

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Березюк Олег Володимирович



УДК 628.464.43

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИВОДІВ
РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ДЛЯ ЗБИРАННЯ ТА
ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

Спеціальність: 05.02.02 – машинознавство

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Хмельницький – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Савуляк Валерій Іванович,
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри галузевого машинобудування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Струтинський Василь Борисович,
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського",
професор кафедри конструювання машин,
заслужений діяч науки і техніки України

доктор технічних наук, професор
Ланець Олексій Степанович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
директор Інституту механічної інженерії та
транспорту

доктор технічних наук, професор
Тіхенко Валентин Миколайович,
Одеський національний політехнічний університет,
завідувач кафедри металорізальних верстатів,
метрології та сертифікації

Захист відбудеться "14" травня 2021 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 70.052.02 у Хмельницькому національному університеті за адресою: 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, 3-й навчальний корпус, зала засідань.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Хмельницького національного університету за адресою: 29016, м. Хмельницький, вул. Кам'янецька, 110/1 та на сайті Хмельницького національного університету: www.khnu.km.ua.

Автореферат розісланий "06" квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В. О. Харжевський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Серед потреб комунального господарства України важливою є необхідність забезпечення високопродуктивними багатофункціональними машинами для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів (ТПВ), яких у містах і селищах міського типу країни щорічно утворюється понад 54 млн. м³, 93,8% яких вивозяться на полігони і сміттєзвалища, 2% спалюється на сміттєспалювальних заводах, а 4,2% ТПВ потрапляє на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи. Щорічне збільшення обсягу ТПВ складає 0,5%. Тому одним із найважливіших заходів щодо захисту навколишнього середовища є своєчасний збір, вивезення, переробка та утилізація ТПВ. Зростаючі вимоги до якості обслуговування населення, у тому числі і в області санітарного очищення територій, обумовлюють високі вимоги до використовуваної для цих цілей техніки. Тільки на перевезення відходів до місця утилізації за межі санітарної зони в 30 кілометрів витрачається більше 45 тисяч тонн пального в рік.

Згідно постанови Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 "Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами" серед пріоритетних напрямів поводження з ТПВ є: організація роздільного збору окремих компонентів, забезпечення застосування сучасних високоєфективних сміттєвозів, знешкодження фільтрату тощо. В законі України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року" серед завдань стратегії зазначено повернення у господарський обіг ресурсоцінних матеріалів, а також заплановано до 2030 року частку відходів, що захоронюються, зменшити до 35% від загального обсягу утворених відходів.

На сьогодні сміттєвози мають робочі органи переважно з гідравлічними приводами, параметри яких далекі від оптимальних внаслідок відсутності методології проектування приводів робочих органів, які забезпечують розширення технологічних та функціональних можливостей, що призводить до значних зайвих витрат на збирання та транспортування ТПВ.

В залежності від походження твердих відходів, фракційного складу, пори року та погодних умов їх щільність змінюється в межах від 190 до 600 кг/м³. Тому після вивантаження кожного контейнера з ТПВ у бункер сміттєвоза обов'язково виконується операція їх ущільнення. Чим вищий коефіцієнт ущільнення, тим краще використовується об'єм бункера та вантажопідйомність автомобіля, зменшується кількість газових викидів та земельних площ об'єктів полігонного захоронення ТПВ. У сміттєвозах вітчизняного виробництва відходи вдається ущільнювати в 2,2 рази, що значно менше ніж на кращих світових зразках цієї техніки. Додатковим недоліком недостатнього коефіцієнта ущільнення є неповне виділення рідкої фракції ТПВ на місці їхнього збирання. Внаслідок цього частина цієї фракції витікає на вулиці населених пунктів, що забруднює їх та зменшує епідеміологічну стійкість.

