільнення

Сміттевоз з поступально-обертальною системою ущільнення працює таким чином.

Відходи із сміттезбиральних контейнерів через приймальний люк 3, розташований в передній частині згаданого кузова 2 за кабіною 4, потрапляють в порожнистий кузов 2 прямокутний або круглий перерізи, встановлений на базовому шасі 1, за допомогою підйомно-перевертаючого механізму 8, встановленого на основу 9 кузовів 2 в його передній частині через шарнір 10, і накопичуються до завершення циклу завантаження відходів. Після закінчення циклу завантаження підйомно-перевертаючий

механізм 8 переводиться в транспортне положення, і починається цикл ущільнення відходів всередині кузова 2. Штовхаюча плита 11 наводиться в рух від гідроциліндра 12 (рис. 2.11). Штовхаюча плита 11 рухається уздовж осі 13 кузовів 2 по тих, що направляють 14 до моменту підвищення тиску в гідросистемі. З моменту перевищення тиску в гідроциліндрі 12 включається гідромотор 18, який починає обертати диск 16, закріплений на валу гідромотора 18 в опорних підшипниках 19. Зачепа 20, закріплені різьбовим з'єднанням 21 на ущільнюючій поверхні 17, починають ворухити відходи, приводячи до більше впорядкованого заповнення їх в кузові. При падінні тиску в гідросистемі, викликаному роботою гідромотора 18 і обертанням диска 16, гідроциліндр 12 знову підключається і проштовхує штовхаючу плиту 11 далі уздовж осі кузова 13. При повторному досягненні максимального тиску в гідроциліндрі 12 останній здійснює зворотний хід, а штовхаюча плита 11 повертається в початкове положення до передньої частини кузова 2 і залишається там до повторного вступу відходів після чого цикл ущільнення повторюється. У разі заповнення кузова 2 відходами, машина їде на сміттєпереробний завод, де вивантаження здійснюється відкриттям заднього затвора 5 у вигляді кришки, закріпленої через шарнір 6 у верхній частині кузова 2. Після відкриття заднього затвора 5 штовхаюча плита 11 за допомогою гідроциліндра 12 починає виштовхувати відходи у бік відкритого заднього затвора 5, і відбувається розвантаження кузова 2. Після розвантаження задній затвор 5 кузовів 2 закривається, і сміттєвоз спрямовується для подальшого збору відходів.

Використання в конструкції системи ущільнення диска, що обертається 16 із зачепами 20, кузова, що перекриває переріз 2, дозволяє забезпечувати сумарну ущільнюючу дію на відходи одночасно як від поступального, так і від обертального рухів. Таким чином, винахід дозволяє підвищити щільність відходів в кузові і збільшити міру заповнення кузова за рахунок додаткових дій з боку ущільнюючого елементу конструкції, що обертається.

2.2 Аналіз фізичного процесу ущільнення відходів при поступально-обертальному русі плити.

Перший або початковий етап - це формування попереднього шару. В даному випадку першим (рис. 2.13) етапом буде етап формування попереднього шару відходів без збільшення його щільності і без роботи ущільнюючого пристрою. Розглянемо фізичні явища, що протікають на початковому етапі. Відходи під дією сили гравітації потрапляють в кузов сміттєвозу через верхній завантажувальний люк (рис. 2.13). На першому етапі повинне статися завантаження усіх контейнерів, розташованих в одній точці збору.

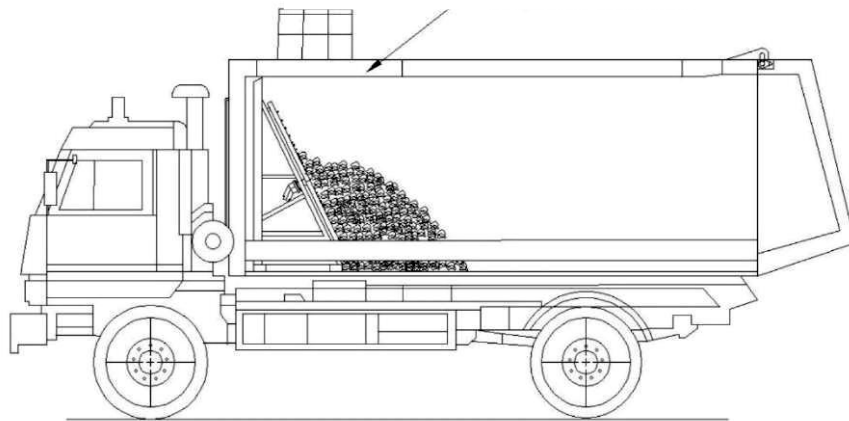


Рисунок 2.13 - Перший етап - формування попереднього шару

Після завантаження контейнерів починається другий етап зближення часток (рис. 2.14), в якому штовхаюча плита рухається уздовж кузова і обертає диск. При цьому відходи частково стискаються за рахунок штовхаючого зусилля плити і подолання сили опору, що виникає від сил тертя об'єму середовища, що переміщається, об стінки і днище кузова. Завдяки обертанню диска відбувається зменшення сил внутрішнього тертя часток.

Сили, що забезпечують просування відходів всередину кузова, повинні долати опір тертя як усередині об'єму середовища, так і по поверхні стінок і днища. Враховуючи, що об'ємна маса відходів незначна ($\rho_0 = 0,2 \text{ т/м}^3$), навантаження на другому етапі також незначні.

Тривалість етапу залежить від об'єму відходів, що завантажуються в кузов на першому етапі Q_0 , і від початкової відстані між штовхаючою плитою і задньою кришкою кузова l_0 , яке залежить від об'ємних характеристик кузова сміттєвозу.

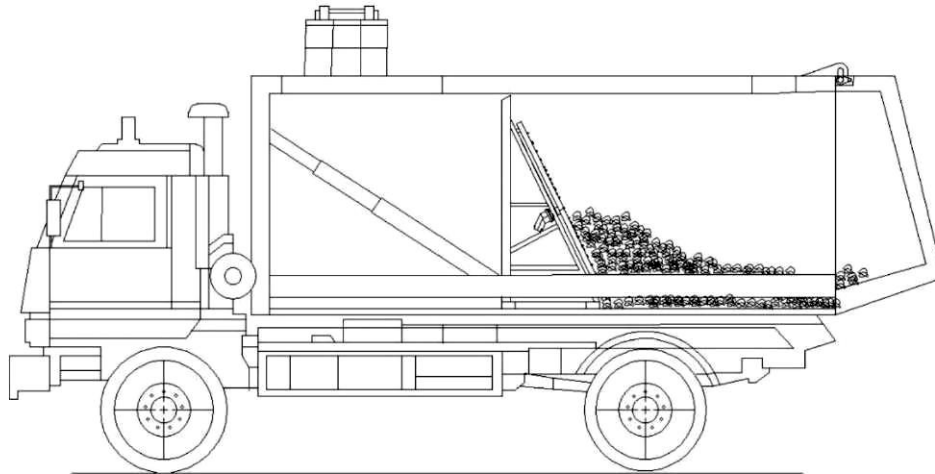


Рисунок 2.14 - Другий етап - зближення часток

Третій етап поступально-обертального ущільнення (рис. 2.15) є визначальний для усього процесу як за часом протікання, так і за характером дії сил. Третій етап починається при зближенні часток. Фізичну картину його протікання можна представити таким чином. Відходи, що просуваються, починають випробовувати опір від ущільнення, в ході якого виникає сила F_σ . При цьому відбувається інтенсивне зближення часток, що долають сили внутрішнього і зовнішнього тертя, і незначний опір, що викликається фільтрацією повітря при його витісненні з проміжків між частками середовища. Ефект перемішування виникає від диска, що обертається, і дозволяє понизити опір при просуванні відходів уздовж кузова завдяки додаванню в процес ущільнення дотичної сили, яка забезпечує розрив і перемішування часток відходів. Стискання відбувається до тих пір, поки напруга, що зростає в шарі, що стискається, не досягне величини, відповідному граничному для цього середовища. При обертанні диска відбувається руйнування цілісності шару, що стискається, що призводить до зрушення деякого об'єму відходів у вільний простір кузова. При цьому плита

переміщається уздовж кузова на більшу відстань. В результаті цей увесь об'єм, що знаходиться в кузові, переходить в новий стан, що характеризується підвищенням щільності. Перехід в новий напружений стан, що протікає в часі, характеризується зміною фізико-механічних властивостей середовища.

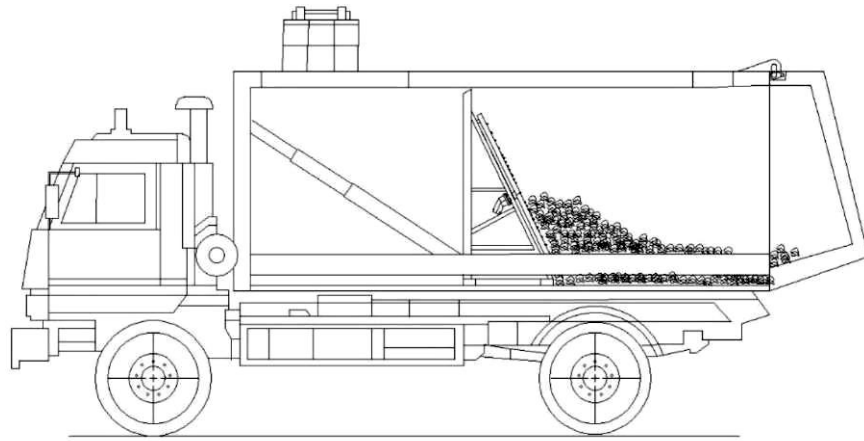


Рисунок 2.15 - Третій етап - поступально-обертальне ущільнення

Впродовж усього етапу поступально-обертального ущільнення діють: сили внутрішнього тертя, частини об'єму, що проявляються в результаті зрушення, у вільний простір кузова і дії об'ємних сил, що є результатом; сили стискування, що проявляються як опір середовища ущільненню і що носять характер поверхневих сил. Опір ущільненню, у свою чергу, проявляється як опір тертя, викликаного взаємним переміщенням часток, опір від пружності як окремих часток, так і усього утвореного ними скелета і опором фільтрації повітря, яке при відносно малих швидкостях дії на середовище можна не враховувати.

Четвертий етап - завантаження додаткового об'єму відходів (рис. 2.16) настає, коли ущільнюваний шар відходів досяг максимально можливої щільності при поступально-обертальному ущільненні. На цьому етапі відбувається повернення плити в передню частину кузова для завантаження додаткових об'ємів відходів. При знятті з об'єму відходів навантажень відбувається незначний розсип відходів. Відходи ущільнюються до максимального значення, і ущільнення переходить в процес брикетування, який здатний зберігати форму під дією внутрішніх сил зчеплення, внаслідок

чого ущільнювана форма зберігатиметься при оптимальній консистенції відходів. Вступ нового об'єму відходів і подальше його ущільнення відбуваються завдяки повторенню етапів з першого по третій.

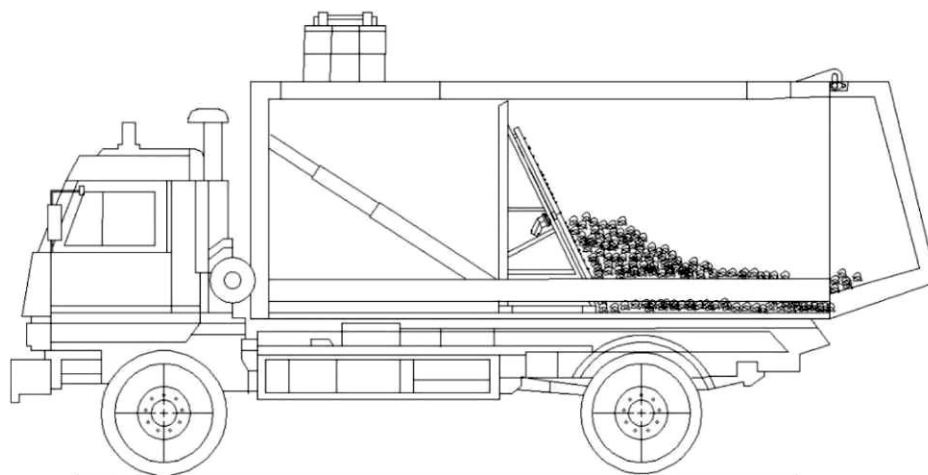


Рисунок 2.16 - Четвертий етап - завантаження додаткового об'єму відходів

Аналіз процесу заповнення кузова сміттєвозу дозволяє висунути гіпотезу, що пояснює закономірність взаємодії ТПВ з устаткуванням машин, і сформулювати основні допущення, що дають можливість спростити рішення задачі і зробити його можливим на сучасному етапі пізнання фізичної суті процесу.

Гіпотезу можна сформулювати таким чином: застосування системи ущільнення поступально-обертальної дії дозволить збільшити міру ущільнення ТПВ і продуктивність сміттєвозів.