Отже, розробка науково-технічних основ проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відхо-

дів із мінімізацією негативного впливу на навколишнє середовище є актуальною науково-технічною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрах технології підвищення зносостійкості та галузевого машинобудування Вінницького національного технічного університету. Тема роботи відповідає основним науковим напрямкам кафедр. Дослідження проводились відповідно до пріоритетних напрямів постанови Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 "Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами", закону України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року", автором як відповідальним виконавцем на посаді с. н. с. в рамках держбюджетного договору № 9319 "Уточнення коефіцієнтів динамічності в залежності від параметрів транспортних засобів та швидкості руху при проїзді покриття з нерівностями для розробки рекомендацій з забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг України" (ВНТУ, № 0107U009062, 2007 р.), договорів про творчу співдружність між Вінницьким національним технічним університетом та ТОВ "Турбівський машинобудівний завод" (ВАТ "АТЕКО"), номера державної реєстрації № 0104U009000 та № 0104U009001, а також співавтором досліджень та колективних монографій [2, 3] в межах комплексної теми дослідження "Методологія управління підприємствами різних організаційно-правових форм та форм власності" (в частині оптимізації завантаження та вивантаження ТПВ із сміттєвоза) (НМАУ, № 0107U001146, 2006-2017 рр.).

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів шляхом розроблення науково-технічних основ їхнього проектування.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

1) системний аналіз стану проблеми та визначення перспективних способів зменшення негативного впливу на навколишнє середовище шляхом зневоднення та пресування твердих побутових відходів та типів приводів для відповідних механізмів;

2) дослідження взаємозв'язку та визначення функціональних залежностей, що описують взаємодію робочого тіла (твердих побутових відходів) з виконавчими органами машин;

3) розроблення перспективних схем, конструкцій, математичних моделей приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки (ущільнення, зневоднення, подрібнення, сортування) твердих побутових відходів з метою підвищення їхньої ефективності та забезпечення зменшення негативного впливу на навколишнє середовище;

4) формування структури машин для збирання та первинної переробки ТПВ;

5) виявлення дослідженням числовими методами закономірностей впливу параметрів приводів робочих органів машин на ефективність збирання та первинної переробки ТПВ;

6) імітаційне дослідження стійкості роботи та якості перехідних процесів у приводах машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів під час їхнього пуску;

7) визначення оптимальних параметрів приводів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів;

8) удосконалення принципової гідравлічної схеми ущільнення ТПВ у сміттєвозі та конструкції генератора імпульсів тиску для інтенсифікації та покращення якості робочих процесів збирання та первинної переробки твердих побутових відходів на основі вібраційних технологій;

9) розроблення методології проектування ефективних приводів робочих органів удосконалених та нових машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Об'єкт дослідження – процеси збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Предмет дослідження – закономірності розрахунків і проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводилися методом математичного моделювання процесів у гідроприводах із використанням основних законів механіки твердого тіла, теорії гідроприводу та гідропневмоавтоматики, теорії моделювання та системного аналізу, чисельних методів дослідження математичних моделей, описаних системами диференціальних та алгебраїчних рівнянь, аналітичного розв'язання лінеаризованих математичних моделей методом перетворень за Лапласом. Поставлені задачі розв'язувались з використанням ПЕОМ. Експериментальні дослідження проводилися на фізичних моделях та натурних зразках із застосуванням сучасних засобів реєстрації параметрів, методів регресійного аналізу, постановки та обробки результатів виконаних досліджень із використанням методів планування багатofакторного експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1) вперше на основі класифікації машин та обладнання для поводження з ТПВ реалізовано системний підхід до визначення функцій та структури екологічних машин з комплексного вирішення проблеми збирання та первинної переробки твердих побутових відходів (ТПВ);

2) вперше побудовано та досліджено математичні моделі приводів робочих органів сміттєвоза, які враховують навантаження робочих органів машин ТПВ з реальними характеристиками на технологічних операціях завантаження, зневоднення та подрібнення, розвантаження ТПВ, роботи навісного підмітального обладнання, що дало змогу отримати залежності для визначення оптимальних параметрів приводів обладнання;

3) вперше запропонована блочно-модульна структура розширення функціональних можливостей сміттєвозів (встановлення додаткового обладнання для сезонного прибирання, використання при екологічних, техногенних катастрофах та інших надзвичайних ситуаціях);

4) отримані регресійні функціональні залежності взаємодії твердих побутових відходів з виконавчими органами машин із урахуванням вологості;

5) для вібраційного гідроприводу доущільнення твердих побутових відходів із використанням нового генератора імпульсів тиску релейної диференціальної дії (ГІТРДД) визначено моделюванням вплив параметрів ГІТРДД на характеристики вібраційних процесів та їхні оптимальні значення;

6) на основі аналітичного дослідження процесів взаємодії ТПВ з робочими органами удосконаленого пристрою для сортування встановлено залежності для визначення раціональних значень його основних параметрів.

Практичне значення одержаних результатів:

Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень, проведених за допомогою розроблених і захищених свідоцтвами про реєстрацію авторського права на твір комп'ютерних програм, реалізовані в нових та модернізованих технічних рішеннях і конструкціях машин та обладнання для поводження з ТПВ, що захищені патентами України. При цьому найбільшу практичну цінність мають такі одержані результати:

1) створено та захищені свідоцтвами оригінальні комп'ютерні програми "RegAnaliz" та "PlanExp" для обробки результатів однофакторних та багатфакторних експериментів, відповідно, які дають можливість отримати регресійні залежності для визначення оптимальних параметрів конструкції машин, що проектуються, та обладнання для поводження з ТПВ, які забезпечують зменшення маси відходів, що перевозяться, в 1,24...2,39 рази, збільшення у 1,4...4,14 рази теплотворної здатності ТПВ під час утилізації в теплогенераторах;

2) запропоновано нові співвідношення конструктивних параметрів робочих органів машин, які дозволяють зменшити витрати пального на 178 л/рік в розрахунку на один сміттєвоз під час завантаження відходів у сміттєвоз та підвищити надійність роботи приводів за рахунок покращення якості перехідних процесів (за результатами розроблених алгоритму і програми комп'ютерного моделювання);

3) вперше розроблено конструктивну та гідравлічну схеми механізму зневоднення та подрібнення твердих побутових відходів при їхньому попередньому ущільненні під час завантаження в кузов сміттєвоза та інженерну методику розрахунку його параметрів;

4) вперше розроблено конструктивну та гідравлічну схеми навісного підмітального обладнання сміттєвоза з регульованим груповим гідравлічним приводом із одним гідронасосом та інженерну методику розрахунку його параметрів;

5) розроблено нову конструкцію генератора імпульсів тиску релейної диференціальної дії, що дозволило збільшити частоту вібрації на 20,9%...32,1% для інтенсифікації робочих процесів;

6) обґрунтовано застосування ультразвукового далекоміра в нових конструкціях сміттєвозів, що дозволяє безпечно маневрувати в місцях збирання ТПВ;

7) структури робочих органів сміттєзбиральних машин, приводів та раціональні співвідношення конструктивних параметрів їхніх робочих органів впроваджено ПП "Світ Маніпуляторів";

8) результати теоретичних та експериментальних досліджень використовуються у навчальному процесі для підготовки PhD під час викладання дисципліни “Методи та засоби дослідження складу, структури, та властивостей матеріалів”, при вивченні студентами дисциплін “Методологія та організація наукових досліджень”, “Безпека життєдіяльності” у Вінницькому національному технічному університеті.