Основні припущення наступні: робоче середовище представляється суцільною, пластичною структурою з параметрами, залежними від щільності і лінійного розміру системи; коефіцієнт внутрішнього і зовнішнього тертя не змінюється при подрібненні компонентом середовища.

Припущення про ідеалізацію середовища обумовлене відсутністю достовірних аналітичних моделей поведінки реального матеріалу під навантаженням. Припущення про суцільну і лінійну деформованість середовища дозволяє використати відомі моделі реологій, що описуються вирішуваними в кінцевому виді диференціальними рівняннями [18, 19].

2.3 Розробка математичної моделі процесу взаємодії штовхаючої плити сміттєвоза з ущільнювальним середовищем.

Якщо переміщення часток при поступально-обертальному ущільненні описується складанням осьової і дотичної сили, то абсолютний рух точки описуватиметься вектором, який виходить при складанні двох видів рухів.

Найбільш близькою математичною моделлю є модель траєкторії руху частки матеріалу по спіралі. Вісь обертання тіла в цьому випадку називається гвинтовою віссю. При поступальному ході тіло рухається уздовж осі і обертається навколо цієї осі. Гвинтовий рух не наводиться до якого-небудь іншого простого еквівалентного руху [19].

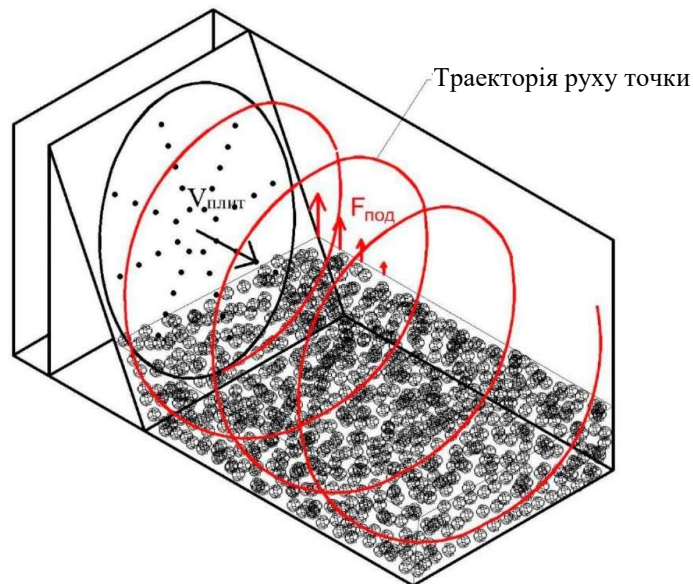
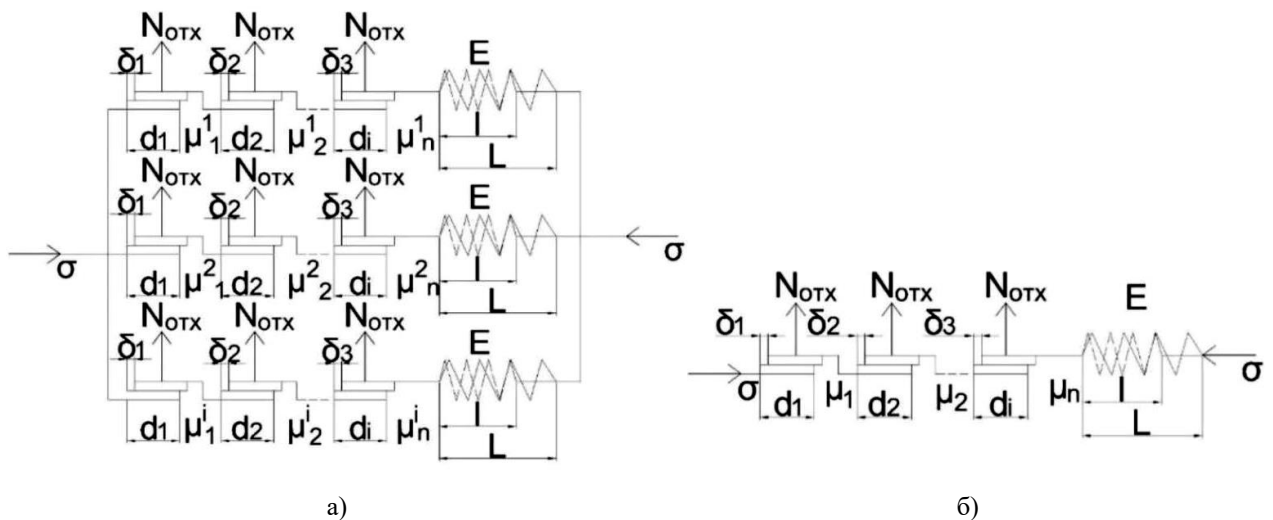


Рисунок 2.17 - Спіральна траєкторія руху

Уявимо, що штовхаюча плита починає впливати на середовище відходів з силою F , яка виникає від сили висунення гідроциліндра, при цьому реакція з боку часток створює напругу a , які залежать від властивостей реологій середовища [18].

Поведінка середовища при ущільненні відходів є досить складною картиною, що зводиться в загальному випадку до пружної, в'язкої і пластичної деформації. У більшості випадків середовище безповоротно

деформується під дією зовнішніх сил. Ці властивості середовища описуються пружно-пластичним середовищем моделлю реології послідовного з'єднання тіла Сен-Венана, яке імітує рух двох пластинок, один відносно одного, що долають сили тертя, і тіла Гуку, яке імітує роботу пружини [18]. Це спрощує процес моделювання, оскільки середовище складається з великої кількості трущихся і пружних елементів. Модель реології буде представляти собою послідовно сполучені і пов'язані тіла Сен-Венана з силою реакції опори $N_{отх}$ і тіло Гуку (рис. 2.18 - 2.19), що поступово збільшується [19].



а - однорідне середовище відходів; б - змішане середовище відходів;

$N_{отх}$ - сила реакції опори; H - відстань від початкової точки до кінцевої, м; d_i - початкова відстань до зміщення, м; L_i - довжина пружини до деформації, м;

l_i - довжина пружини після деформації, м; E - модуль пружності, кПа; μ -

коефіцієнт тертя

Рисунок 2.18 - Реологічна модель середовища відходів

При розгляді ущільнення однорідного середовища, при селективному зборі відходів, коефіцієнти тертя і модулі пружності будуть однаковими $\mu_1 = \mu_2 = \mu_i$, $E_1 = E_2 = E_i$. При розгляді змішаного складу середовища кожен коефіцієнт тертя і модуль пружності описуватиме властивості певного матеріалу, що знаходиться в об'ємі відходів.

Напруги в середовищі відходів при послідовному з'єднанні тіла Сен-Венана і тіла Гуку будуть однаковими.

$$\sigma = \sum \sigma_{сен} = \sum \sigma_{гук}, \quad (2.2)$$

де $\sigma_{сен}$ - напруга в тілі Сен-венана, Па;

$\sigma_{гук}$ - напруга в тілі Гуку, Па.

Деформації при послідовному з'єднанні тіла Сен-Венана і тіла Гуку складатимуться:

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_{сен} + \sum \varepsilon_{гук}, \quad (2.3)$$

де $\varepsilon_{сен}$ - деформація в тілі Сен-Венана;

$\varepsilon_{гук}$ - деформація в тілі Гуку.

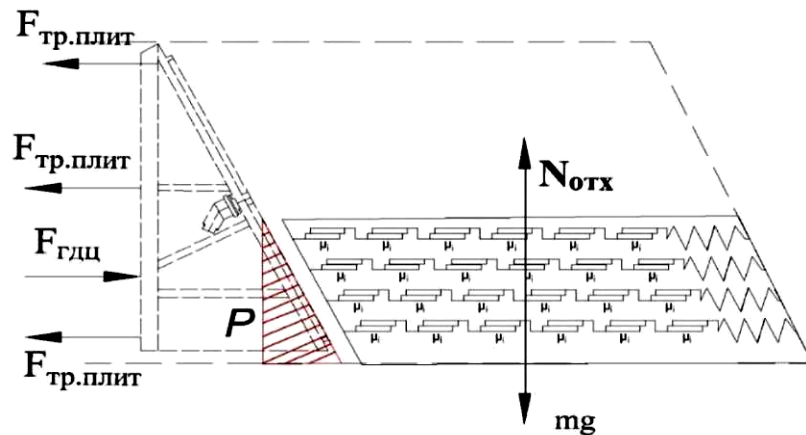
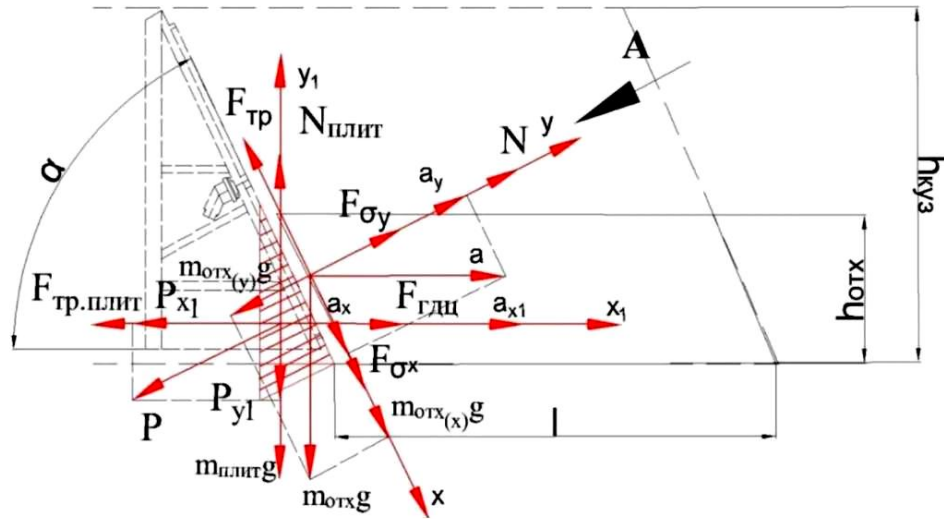


Рисунок 2.19 - Моделювання властивостей відходів в кузові сміттєвоза

Ущільнення відходів - це процес взаємодії штовхаючої плити з середовищем відходів, тому при створенні схеми дії сил необхідно описувати взаємодію усіх тіл окремо.

На рис. 2.20 показана схема сил, що діють на точку при ущільненні відходів. Сила F , створювана гідроциліндром, викликає виникнення напруги σ в середовищі відходів. Штовхаюча плита масою $m_{плит}$ давить на середовище відходів з силою, що виникає від висунення гідроциліндра $F_{гдц}$, P - сила реакції від середовища відходів. Внаслідок сили тяжіння плити виникає сила реакції $N_{плит}$ від основи кузова і виникає сила тертя плити об основу кузова $F_{тр.плит}$.



$F_{гдц}$ - зусилля гідроциліндру, Н; $F_{тр.плит}$ - сила тертя плити відносно основи кузова, Н; $N_{плит}$ - сила реакції плити відносно основи кузова, Н; α - кут нахилу штовхаючої плити, град; $m_{плит}$ - маса штовхаючої плити поступально-обертальної дії, кг; P - сила реакції плити, Н; F_{σ} - сила, що діє на середовище відходів, Н; $F_{тр}$ - сила тертя, що виникає при русі відходів по плиті, Н; N - сила реакції відходів, Н; $m_{відх}$ - маса відходів, кг; R - радіус диска, що обертається, м; $M_{ер}$ - крутний момент гідромотора, Нм; ω - кутова швидкість, град/сек; γ - кут повороту диска, град; n - нормальне прискорення, м/с²

Рисунок 2.20 - Схема розкладання сил, що діють на точку при ущільненні відходів в кузові сміттєвоза

Середовище відходів масою $m_{відх}$ давить на штовхаючу плиту з силою F_{σ} середовища відходів, що виникає при опорі деформації, відносно сили F_{σ} виникає сила реакції від поверхні штовхаючої плити, а також сила тертя відходів $F_{тр}$ відносно поверхні штовхаючої плити.

Рівнодійна сила, що чинить дію на середовище відходів при поступальному ущільненні, знаходитиметься по формулі (2.4):

$$F_{\sigma} = \sqrt{F_{\sigma x}^2 + F_{\sigma y}^2}. \quad (2.4)$$

Деформація відходів при поступальному ущільненні у момент часу t знаходиться по формулі (2.5):

$$\varepsilon(t) = \frac{F_{\sigma}(t)}{S \cdot E'}, \quad (2.5)$$

де S - площа поперечного перерізу середовища відходів;

E - модуль деформації середовища відходів.

Поступально-обертальне ущільнення необхідно розглянути з використанням додаткового виду - з боку диска, що обертається. При розгляді поступально-обертального ущільнення необхідно ввести параметри диска, що обертається. Диск вводиться в рух від гідромотора, який через вал передає крутний момент $M_{кр}$ [19].

Оскільки при додаванні диска, що обертається, виникають сили, що діють в третьому вимірі по осі Z , то для знаходження рівнодійної сили необхідно додатково спроектувати сили на вісь Z (2.6, 2.7) [19].