Особистий внесок здобувача. Результати досліджень отримані автором самостійно. Постановка проблеми погоджена з науковим консультантом. З робіт, опублікованих у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто здобувачем. У роботах опублікованих в співавторстві, особистий внесок здобувача такий: [1] – розробка та дослідження конструкцій та математичних моделей приводів машин для збирання, перевезення та підготовки до переробки ТПВ; [6, 7] – розробка засобів вимірювального контролю, їхнє теоретичне та експериментальне дослідження; [8, 9] – аналітичне дослідження лінеаризованих математичних моделей приводів робочих органів сміттєвозів; [10, 14, 15, 57] – регресійний аналіз взаємодії робочого тіла (ТПВ) з виконавчими органами машин; [16] – дослідження впливу характеристик тертя на динаміку гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза; [24-26, 50] – моделювання параметрів біологічних методів поводження з ТПВ; [40] – програмна реалізація та дослідження математичної моделі; [60] – дослідження етапів петлі якості продукції.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на таких конференціях: XXXV-XLIX науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, ВНТУ, 2006-2020 рр.); Міжнародна науково-практична конференція (МНПК) "І-й Всеукраїнський з'їзд екологів (ECOLOGY-2006)" (м. Вінниця, ВНТУ, 2006 р.); VII, IX Міжнародні науково-технічні конференції (МНТК) “Вібрації в техніці та технологіях” (м. Львів, НУЛП, 2006 р., м. Вінниця, ВДАУ, 2009 р.); Всеукраїнська науково-технічна конференція (ВНТК) “Альтернативні екологічно чисті та відновлювальні джерела енергії” (м. Вінниця, ВНТУ, 2007 р.); XVI-XVIII МНТК “Теорія і практика процесів подрібнення, розподілу, змішування та ущільнення матеріалів” (м. Одеса, ОНМА, 2008-2010 рр.); ВНТК “Інноваційні технології в будівництві” (м. Вінниця, ВНТУ, 2008 р.); Всеукраїнська науково-практична конференція (ВНПК) “Хімічна та екологічна освіта: стан і перспективи розвитку” (м. Вінниця, ВДПУ, 2008 р.); Науково-технічна конференція “Енергозбереження в галузях національного господарства” (м. Вінниця, ВНТУ, 2009 р.); XVIII, XXIII, XXIV МНПК “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (MICROCAD-2010, 2015, 2016) (м. Харків, НТУ “ХП”, 2010, 2015, 2016 рр.); XVI МНТК “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці” (м. Вінниця, ВНТУ, 2011 р.); МНПК молодих вчених і студентів “Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні” (м. Київ, КНУБА, 2011 р.); II, IV МНПК “Инновационное развитие территорий” (г. Череповец, Россия, ЧГУ, 2014, 2016

гг.); II, III, V, VI міжнародні інтернет-конференції "Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій" (м. Вінниця, ВНТУ, 2014, 2015, 2017 рр.); I-III МНТК "Гідро- та пневмоприводи машин – сучасні досягнення та застосування" (м. Вінниця, ВНТУ, 2014, 2016, 2018 рр.); X МНПК "Современные направления теоретических и прикладных исследований '2015" (2015 г.); МНПК "Инновационные взгляды научной молодежи '2015" (2015 г.); XXIII, XXIV МНПК "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (м. Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015, 2016 рр.); II МНПК "Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи" (м. Львів, ЛДУБЖ, 2015 р.); МНПК "Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии" (г. Тюмень, ФГБОУВО "Тюменский индустриальный университет", Россия, 2016 г.); XV МНПК "Роль бизнеса и власти в развитии агропромышленного комплекса" (г. Барнаул, Алтайская лаборатория СибНИИЭСХ СФНЦА РАН, Россия, 2016 г.); VII-IX Молодежные экологические Конгрессы "Северная Пальмира" (г. Санкт-Петербург, СПб НИЦЭБ РАН, Россия, 2016-2018 гг.); I-IV МНПК "Прикладні науково-технічні дослідження" (м. Івано-Франківськ, АТНУ, 2017-2020 р.); XVII, XVIII ВНТК молодих учених та студентів "Еколого-енергетичні проблеми сучасності" (м. Одеса, ОНАХТ, 2017, 2018 рр.); ВНПК молодих учених, спеціалістів, аспірантів "Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика" (м. Маріуполь, ПДТУ, 2017 р.); VI МНПК "Стратегические направления развития АПК стран СНГ" (г. Барнаул, СФНЦА РАН, Россия, 2017 г.); XVI МНТК "Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку" (м. Краматорськ, ДДМА, 2018 р.); II ВНПК студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою "Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні" (м. Херсон, 2019 р.). Робота доповідалася **повністю** на: Міжнародній конференції молодих науковців "Сучасні технології в механіці" (м. Хмельницький, ХНУ, 2016 р.); пленарному засіданні XLIX науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, ВНТУ, 2017 р.); IX МНПК "Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні (ІТММ'2017)" (м. Дніпро, НМетАУ, 2017 р.); XVIII МНТК АС ПГП "Промислова гідравліка і пневматика" (м. Вінниця, ВНТУ, 2017 р.); VI міжнародній конференції "Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій" (м. Вінниця, ВНТУ, 2018 р.); міжкафедральному науковому семінару кафедр факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету (05 січня 2021 р.).

Публікації. Опубліковано за матеріалами досліджень і розробок 98 наукових праць у т.ч.: 5 монографій (із яких 1 авторська, 4 колективні), 10 статей у закордонних періодичних виданнях (з них 2 індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science), 40 статей у фахових журналах України, що входять до переліку ДАК (з них 16 індексуються міжнародними наукометричними базами даних, 4 в електронних виданнях), 17 патентів Украї-

ни на корисні моделі, 5 свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерні програми), 19 публікацій апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, 11 додатків. Загальний обсяг дисертації – 482 сторінок, містить 132 рисунки, 66 таблиць, список використаних джерел з 330 найменувань на 33 сторінках. Основний зміст роботи викладено на 303 сторінках машинописного тексту. Додатки містять 96 сторінок, 48 рисунків, 45 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми досліджень, розкритий зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовані мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, перераховані методи дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, відзначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

В першому розділі здійснено системний аналіз сучасних конструкцій машин для поводження з ТПВ, порівняльний аналіз типів їхніх приводів, а також виявлено тенденції щодо їхнього удосконалення. Запропоновано класифікацію машин та обладнання для поводження з ТПВ, показану на рис. 1.

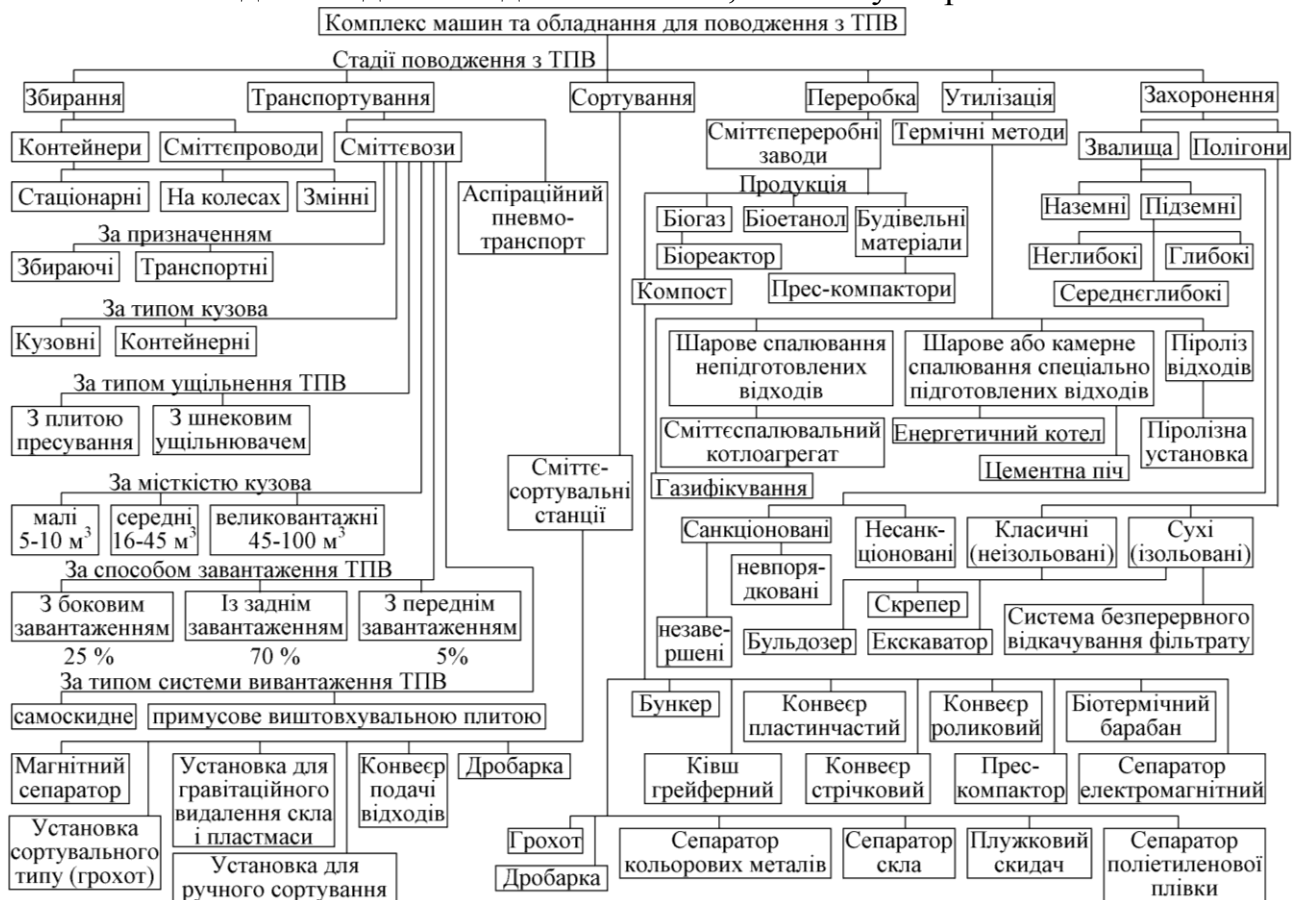


Рис. 1. Класифікація машин та обладнання для поводження з ТПВ

Серед наведеного на рис. 1 комплексу машин та обладнання для поводження з ТПВ до області дисертаційного дослідження відносяться приводи робочих органів машин та обладнання для збирання, транспортування та первин-

ної переробки (ущільнення, зневоднення, подрібнення, сортування) відходів, які повинні забезпечувати необхідні їхні властивості в залежності від подальших шляхів поводження з ними (переробка, утилізація, захоронення).