Проекція на вісь X :

$$m_{\text{відх}} \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{\sigma x} - m_{\text{відх}} \cdot g \cdot \sin \alpha - F_{mpx}. \quad (2.6)$$

Проекція на вісь Y :

$$m_{\text{відх}} \frac{d^2 y}{dt^2} = N + F_{\sigma y} - m_{\text{відх}} \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (2.7)$$

Проекція на вісь Z :

$$m_{\text{відх}} \frac{d^2 z}{dt^2} = F_{mpz} + F_{\sigma z} \quad (2.8)$$

За рахунок обертання диска виникає момент інерції:

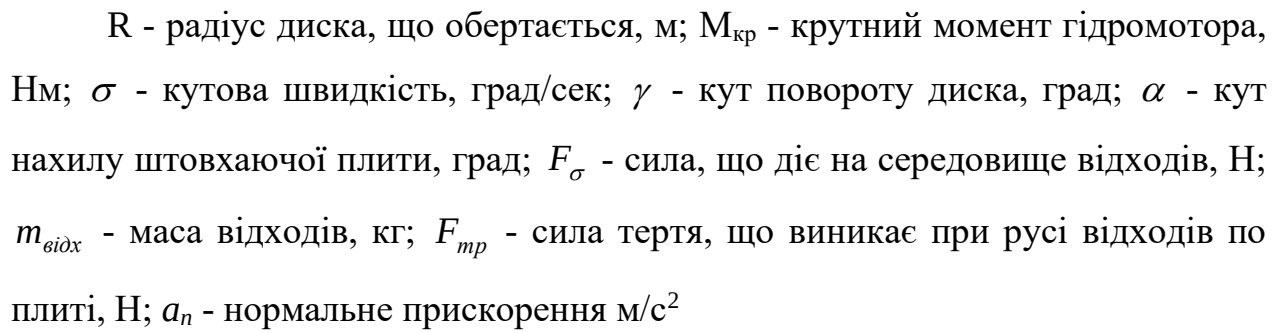
$$I = \frac{M}{e}, \quad (2.9)$$

де M - сумарний момент усіх сил, прикладених до диска, Нм;

e - кутове прискорення диска, що обертається, c^{-2} .

Рівнодійна сила, що чинить дію на середовище відходів при поступально-обертальному ущільненні, розраховуватиметься по формулі:

$$F_{\sigma} = \sqrt{F_{\sigma x}^2 + F_{\sigma y}^2 + F_{\sigma z}^2}. \quad (2.10)$$



Деформація відходів при поступально-обертальному ущільненні у момент часу t знаходиться по формулі:

$$\varepsilon(t) = \frac{F_\sigma(t)}{S \cdot E'}. \quad (2.11)$$

Оскільки ми розглядаємо ущільнення відходів при незмінних параметрах кузова, а ущільнення середовища походить тільки від дії штовхаючої плити, то відходи змінюють свої геометричні характеристики тільки в одному напрямі - по напрямку дії штовхаючої плити. Важливим параметром оцінки ефективності системи ущільнення є міра ущільнення K_{vui} .

При розрахунку міри ущільнення відходів їх первинний об'єм ділиться на об'єм (рис. 2.22-2.23), що вийшов після ущільнення, отже, деформація середовища ε в представленому випадку дорівнюватиме мірі ущільнення $K_{ви}$.

У результаті, ми отримуємо формулу:

$$K_{ущ} = \frac{F_{\sigma}}{S \cdot E} = \frac{F_{\sigma}}{h_{відх} \cdot b \cdot E'}, \quad (2.12)$$

де F_{σ} - рівнодійна сила при ущільненні середовища відходів, Н;

S - площа поперечного перерізу ущільнюваних відходів, м²;

E - модуль деформації, Па.

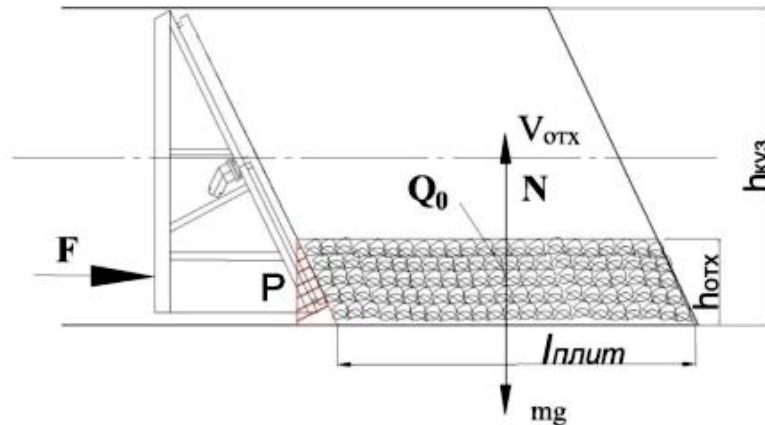


Рисунок 2.22 - Заповнення кузова сміттєвоза до ущільнення

Первинний об'єм відходів до ущільнення знаходиться по формулі:

$$Q_0 = h_{відх} \cdot b \cdot l_{плит}, \quad (2.13)$$

де $l_{плит}$ - хід штовхаючої плити, м;

b - ширина кузова, м;

$h_{відх}$ - висота відходів в кузові, м.

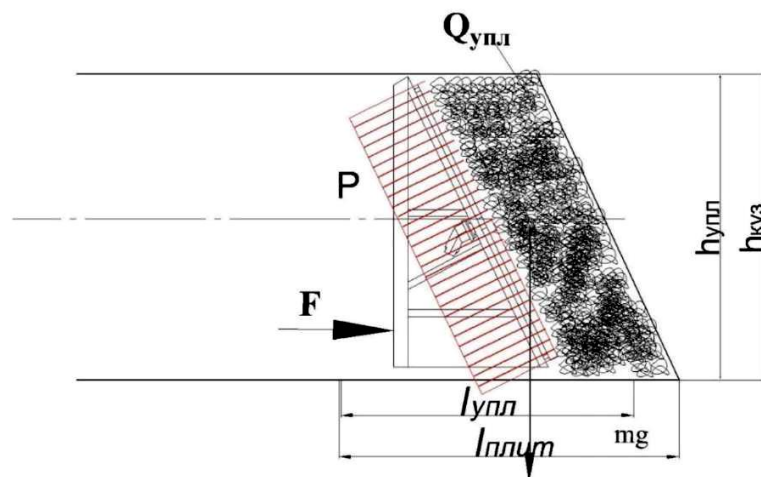


Рисунок 2.23 - Заповнення кузова сміттєвоза після ущільнення

Об'єм ущільнених відходів знаходиться по формулі:

$$Q_{уц} = h_{відх} \cdot b \cdot (l_{плит} - l_{уц}), \quad (2.14)$$

де $l_{плит}$ - просування плити після ущільнення, м;

$h_{відх}$ - висота ущільнених відходів в кузові, м;

b - ширина кузова, м.

Щільність ущільнених відходів знаходиться по формулі:

$$\rho_{уц} = \frac{m}{Q_{уц}}. \quad (2.15)$$

Оскільки при ущільненні відходів маса ущільнюваного середовища залишається постійною $m=const$, то ми можемо знайти міру ущільнення відходів $K_{уц}$:

$$K_{уц} = \frac{\rho_{уц}}{\rho_{відх}} = \frac{Q_{відх}}{Q_{уц}}. \quad (2.16)$$

В процесі поступально-обертального ущільнення виникає процес дроблення часток відходів. Дроблення відбувається за рахунок диска, що обертається, на якому встановлені зачепи. Завдяки голковидній формі зачепу виникає процес розколювання і тиск плити концентрується в точці зіткнення відходів і зачепу. В результаті відбувається підвищення тиску на відходи. Обертання диска додає дотичне зусилля, що забезпечує процес стирання.

Найбільший ефект подрібнення виникає при ущільненні скляних відходів.

Поступально-обертальне ущільнення пластикових відходів призводить до розриву замкнутого об'єму пластикової тари, що також підвищує щільність відходів.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЗМІНУ СТУПЕНЯ ПОСТУПАЛЬНО-ОБЕРТАЛЬНОГО УЩІЛЬНЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ КУЗОВНОЇ СИСТЕМИ СМІТТЄВОЗІВ

3.1 Визначення параметрів ущільнення твердих побутових відходів.

Було визначено, що найбільший вплив осьового зусилля на процес ущільнення виявляється при максимальному значенні крутного моменту гідромотора, тому було вирішено, що подальші дослідження проводитимуться при максимальному значенні крутного моменту гідромотора. Основна частина дослідження проводилася над відсортованими відходами (пластиковими, металевими, паперовими і скляними відходами) відповідно до того, як нині відбувається розділення при селективному зборі відходів. Проводилися також додаткові дослідження по ущільненню відходів змішаного складу, який складався з процентного співвідношення пластикових, металевих, паперових і скляних відходів.

В ході проведених випробувань було виявлено, що при поступально-обертальному ущільненні відбувається ефективніше підвищення щільності відходів в порівнянні з поступальною системою ущільнення. Дослідження процесу ущільнення відходів було розділене на види ущільнюваних матеріалів: пластикові; металеві; паперові і скляні відходи.

В процесі проведення експериментів визначалася залежність напруження σ кПа, що виникає в середовищі ущільнюваних відходів від поступального і поступально-обертального ущільнення на міру ущільнення відходів $K_{ущ}$. Проведення експерименту на стенді для визначення параметрів ущільнення відходів потрібне в цілях визначення модуля деформації, для цього необхідно продиференціювати рівняння апроксимуючої прямої побудованою по точках експериментальних даних.

Ущільнення пластикових відходів, здійснювалося з використанням пластикової тари різного об'єму. Ущільнення пластикової тари проводилося з кришками, що відкрутили, для забезпечення вільного витіснення повітря.

В ході обробки результатів порівняльних випробувань по поступальному ущільненню і поступально-обертальному ущільненню було виявлено зниження модуля деформації на 22,23 %. При додаванні дотичної складової пластиків відходи розподіляються за вільним обсягом більш рівномірно, що дозволяє осьовому зусиллю добитися максимальної міри ущільнення. При ущільненні пластика в процесі витіснення повітря спочатку відбуваються пластичні деформації, при зменшенні внутрішнього об'єму відбувається перехід на пружні деформації, тобто при видаленні ущільнюючого диска відбувається збільшення об'єму пластикових відходів.

На рис. 3.1 продемонстрований графік зміни міри ущільнення пластикових відходів від напруження в ущільнюваному середовищі.

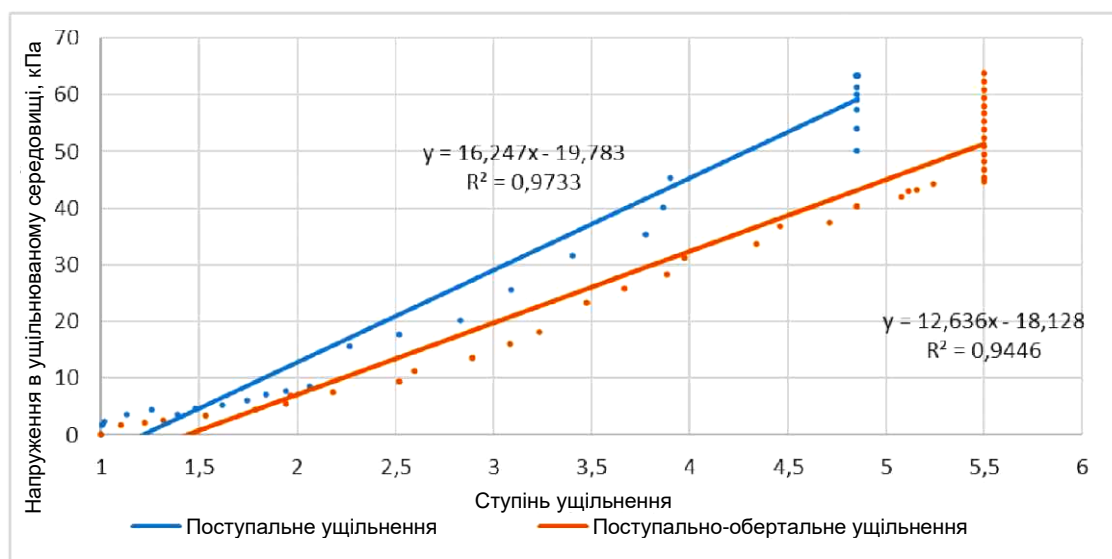


Рисунок 3.1 - Графік залежності міри ущільнення пластикових відходів від напруження в ущільнюваному середовищі

При поступальному ущільненні пластикових відходів отримана функція залежності напруження від міри ущільнення (3.1-3.2).

$$\sigma = 16,247 \cdot K_{уц} - 19,783; \quad (3.1)$$

$$\dot{\sigma}(K_{уц}) = 16,247 = E. \quad (3.2)$$

При поступально-обертальному ущільненні пластикових відходів отримана функція залежності напруження від міри ущільнення (3.3-3.4).

$$\sigma = 12,636 \cdot K_{yuc} - 18,128; \quad (3.3)$$

$$\dot{\sigma}(K_{yuc}) = 12,636 = E. \quad (3.4)$$

При експериментальному ущільненні металевих відходів використовувалися алюмінієві банки об'ємом 0,5 літра і залізні консервні банки. При порівнянні поступального і поступально-обертального ущільнення металевих відходів досягається зниження модуля деформації на 20,03 %.