Для збирання та транспортування ТПВ використовуються спеціальні автомобілі – сміттєвози, які відрізняються різноманітністю конструкцій. Встановлено поширеність схем завантаження ТПВ у кузов сміттєвоза: бокового – 25%, переднього – 5%, заднього – 70%. Найбільша поширеність заднього способу завантаження обумовлюється тим, що дозволяє завантажувати як контейнери радянського зразка без кришки і коліс об'ємом $0,75 \text{ м}^3$, так і євроконтейнери об'ємом $1,1 \text{ м}^3$, обладнані кришкою та колесами.

Аналіз конструкцій та схем приводів ущільнюючої плити сміттєвоза показав доцільність використання вібраційного гідроприводу для ущільнення ТПВ з віброзбудженням за допомогою генератора імпульсів тиску.

Серед схем вивантаження ТПВ із сміттєвозів: самоскидної та за допомогою виштовхувальної плити доцільно використати схему вивантаження відходів за допомогою виштовхувальної плити, оскільки при великих значеннях коефіцієнта ущільнення ТПВ самоскидна схема не зможе забезпечувати надійне вивантаження.

Створення ефективних приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки ТПВ вимагає розробки нових принципів схем, дослідження динаміки роботи, необхідних для створення методики проектування. При цьому основними критеріями ефективності приводів робочих органів машин є: кінцева вологість та густина ТПВ; коефіцієнти ущільнення, зменшення об'єму та маси для перевезення; питома теплоємність та теплотворна здатність ТПВ під час спалювання в теплогенераторах; тривалість виконання технологічних операцій; частота накладених вібрацій; ступінь подрібнення ТПВ; кількість фракцій ТПВ після механізованого сортування.

Питання розробки гідравлічних систем технологічних машин, математичного моделювання та детального дослідження їхніх динамічних характеристик та систем управління наведені в роботах Т. М. Башти, В. М. Прокоф'єва, І. Б. Матвєєва, І. А. Немировського, В. Б. Струтинського, Р. Д. Ісковича-Лотоцького, В. П. Бочарова, З. Я. Лур'є, В. І. Савуляка, Л. Г. Козлова та ін. Питання розробки вібраційних машин описані в роботах Р. І. Сіліна, А. І. Гордєєва, Р. Д. Ісковича-Лотоцького, П. С. Берника та ін.