На рис. 3.2 продемонстрований графік зміни міри ущільнення металевих відходів від напруження в ущільнюваному середовищі.

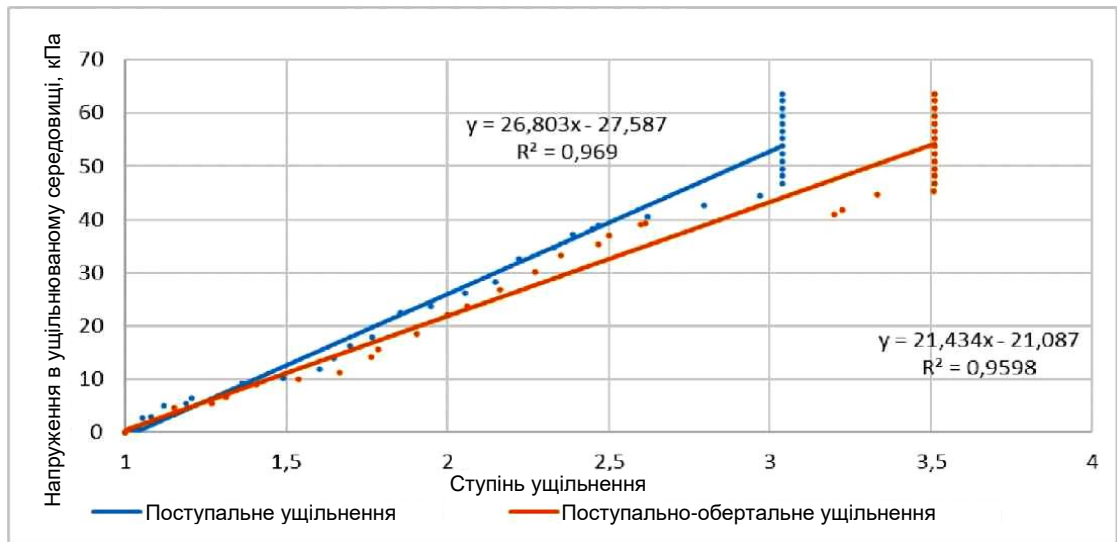


Рисунок 3.2 - Графік залежності міри ущільнення металевих відходів від напруження в ущільнюваному середовищі

При поступальному ущільненні металевих відходів отримана функція залежності напруження від міри ущільнення (3.5-3.6):

$$\sigma = 26,803 \cdot K_{yuc} - 27,587; \quad (3.5)$$

$$\dot{\sigma}(K_{yuc}) = 26,803 = E. \quad (3.6)$$

При поступально-обертальному ущільненні металевих відходів отримана функція залежності напруження від міри ущільнення (3.7-3.8):

$$\sigma = 21,434 \cdot K_{yuc} - 21,087; \quad (3.7)$$

$$\dot{\sigma}(K_{yuc}) = 21,434 = E. \quad (3.8)$$

Металевим відходам властиво властивість пластичної деформації, і при завершенні випробувань вони зберігають отриманий об'єм.

Ущільнення паперових відходів, здійснювалося з використанням упаковок від соку, молока, кондитерських виробів і так далі. При порівнянні поступального і поступально-обертального ущільнення відбувалося зниження модуля деформації на 22,39 %.

На рисунку 3.3 продемонстрований графік зміни коефіцієнта ущільнення паперових відходів від тиску диска.

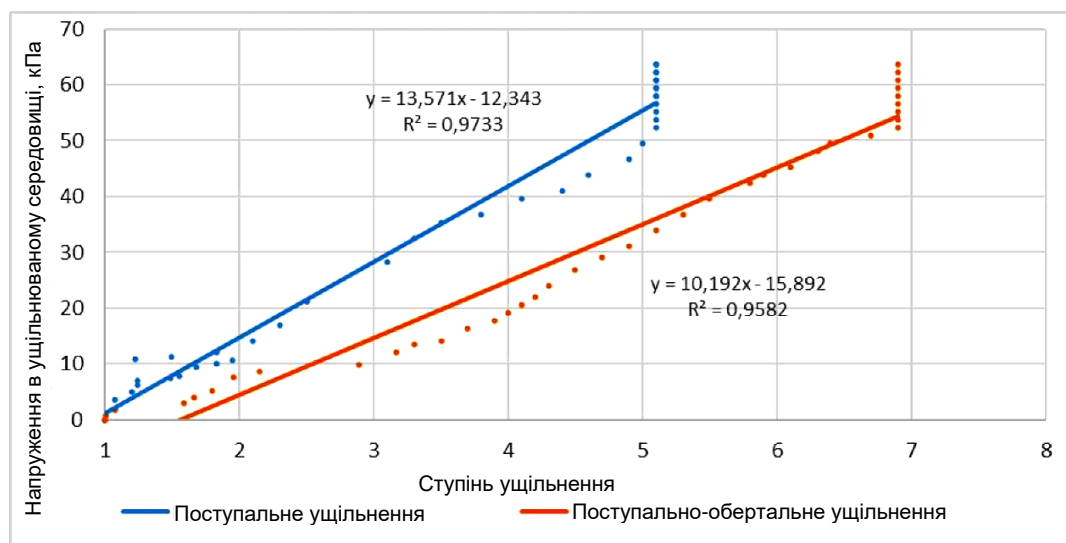


Рисунок 3.3 - Графік залежності міри ущільнення паперових відходів від напруження в ущільнюваному середовищі

При поступальному ущільненні паперових відходів отримана функція залежності напруження від міри ущільнення (3.9-3.10):

$$\sigma = 13,571 \cdot K_{уц} - 12,343; \quad (3.9)$$

$$\dot{\sigma}(K_{уц}) = 13,571 = E. \quad (3.10)$$

При поступально-обертальному ущільненні паперових відходів отримана функція залежності напруження від міри ущільнення (3.11-3.12).

$$\sigma = 10,192 \cdot K_{уц} - 15,892; \quad (3.11)$$

$$\dot{\sigma}(K_{уц}) = 10,192 = E. \quad (3.12)$$

Ущільнення скляних відходів здійснювалося з використанням скляної

тари (пляшок і банок). В ході обробки результатів експерименту було виявлено, що при осьовому зусиллі ущільнення не відбувається, тому що скляний матеріал не піддається пластичним і пружним деформаціям, і осьового зусилля недостатньо для руйнування скляного скелета.

При поступальному ущільненні відходів щільність підвищується лише на 5%, підвищення щільності пов'язане з більше рівномірним розподілом скляних відходів по баку. При поступально-обертальному ущільненні скляних відходів відбувалося значне збільшення їх щільності. Висока ефективність ущільнення досягалася завдяки дотичній силі, яка виникала від диска, що обертається. Обертання диска дозволило понизити модуль деформації на 96,86 %.

На рис. 3.4 продемонстрований графік залежності міри ущільнення скляних відходів від напруження в ущільнюваному середовищі.

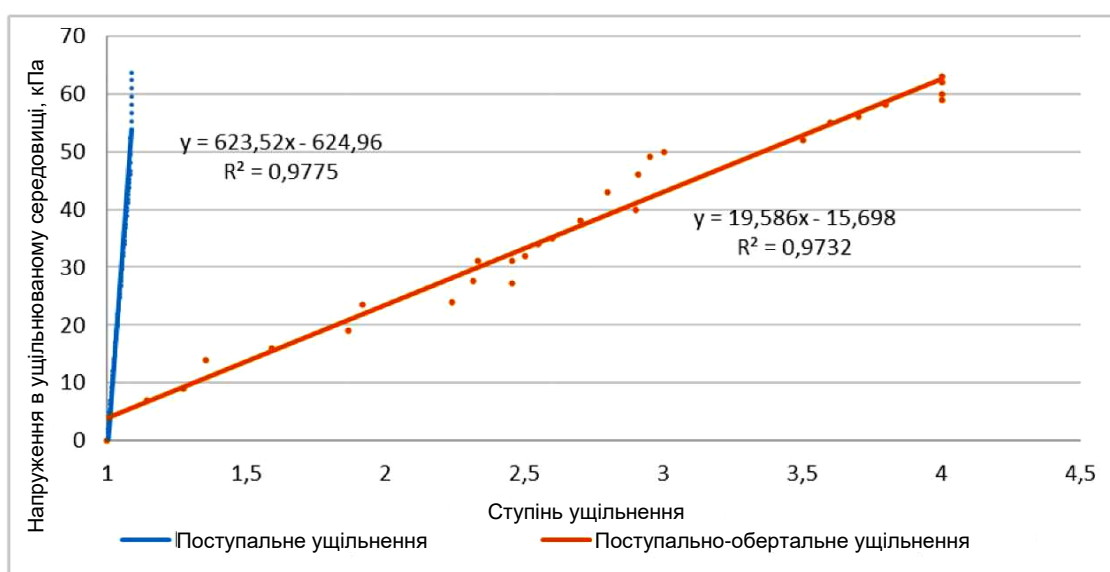


Рисунок 3.4 - Графік залежності міри ущільнення скляних відходів від напруження в ущільнюваному середовищі

При поступальному ущільненні скляних відходів отримана функція залежності напруження від міри ущільнення (3.13-3.14):

$$\sigma = 623,52 \cdot K_{уц} - 624,96; \quad (3.13)$$

$$\dot{\sigma}(K_{уц}) = 623,52 = E. \quad (3.14)$$

При поступально-обертальному ущільненні скляних відходів

отримана функція залежності напруження від міри ущільнення (3.15-3.16):

$$\sigma = 19,586 \cdot K_{уц} - 15,698; \quad (3.15)$$

$$\dot{\sigma}(K_{уц}) = 19,586 = E. \quad (3.16)$$

Проведені дослідження дозволили отримати максимальні коефіцієнти ущільнення відходів при поступальному ущільненні (табл. 3.1) і при поступально-обертальному ущільненні (табл. 3.2), а також отримати модулі деформації для відходів чотирьох типів при двох способах ущільнення. Додавання дотичної складовій в процес ущільнення показало підвищення міри ущільнення відходів і зниження модуля деформації, найбільший ефект спостерігався при ущільненні скляних відходів.

Таблиця 3.1 - Результати проведених випробувань при поступальному ущільненні ТПВ

Вид відходів	Займаний об'єм відходів спочатку, л	Займаний об'єм після поступального ущільнення, л	Міра ущільнення матеріалу при поступальному ущільненні	Модуль деформації
Пластик	24,02	4,95	4,85	16,247
Метал	26,85	8,83	3,04	26,803
Папір	22,00	4,31	5,1	13,132
Скло	19,78	18,15	1,09	623,52

Таблиця 3.2 - Результати проведених випробувань при поступально-обертальному ущільненні ТПВ

Вид відходів	Спочатку займаний об'єм відходів, л	Займаний об'єм після поступально-обертального ущільнення, л	Міра ущільнення матеріалу при поступальному ущільненні	Модуль деформації
Пластик	23,31	4,24	5,5	12,636
Метал	28,26	8,05	3,51	21,434
Папір	23,5	3,4	6,9	10,192
Скло	19,78	4,94	4,0	19,586

Таблиця 3.3 - Порівняння отриманих результатів при поступальному і поступально-обертальному ущільненні ТПВ

Вид відходів	Модуль деформації матеріалу при поступальному ущільненні	Модуль деформації матеріалу при поступально-обертальному ущільненні	Відсоток зниження модуля деформації поступального і поступально-обертального ущільнення
Пластик	16,247	12,636	22,23 %
Метал	26,803	21,434	20,03 %
Папір	13,132	10,192	22,39 %
Скло	623,52	19,586	96,86 %

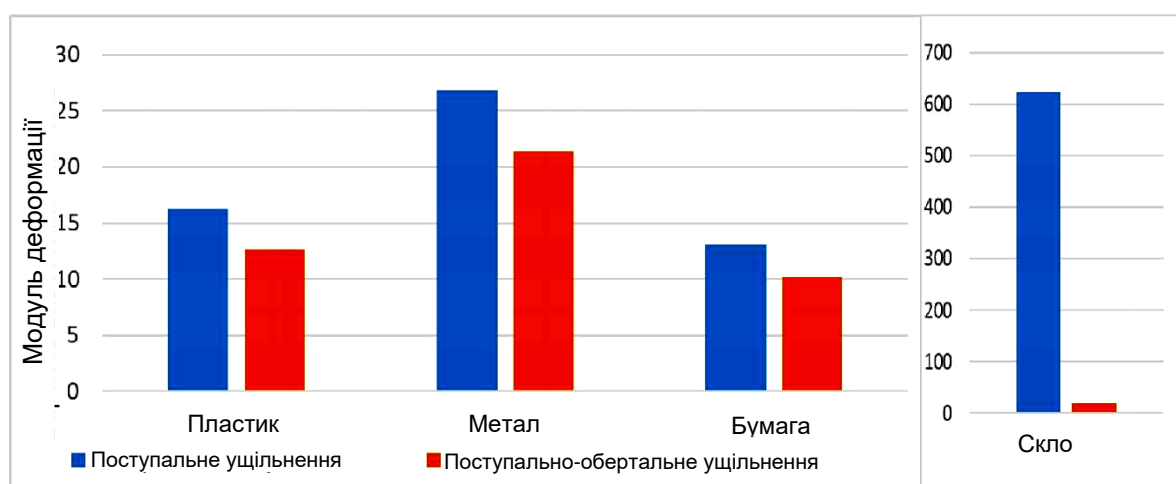


Рисунок 3.5 - Діаграма порівняння модулів деформації при поступальному і поступально-обертальному ущільненні в ході експериментів на стенді для визначення параметрів ущільнення ТПВ

3.2 Визначення ступеня ущільнення відходів різних структур.

Дослідження проводилися для визначення ефективності системи ущільнення кузова сміттєвозів поступально-обертальної дії і її порівняння з поступальним ущільненням над чотирма типами відходів, на які на сьогоднішній день повинне відбуватися розділення при селективному зборі [7, 11].

На сьогоднішній день сортування відходів відбувається лише на змішані відходи і вторинну сировину [11]. Тому на стенді для фізичного моделювання проводилися додаткові дослідження по ущільненню відходів

змішаного складу, які включали відсоткове співвідношення пластикових, металевих, паперових і скляних відходів.

Оскільки структура відходів в кузові сміттєвозу має непередбачуваний характер, то при моделюванні ущільнення змішаного складу відходів відсоткове співвідношення відходів один до одного визначалося випадковим характером. В ході проведених випробувань було з'ясовано, що поступально-обертальне ущільнення здійснює значне подрібнення відходів, а наявність зачепів на поверхні диска дозволяє впровадитися в досліджуваний матеріал і дробити його. Випробування проводилися для виявлення залежності міри ущільнення від осьового зусилля гідроциліндра. В ході досліджень було визначено, що найбільший вплив на міру ущільнення робить осьове зусилля. При мінімальному крутному моменті обертального диска, ефект підвищення міри ущільнення мінімальний, тому при проведенні експерименту визначатиметься залежність міри ущільнення від осьового зусилля гідроциліндра при максимальному крутному моменті обертального диска.

Кузов стенду для фізичного моделювання заповнювався по другу горизонтальну лінію, по рівню якої об'єм відходів складав 0,09 м³ або 90 л (рис.3.6).



Рисунок 3.6 - Ущільнення відходів на стенді для фізичного моделювання ущільнення ТПВ

Міра ущільнення відходів розраховувалася по формулі (3.17):

$$K_{ущ} = h_{відх} \cdot (1 - l_{плит}) \cdot b_{куз}, \quad (3.17)$$

де: $h_{відх}$ - висота відходів в кузові стенду для фізичного моделювання, м;

$l_{плит}$ - дальність просування штовхаючої плити уздовж кузова від початкової точки, м;

$b_{\text{куз}}$ - ширина кузова стенду для фізичного моделювання, м.

Осьове зусилля гідроциліндра розраховувалося по формулі (3.18):

$$F_{\text{гдц}} = P_{\text{гдц}} \cdot S_{\text{порш}} \cdot 1000, \quad (3.18)$$

де $P_{\text{гдц}}$ - тиск в поршневій порожнині гідроциліндра, МПа;

$S_{\text{порш}}$ - площа поршня гідроциліндра, м².

В якості експериментів над пластиковими відходами випробування проводилися над пластиковою тарою різного об'єму, пластиковими упаковками, пластиковими кришками і так далі. В процесі випробувань кришки пластикових пляшок не відкручувалися, оскільки при викиданні пластикових пляшок тільки мала частина людей відкручує кришки.

При поступальному ущільненні пластикова тара із закрученими кришками не може ущільнитися повною мірою (рис. 3.7), оскільки пластикова тара може витримати тиск від 7 до 14 атмосфер [11]. При поступально-обертальному ущільненні відбувається впровадження зачепів в пластик з подальшим його розривом. Встановлені на обертальному диску зачепи розривають пластик, що призводить до можливості витіснення повітря і підвищення щільності відходів (рис. 3.8). Отриманий після поступально-обертального ущільнення матеріал досягає максимальної щільності.

Поступально-обертальне ущільнення дозволяє підвищити міру ущільнення пластикових відходів на 51,2 %.



Рисунок 3.7 - Ущільнення пластикових відходів при поступальному ущільненні

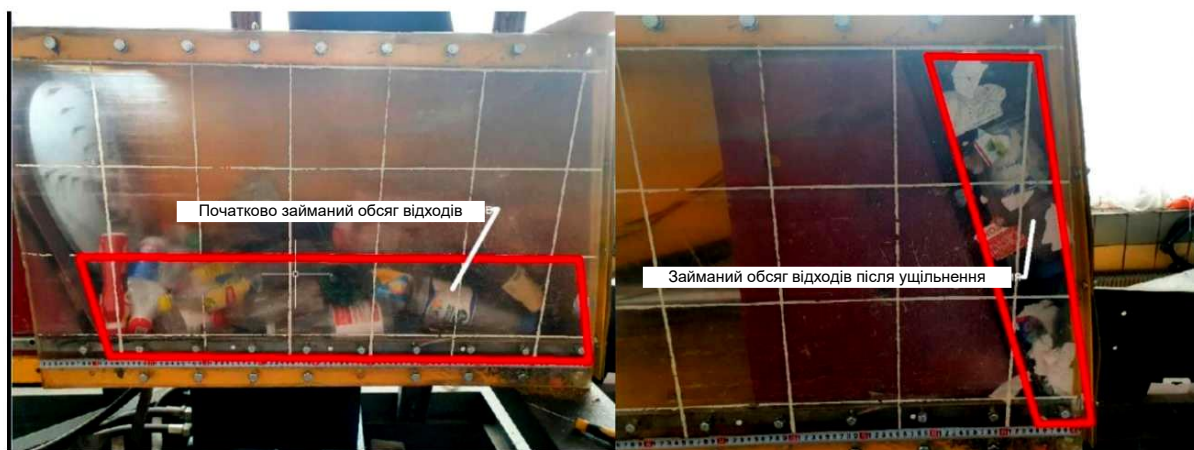


Рисунок 3.8 - Ущільнення пластикових відходів при поступально-обертальному ущільненні

На рис. 3.9 показаний графік залежності міри ущільнення від осьового зусилля гідроциліндра.

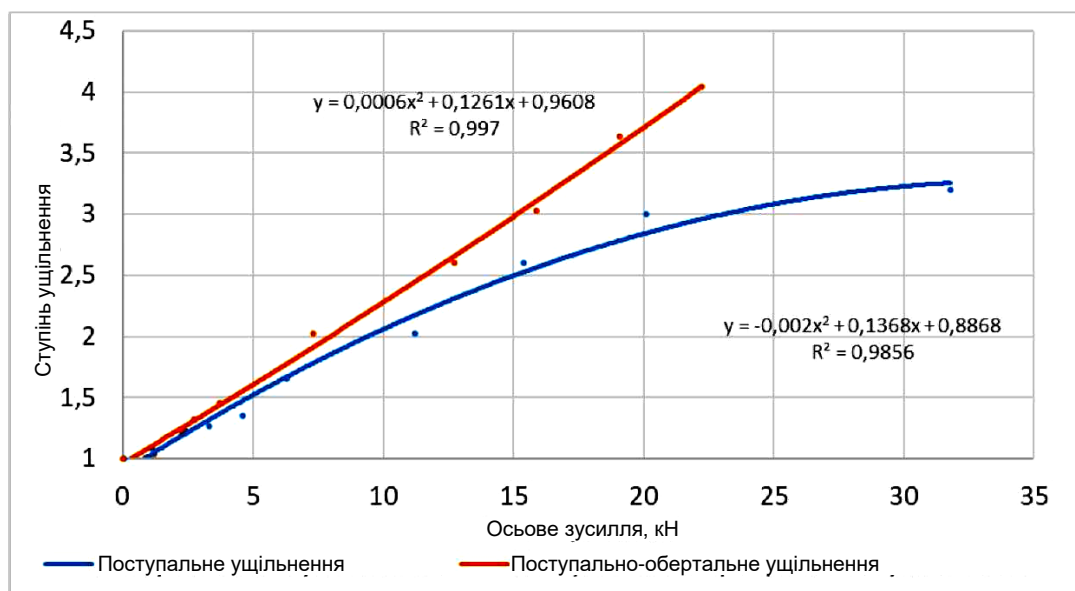


Рисунок 3.9 - Ущільнення пластикових відходів на стенді для фізичного моделювання

Завдяки отриманим експериментальним даним побудовані апроксимуючі криві і складені рівняння для знаходження міри ущільнення пластикових відходів при поступальному (3.19) і поступально-обертальному ущільненні (3.20):

$$K_{уц} = -2 \cdot 10^{-3} F_{зду}^2 + 0,1261 F_{зду} + 0,8868 ; \quad (3.19)$$

$$K_{уц} = -6 \cdot 10^{-4} F_{зду}^2 + 0,1261 F_{зду} + 0,9608 . \quad (3.20)$$

При ущільненні металевих відходів використовувалися алюмінієві і залізні банки, які використовуються в життєдіяльності людини. В результаті порівняння двох видів ущільнення (рис. 3.10, 3.11) ефективність поступально-обертального ущільнення мінімальна і досягається тільки за рахунок осевого зусилля, але завдяки обертанню диска відбувається більше рівномірний розподіл відходів в кузові, при якому міра ущільнення зростає на 27,2 %. Після ущільнення ми отримуємо майже однаковий вид металевих відходів при двох різних методах ущільнення.



Рисунок 3.10 - Ущільнення металевих відходів при поступальному ущільненні

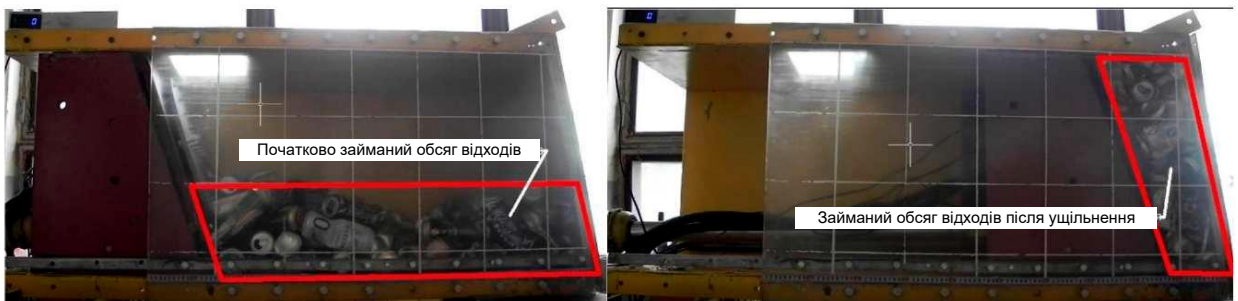


Рисунок 3.11 - Ущільнення металевих відходів при поступально-обертальному ущільненні

Проведені дослідження дозволили отримати поліноміальну апроксимуючу криву при поступальному і поступально-обертальному ущільненні металевих відходів (рис. 3.12). Отримані рівняння залежності міри ущільнення від осевого зусилля гідроциліндра при ущільненні металевих відходів при поступальному (3.21) і поступально-обертальному ущільненні (3.22):

$$K_{уц} = -5 \cdot 10^{-4} F_{зду}^2 + 0,0716 F_{зду} + 0,8525; \quad (3.21)$$

$$K_{уц} = -6 \cdot 10^{-4} F_{зду}^2 + 0,081 F_{зду} + 0,9635. \quad (3.22)$$

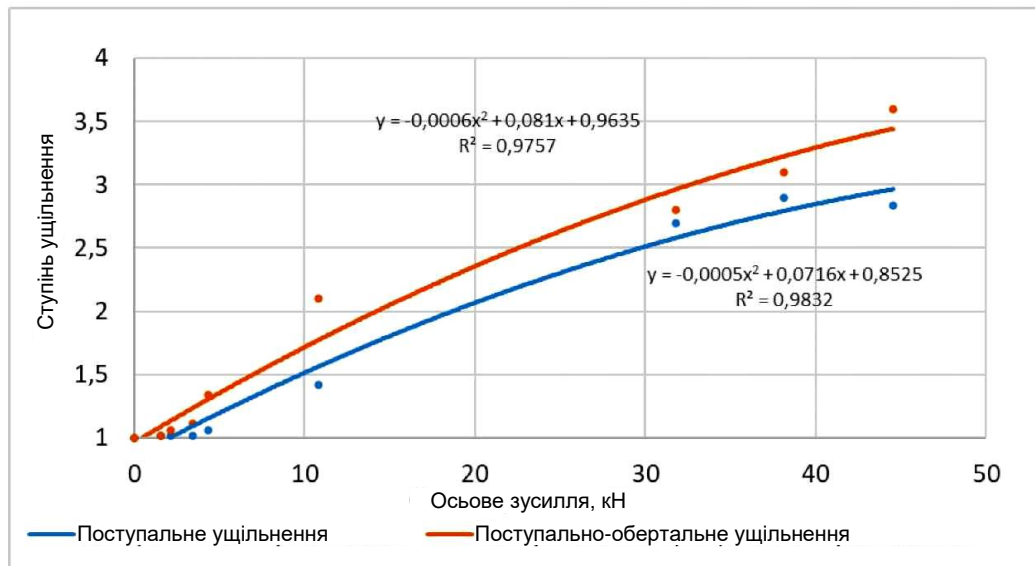


Рисунок 3.12 - Ущільнення металевих відходів на стенді для фізичного моделювання

Як паперові відходи використовувалися картонні і паперові упаковки (рис. 3.13). При поступально-обертальному ущільненні паперових відходів досягається незначний додатковий ефект оскільки папір - це м'який матеріал і не вимагає додаткового подрібнення, але обертання забезпечує розрив часток паперу і підвищує ту, що просувається відходів вгору по кузову, підвищуючи тим самим заповнюваність кузова і міру ущільнення відходів.

При поступальному ущільненні паперових відходів (рис. 3.13) міра ущільнення склала 4,25. Поступально-обертальне ущільнення забезпечує розрив паперових відходів (рис. 3.14), підвищуючи тим самим ступінь ущільнення відходів на 33,39 %.



Рисунок 3.13 - Ущільнення паперових відходів при поступальному ущільненні



Рисунок 3.14 - Ущільнення паперових відходів при поступально-обертальному ущільненні

Проведені дослідження дозволили отримати апроксимуючі прямі при поступальному і поступально-обертальному ущільненні (рис. 3.15).

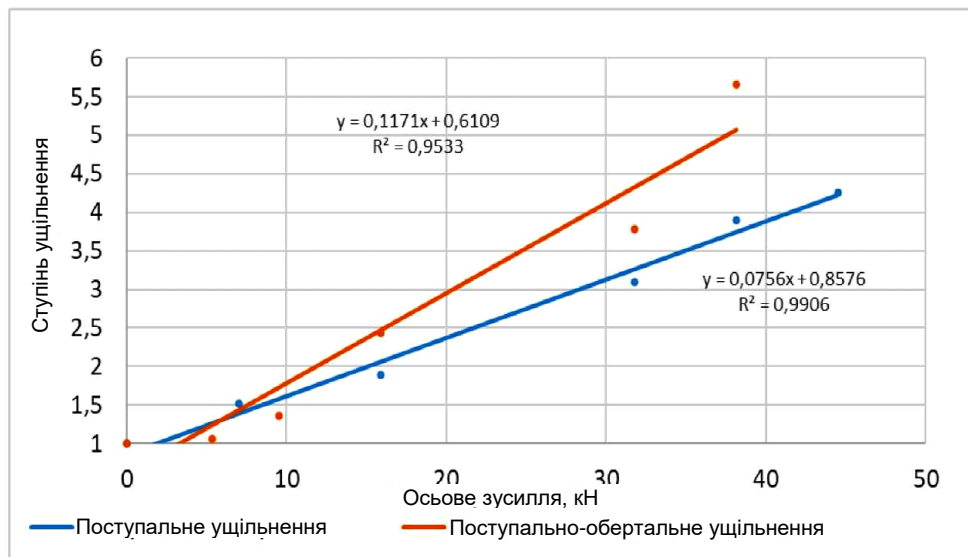


Рисунок 3.15 - Ущільнення паперових відходів на стенді для фізичного моделювання

Отримані рівняння залежності міри ущільнення від осьового зусилля при ущільненні паперових відходів при поступальному (3.23) і поступально - обертальному ущільненні (3.24):

$$K_{уц} = 0,1171 F_{зду} + 0,06109 ; \quad (3.23)$$

$$K_{уц} = 0,0756 F_{зду} + 0,8576 . \quad (3.24)$$

Як скляні відходи використовувалася скляна тара різного об'єму (рис. 3.17). При поступальному ущільненні скла не досягається значне підвищення

щільності. Щільність підвищується лише на 11,5 %, це відбувається за рахунок раціональнішого розподілу скла за об'ємом, але при цьому не відбувається руйнування структури скляної тари (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 - Ущільнення скляних відходів при поступальному ущільненні

При поступально-обертальному ущільненні обертальний диск (рис. 3.17), з шпильками дозволяє вмити руйнувати структуру скляної тари і робити подрібнення до часток розміром не більше 5 см.



Рисунок 3.17 - Ущільнення скляних відходів при поступально-обертальному ущільненні

Дотичне зусилля, що створюється обертальним диском, дозволяє подрібнювати скляні відходи до максимального значення. Підвищення міри ущільнення при порівнянні поступально-обертальної і поступальної системи відносно скляних відходів складає на 269,2 %.

Завдяки отриманим експериментальним даним побудовані поліноміальна апроксимуюча крива для поступального ущільнення (рис. 3.18) і поліноміальна апроксимуюча крива для поступально-обертального ущільнення, а також виведені відповідні рівняння (3.25, 3.26):

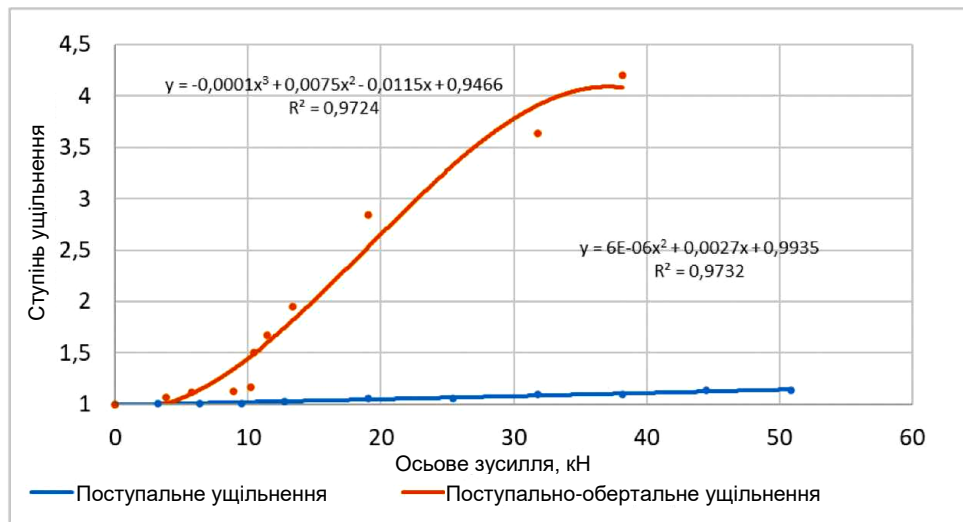


Рисунок 3.18 - Ущільнення скляних відходів на стенді для фізичного моделювання

$$K_{уц} = -1 \cdot 10^{-4} F_{зду}^3 + 7,5 \cdot 10^{-3} F_{зду}^2 - 0,0115 F_{зду} + 0,9466 ; \quad (3.25)$$

$$K_{уц} = 1 \cdot 10^{-5} F_{зду}^2 + 0,0031 F_{зду} + 0,9981. \quad (3.26)$$

Проведені дослідження по ущільненню відходів різних типів дозволили визначити ефективність ущільнення новим поступально-обертальним методом в порівнянні з класичним поступальним ущільненням. Позитивний ефект досягається при ущільненні відходів усіх типів, але максимальний ефект досягається при ущільненні скляних відходів. Результати проведених випробувань зібрані в табл. 3.4-3.6. За результатами оброблених даних побудована діаграма підвищення міри ущільнення (рис. 3.19).

Таблиця 3.4 - Результати проведених випробувань при поступальному ущільненні ТПВ

Вид відходів	Початковий займаний об'єм відходів, л	Займаний об'єм після поступального ущільнення, л	Міра ущільнення відходів при поступальному ущільненні
Пластик	91	27,5	3,3
Метал	63,75	22,5	2,83
Папір	85	20	4,25
Стекло	68,25	61,21	1,115

Таблиця 3.5 - Результати проведених випробувань при поступально-обертальному ущільненні ТПВ

Вид відходів	Початковий займаний об'єм відходів, л	Займаний об'єм після поступально-обертального ущільнення, л	Міра ущільнення відходів при поступально-обертальному ущільненні
Пластик	91	18,24	4,99
Метал	63,75	16,7	3,6
Папір	85	15,17	5,6
Стекло	68,25	16,25	4,2

Таблиця 3.6 - Порівняння отриманих результатів при поступальному та поступально-обертальному ущільненнях ТПВ

Вид відходів	Міра ущільнення відходів при поступальному ущільненні	Міра ущільнення відходів при поступально-обертальному ущільненні	Відсоток зростання міри ущільнення при порівнянні поступального та поступально-обертального ущільнення
Пластик	3,3	4,99	51,2 %
Метал	2,83	3,6	27,2 %
Папір	4,25	5,6	33,3 %
Стекло	1,115	4,2	269,2 %

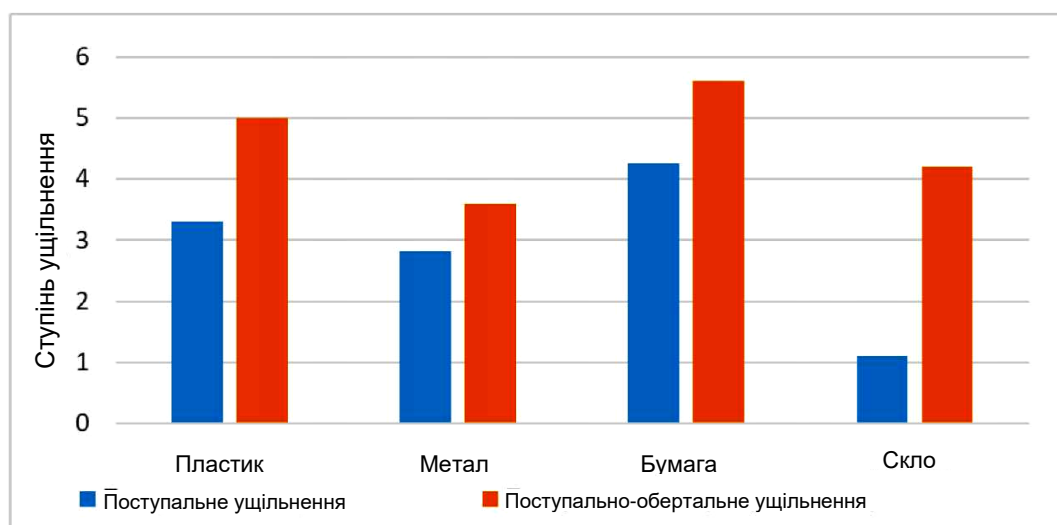


Рисунок 3.19 - Діаграма порівняння міри ущільнення при поступальному і поступально-обертальному ущільненні на стенді для фізичного моделювання

3.3 Оцінка адекватності математичного моделювання процесу ущільнення твердих побутових відходів.

Адекватність математичної моделі процесу взаємодії штовхаючої плити кузова сміттєвозу з ущільнюваним середовищем при поступальному і поступально-обертальному ущільненні перевірялася шляхом порівняння даних, отриманих розрахунковим і експериментальним шляхами. Для перевірки нульової гіпотези про рівність дисперсій точок розподілу використовувався критерій Фишера F - критерій при однакових ступенях свободи і заданому рівні значущості ($\alpha = 0,05$.) Для оцінки відхилень використовують критерій Фішера F . Знаходять значення F - критерію Фішера по формулі (4.1):

$$F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{відмв}^2}, \quad (4.1)$$

$$S_{відмв}^2 = \frac{1}{m_i - 1} \sum_{j=1}^{m_i} (y_i - \hat{y})^2, \quad (4.2)$$

де m_i - число паралельних дослідів в i -му рядку матриці планування; y_i - середнє арифметичне вихідної величини; $\hat{y}$ - значення вихідної величини в i -му досліді.

$$S_{ад}^2 = \frac{m_i}{N - l} \sum_{j=1}^{m_i} (y_j - \bar{y}_j)^2, \quad (4.3)$$

де $\bar{y}_j$ - середнє арифметичне функції відгуку (з m паралельних дослідів); l - число значимих коефіцієнтів в рівнянні регресії; N - число незалежних дослідів.

На рис. 3.20, 3.21 представлено порівняння розрахункових і експериментальних даних при ущільненні змішаних ТПВ, відсоткове співвідношення об'ємів ТПВ різного виду представлені в табл. 3.7, оцінка адекватності математичної моделі при змішаному складі ТПВ представлена в табл. 3.8.

Таблиця 3.7 - Відсоткове відношення відходів в змішаному складі

Вид відходів	Кількість в об'ємі відходів, %
Пластик	30
Метал	25
Папір	30
Скло	15
Розрахунковий модуль деформації, кПа	109,04 / 15,14

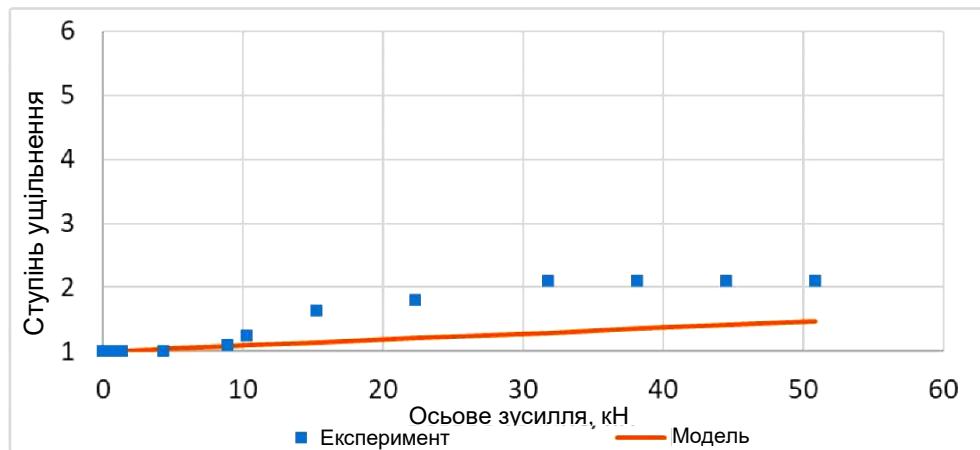


Рисунок 3.20 - Порівняння розрахункових і експериментальних даних при поступальному ущільненні змішаних ТПВ

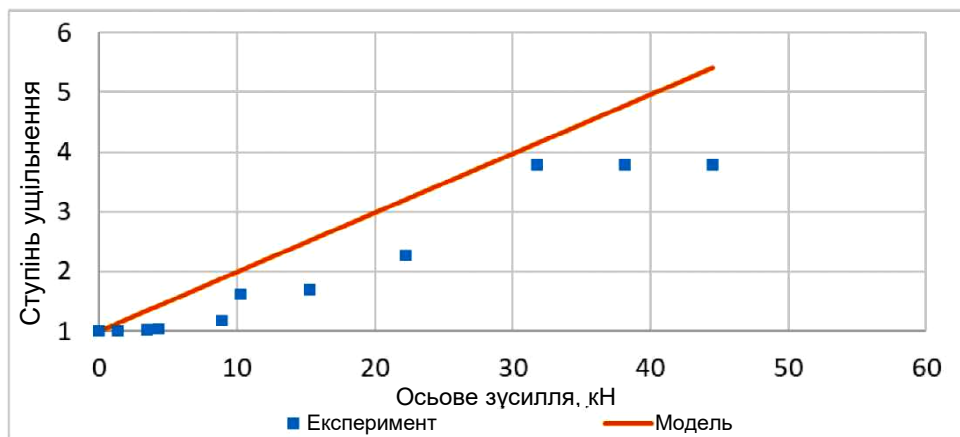


Рисунок 3.21 - Порівняння розрахункових і експериментальних даних при поступально-обертальному ущільненні змішаних ТПВ

Таблиця 3.8 - Оцінка адекватності математичної моделі при поступальному та поступально-обертальному ущільненнях змішаних ТПВ

Спосіб ущільнення	Критерій Фішера $F_{табл}$	Розрахункове значення критерію Фішера $F_{розн}$	Дисперсія адекватності	Дисперсія відтворюваності
Поступальне	2,40	2,25	0,37	0,16
Поступально-обертальне	2,40	2,09	6,24	13,06

На підставі отриманих результатів $F_{розн} < F_{табл}$ можна зробити висновок про те, що математична модель ущільнення змішаних ТПВ адекватна реальному об'єкту.

РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОСТУПАЛЬНО-ОБЕРТАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УЩІЛЬНЕННЯ СМІТТЄВОЗІВ ПРИ ЗБИРАННІ І ТРАНСПОРТУВАННІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

4.1 Алгоритм розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттевозів.

В ході проведеного дослідження за визначенням ефективності поступально-обертальної системи ущільнення відходів було виявлено підвищення продуктивності сміттевозів. А саме, що в процесі поступально-обертального ущільнення відбувається подрібнення і раціональніший розподіл відходів по кузову автомобіля. Щільність отримуваних ТПВ залежить від осьового зусилля гідроциліндра і крутного моменту гідромотора.

Розрахунок основних параметрів сміттевозу з системою ущільнення поступально-обертальної дії дозволить визначити параметри продуктивності машини, типорозміри і параметри гідродвигунів, необхідні для його роботи.

Для визначення і забезпечення оптимального осьового зусилля необхідно підібрати гідроциліндр потрібного діаметру. Площа поршня гідроциліндра визначається по формулі:

$$S_{порш} = \pi \cdot \frac{D_{порш}^2}{4}, \quad (4.1)$$

де $D_{порш}$ - діаметр поршня гідроциліндра, м.

Осьове зусилля, що створюється гідроциліндром при ущільненні ТПВ, визначається по формул:

$$F_{зду} = S_{порш} \cdot P_{зidr} \cdot \eta_{мех}, \quad (4.2)$$

де $P_{зidr}$ - тиск в гідравлічній системі, МПа; $\eta_{мех}$ - ККД гідроциліндра.

Ширина штовхаючої плити $b_{плит}$ визначається виходячи з ширини кузова $b_{куз}$ сміттевозу і товщини стінки [1]:

$$b_{плит} = b_{куз} - 0,1, \quad (4.3)$$

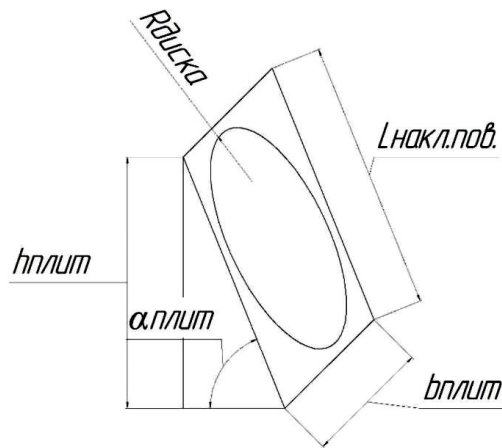


Рисунок 4.1 - Штовхаюча плита поступально-обертальної дії

Необхідно забезпечити установку обертального диска в квадратний переріз штовхаючої плити для того, щоб збільшити її перекриття:

$$L_{\text{накл.пов}} = k_{\text{відн}} \cdot b_{\text{плит}}, \quad (4.4)$$

де $k_{\text{відн}}$ - відношення ширини кузова до висоти, для оптимальної площі перекриття кола обертального диска і штовхаючої плити.

Площа штовхаючої плити визначається по формулі:

$$S_{\text{плит}} = b_{\text{плит}} \cdot L_{\text{накл.пов}}, \quad (4.5)$$

Тиск, що створюється штовхаючою плитою, розраховується по формулі:

$$P_{\text{плит}} = \frac{F_{\text{здц}}}{S_{\text{плит}}}, \quad (4.6)$$

Висота штовхаючої плити визначається по формулі:

$$h_{\text{плит}} = \sin \alpha \cdot L_{\text{накл.пов}}, \quad (4.7)$$

Об'єм кузова сміттєвозу визначається по формулі:

$$V_{\text{куз}} = h_{\text{плит}} \cdot b_{\text{плит}} \cdot l_{\text{куз}}, \quad (4.8)$$

де $l_{\text{куз}}$ - довжина кузова сміттєвозу, м.

Радіус диска, що обертається, залежить від $b_{\text{плит}}$ і $L_{\text{накл.пов}}$ і приймається виходячи з мінімального розміру, щоб забезпечити установку диска в кузов сміттєвозу.

Для визначення міри ущільнення необхідно скористатися рівняннями, отриманими з математичної моделі процесу взаємодії штовхаючої плити

сміттевозу з ущільнюваним середовищем при поступальному і поступально-обертальному ущільненні. Залежно від виду ущільнюваного матеріалу слід прийняти значення модулів деформації, отримані експериментальним шляхом на стенді для визначення параметрів ущільнення різних ТПВ.

Експлуатаційна продуктивність сміттевозу розраховується по формулі:

$$П = \frac{K_y \cdot K_z \cdot K_{\theta} \cdot Q_{\text{куз}} \cdot 60}{t_{\text{шлях}} \cdot (n_z - 1) + (t_{\text{ман}} + t_{n_z}) \cdot n_z + t_{\text{нав}} \cdot n + t'_{n_z} + t_{\text{розв}} + \frac{2 \cdot l \cdot 60}{V_{\text{сер.тр}}}}, \quad (4.9)$$

де $Q_{\text{куз}}$ - місткість кузова сміттевозу, м³;

K_z - коефіцієнт заповнення кузова сміттевозу (0,9 - 1);

K_y - коефіцієнт ущільнення відходів в кузові;

K_{θ} - коефіцієнт використання сміттевозу на лінії;

$t_{\text{шлях}}$ - середня тривалість переїздів сміттевозу від одного місця збору відходів до іншого, хв.;

$t_{\text{ман}}$ - середня тривалість маневрування сміттевозу при в'їзді до дворів і під'їзді до контейнера, хв.;

t_{n_z} - середня тривалість підготовчо-завершальних операцій при навантаженні контейнерів, хв.;

$t_{\text{нав}}$ - середня тривалість навантаження одного контейнера, хв.;

t'_{n_z} - середня тривалість підготовчо-завершальних операцій по розвантаженню сміттевозу на полігоні, хв.;

$t_{\text{розв}}$ - середня тривалість розвантаження сміттевозу на полігоні, хв.;

n_z - число заїздів сміттевозу у двори впродовж одного циклу завантаження;

n - число завантажуваних контейнерів в кузов сміттевозу за один цикл;

l - середня відстань від місця збору відходів до місця їх знешкодження і утилізації, км;

$V_{\text{сер.тр}}$ - середня транспортна швидкість, км/год.

На рис. 4.2 представлена блок-схема алгоритму розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттєвозів.

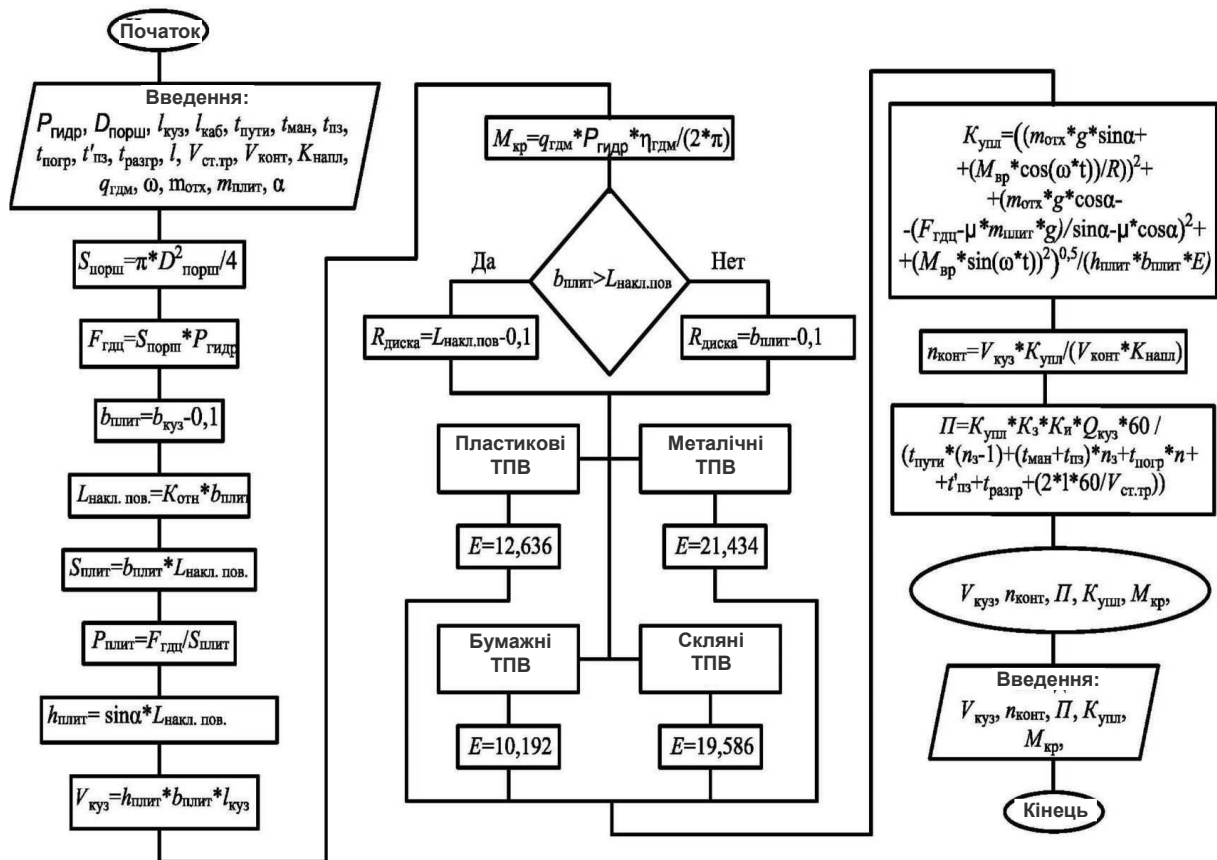


Рисунок 4.2 - Блок-схема алгоритму розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттєвозів

4.2 Аналіз техніко-економічної ефективності впровадження поступально-обертальної кузовної системи ущільнення сміттєвозів.

Аналіз техніко-економічної ефективності системи ущільнення поступально-обертальної дії проводився на основі результатів експериментальних досліджень. Завдяки проведенню експерименту, в якому відбувалося порівняння поступальною і поступально-обертальною систем ущільнення, в другому випадку було визначено підвищення міри ущільнення ТПВ і продуктивності сміттєвозів, що веде до зниження вартості їх транспортування.

Техніко-економічна ефективність збору і транспортування ТПВ з урахуванням застосування в конструкції сміттєвозу з поступально-обертальною системою ущільнення оцінювалася при існуючих відстанях до місць переробки, утилізації або зберігання.

Річні питомі витрати визначаються по формулі:

$$B_{\text{нм}} = \frac{B_e}{\Pi \cdot T} + E_n \cdot \frac{C_c}{\Pi \cdot T}, \quad (4.10)$$

де B_e - експлуатаційні витрати сміттєвозу впродовж року, грн/рік;

Π - середня річна продуктивність сміттєвозу, м³/год;

T - річний фонд роботи сміттєвозу, год;

C_c - собівартість сміттєвозу, крб.;

E_n - галузевий нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, який прийнято вважати рівним 0,65.

Річний фонд роботи сміттєвозу [6]:

$$T = (365 - t_c - t_m) \cdot t_c / (1 + t_c \cdot t_{\text{рем}}), \quad (4.11)$$

де t_c - час простою сміттєвозу за умовами роботи і сезонними особливостями застосування, доб.;

t_m - тривалість вихідних і святкових днів і днів простоїв, доб.;

$t_{\text{рем}}$ - тривалість простою сміттєвозу під час ремонту і обслуговування, що доводиться на 1 годину роботи, год.

Тривалість простою сміттєвозу під час ремонту і обслуговування визначається по формулі [5]:

$$t_{\text{рем}} = \frac{\Pi P_{\text{ТОіР}}}{P}, \quad (4.12)$$

де $\Pi P_{\text{ТОіР}}$ - тривалість простою машини під час ТО і Р в рік, год;

P - тривалість роботи протягом доби, год.

При розрахунку річного фонду роботи сміттєвозу враховувалося, що автомобіль працює щодня, включаючи вихідні і святкові дні. Експлуатаційні витрати складають:

$$E_{\text{с}} = B_{\text{зн}} + B_{\text{а}} + B_{\text{ТО}} + B_{\text{ПММ}} + B_{\text{ТМ}} + B_{\text{заг}}, \quad (4.13)$$

де $B_{\text{зн}}$ - витрати на заробітну плату основного персоналу, грн/рік;

$B_{\text{а}}$ - амортизаційні відрахування, грн/рік;

$B_{\text{ТО}}$ - витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт, грн/рік;

$B_{\text{ПММ}}$ - вартість паливномастильних матеріалів, грн/рік;

$B_{\text{ТМ}}$ - вартість технологічних матеріалів, грн/рік;

$B_{\text{заг}}$ - загальногосподарські витрати, грн/рік.

Розрахуємо річний вантажообіг сміттєвозу по формулі [5]:

$$PB = ПЗ \cdot l_{\text{сер}}, \quad (4.14)$$

де $l_{\text{сер}}$ - середній пробіг сміттєвозу за одну поїздку, км.;

$ПЗ$ - провізна здатність.

Кількість автомобіле-кілометрів визначається по формулі:

$$A = \frac{PB}{q \cdot y}, \quad (4.15)$$

де q - вантажопідйомність автомобіля, т.;

y - коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Вартість матеріалів і запасних частин для технічного обслуговування і ремонту сміттєвозу [2]:

$$C_{\text{ТО}} = \frac{A}{1000} \cdot НВМ, \quad (4.16)$$

де $НВМ$ - норма витрати матеріалів на технічне обслуговування і ремонт, грн/1000 км.

Таким чином, застосування нової поступально-обертальної системи ущільнення дозволило добитися підвищення продуктивності для ущільнюваних відходів усіх типів.

Підвищення продуктивності призводить до зниження річних питомих витрат (табл. 4.1), порівняння результатів показане на рис 4.3.

Таблиця 4.1 - Річні витрати на експлуатацію сміттєвозу

№	Показник	Одиниця виміру	Тип ущільнення	
			З поступальним ущільненням	З поступально-обертальним ущільненням
1	Річний фонд роботи машини, T	маш-г/рік	4380	4380
2	Експлуатаційні витрати, E_e	грн.	2340543,4	2651221,8
3	Продуктивність сміттєвозу, Π	м ³ /год	Пластикові відходи	
			4,4	6,65
			Металеві відходи	
			3,77	4,25
			Паперові відходи	
			5,67	8,27
			Скляні відходи	
			1,52	5,6
4	Річні питомі витрати, $B_{\text{пнт}}$	грн./м ³	Пластикові відходи	
			458,7	325,7
			Металеві відходи	
			534,9	509,4
			Паперові відходи	
			356,2	262,1
			Скляні відходи	
			1327,8	386,9

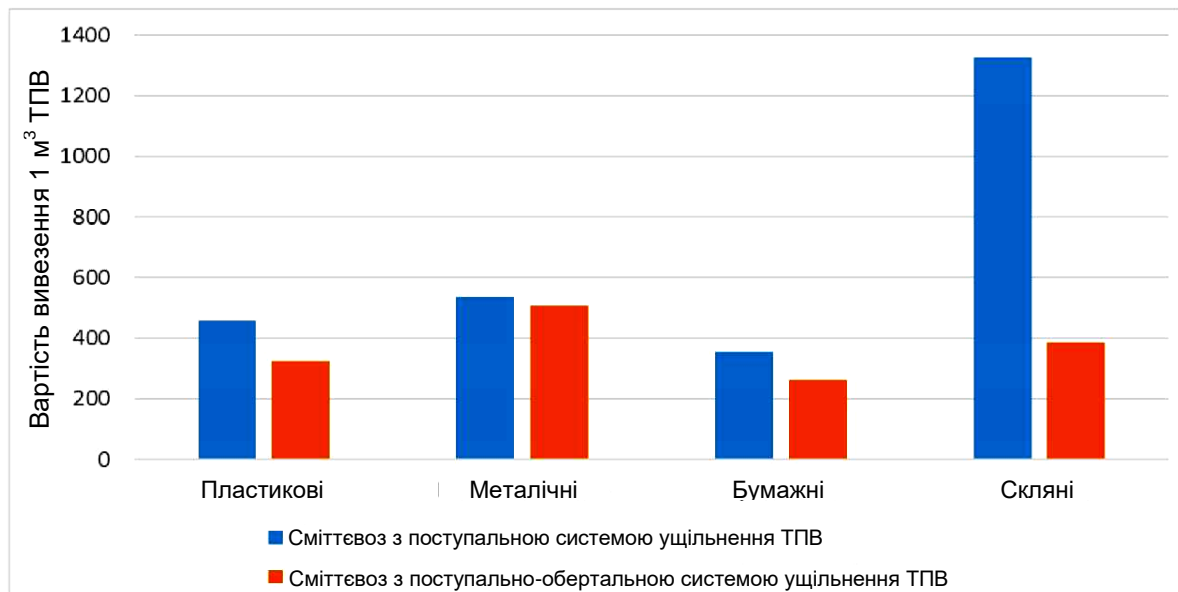


Рисунок 4.3 - Діаграма порівняння вартості транспортування одного кубічного метра відходів при поступальному і поступально-обертальному ущільненні

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано новий тип системи ущільнення твердих комунальних відходів, який поєднує поступальний і обертальний рухи плити, що дозволяє підвищити міру їх ущільнення і продуктивність сміттевозів за рахунок додавання в процес ущільнення додаткової дотичної сили, яка забезпечує зрушення, дроблення, а також перемішування часток і рівномірний розподіл твердих комунальних відходів в кузові сміттевозів.

2. Розроблена математична модель процесу взаємодії штовхаючої плити сміттевозу з ущільнюваним середовищем при поступальному і поступально-обертальному ущільненні, яке враховує сили опору, властивості матеріалу і їх зміни в часі і в процесі ущільнення.

3. Отримано залежності міри ущільнення і напруги, що виникає в середовищі відходів при поступальному і поступально-обертальному ущільненні, а також модулі деформації. Визначено зменшення значень модулів деформації при порівнянні поступальної і поступально-обертальної систем ущільнення відходів: пластикових на 22,23 %, металевих на 20,03 %, паперових на 22,39%, скляних на 96,86 %.

4. Встановлено підвищення міри ущільнення при поступально-обертальній дії в порівнянні з поступальним ущільненням відходів. При ущільненні пластикових відходів міра ущільнення зростає на 51,2 %, металевих на 27,2 %, паперових на 33,3 %, скляних на 269,2%.

5. Розроблена методика розрахунку основних параметрів поступально-обертальної системи ущільнення в конструкції сміттевозів, яка дозволяє підібрати характеристики гідродвигунів і типорозміри сміттевозів.

6. Визначено техніко-економічну ефективність поступально-обертальної системи ущільнення, яка дає зниження питомих річних витрат на транспортування твердих комунальних відходів: для пластикових на 29,1 %; для металевих на 4,7 %; для паперових на 26,4 % і для скляних відходів на 70,9 %.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Березюк О. В. Огляд конструкцій машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. Вісник машинобудування та транспорту. ВНТУ, 2015. № 1. С. 3-8.
2. Голік Ю.С., Ілляш О.Е., Бредун В.І. Техніко-організаційні аспекти створення раціональних схем збирання твердих побутових відходів. Вісник інженерної академії України. К.: ІАУ, 2017. №1. С. 141-146.
3. Дудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: підручник. К.: Знання Прес, 2003. 511 с.
4. Кісліков В.Ф., Луцик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: підручник. К: Либідь, 2006. 400 с.
5. Петрук В.Г., Мудрак О.В., Яворська О.Г. та ін. Інтегроване управління та поводження з твердими побутовими відходами у Вінницькій області. Монографія. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2007. 160 с.
6. Попович В.В. та ін. Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище", Науковий вісник НЛТУ України, Т. 27, № 10, 2017, с. 111-116.
7. Постанова КМ України "Про затвердження Правил надання послуг з вивезення побутових відходів" № 1070 від 10.12.2008 р. [Електронний ресурс]: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1070-2008-%D0%BF>.
8. Севостьянов І.В. Експлуатація та обслуговування машин: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2006. 127 с.
9. Формальчик Є.Ю., Оліскевич М.С. Технічна експлуатація та надійність: навч. посіб. Львів: Афіша, 2004. 492 с.
10. Chi-Hua Chen, Y.T. Yang, C.S. Chang, C.M. Hsieh. The design and implementation of a garbage truck fleet management system. South African Journal of Industrial Engineering, 2016. - №27(1). P. 32-46.
11. Hen-shan, Li., Y. Lei, Q. Xiao-Yan, and S. Yu-mei. Municipal solid waste management in Beijing City. Waste Management, (29), 2016. P. 2596-2599.

12. Karlaftis, M.G. & Vlahogianni, E.I. Statistical methods versus neural networks in transportation research: Differences, similarities and some insights. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(3), 2011. P. 387-399.
13. Chen, C.H., Lin, B.Y., Lin, C.H., Liu, Y.S. & Lo, C.C. A green positioning algorithm for campus guidance system. *International Journal of Mobile Communications*, 10(2), 2012. P. 119-131.
14. Yu, B., Wu, S., Yao, B., Yang, Z. & Sun, J. Dynamic vehicle dispatching at a transfer station in public transportation system. *Journal of Transportation Engineering*, 138(2), 2012. P. 191-201.
15. Zhou, C., Weng, Z., Xu, C. & Su, Z. Integrated traffic information service system for public travel based on smart phones applications: A case in China. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 5(12), 2013. P. 72-80.
16. Erman, B., Inan, A., Nagarajan, R. & Uzunalioglu, H. Mobile applications discovery: A subscriber-centric approach. *Bell Labs Technical Journal*, 15(4), 2011. P. 135-148.
17. Chen, C.H., Lo, C.C. & Lin, H.F. The analysis of speed-reporting rates from a cellular network based on a fingerprint-positioning algorithm. *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(1), 2013. P. 98-106.
18. R. Jiang, D. Liu, Z. Wang, and W. Fan, "Dynamic characteristics simulation for lifting mechanism of dump truck based on virtual prototype", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 195-196, 2012. P. 754-757.
19. Uicker J. J. Jr., Pennock G. R., Shigley J. E. *Theory of machines and mechanisms*. Fifth edition. New York : Oxford University Press, 2016. 950 p.