Аналіз літературних джерел, присвячених поводженню з ТПВ, підтверджує необхідність їхнього сортування, ущільнення, зневоднення та подрібнення.

Відсутність проведених досліджень із визначення функціональної залежності між тиском пресування та відносною вологістю ТПВ вимагає проведення додаткових експериментальних досліджень.

Результати аналізу сучасного стану проблеми дали можливість сформулювати мету дослідження та задачі для досягнення поставленої мети.

У другому розділі визначено регресійні залежності впливу технологій поводження з ТПВ на техніко-економічні показники, які підтверджують необхідність сортування відходів перед їхньою переробкою. Для визначення оптимальних параметрів спецобладнання сміттєвоза встановлена залежність між тиском пресування ТПВ і процентною кількістю видавленої з них води. Цю за-

лежність доцільно використати при розробці математичної моделі процесу пресування ТПВ із видаленням вологи. Аналіз зібраних статистичних даних показав наявність вологи в ТПВ в межах 39...53%. Резервом підвищення ефективності сміттєвозів за критерієм зменшення витрат на паливе може бути зменшення маси ТПВ, що перевозяться, в 1,64...2,12 рази з одночасним збільшенням теплотворної здатності ТПВ під час утилізації в теплогенераторах, які можуть бути досягнуті шляхом їхнього зневоднення при суттєвому збільшенні тиску пресування, що має бути враховано під час проектних розрахунків. При цьому також суттєво скорочується приріст площі земель, відведених під полігони та сміттєзвалища.

На основі планування багатофакторного експерименту отримано регресійну залежність тиску пресування ТПВ від основних параметрів впливу

$$p_{\varepsilon} = 1,342\varepsilon^{9,17} \rho_0^{0,592} - 20,83\varepsilon^{9,17} + 0,006795\rho_0^{0,592} - 0,08158, \quad (1)$$

де p_{ε} – тиск пресування ТПВ, МПа; ε – відносна деформація ТПВ; ρ_0 – насипна густина ТПВ, кг/м³.

Адекватність залежності (1) перевірена за критерієм Фішера.

Отриману залежність (1) доцільно використати при розробці математичної моделі процесу пресування ТПВ та методики інженерного розрахунку параметрів устаткування для пресування.

На основі експериментальних досліджень, виконаних з використанням планування експерименту, процесів ущільнення підпресованих та частково зневоднених ТПВ отримано адекватні регресійні моделі їхніх компресійних характеристик із урахуванням вологості:

$$p_{\varepsilon} = 1,356 + 0,04669e^{6,094\varepsilon} - 1,162 \cdot 10^{13} e^{-0,07908\rho_1} - 1,267 \cdot 10^{-31} e^{1,658w_1} - 5,198 \cdot 10^{11} e^{6,094\varepsilon} e^{-0,07908\rho_1} \text{ [МПа];} \quad (2)$$

$$\rho_2 = 1964p_{\varepsilon} + 211,4\rho_1 + 31,65w_1 - 9,276p_{\varepsilon}\rho_1 + 81,15p_{\varepsilon}^2 - 0,06183\rho_1^2 - 67226 \text{ [кг/м}^3\text{];} \quad (3)$$

$$w_2 = 8,906p_{\varepsilon} - 0,2711\rho_1 + 4,074w_1 - 0,02712p_{\varepsilon}\rho_1 - 6,93 \cdot 10^{-3} p_{\varepsilon}w_1 + 0,1564p_{\varepsilon}^2 + 8,758 \cdot 10^{-4} \rho_1^2 - 53,06 \text{ [%]}, \quad (4)$$

де ρ_1 , ρ_2 – густина попередньо та остаточно ущільнених і зневоднених ТПВ, відповідно, кг/м³; w_1 , w_2 – вологість попередньо та остаточно ущільнених і зневоднених ТПВ, відповідно, %.

Отримані залежності (2 – 4) використовуються для математичного моделювання процесів ущільнення ТПВ у сміттєвозі, а його результати – для проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки ТПВ.

Для формулювання вимог до вихідних характеристик відходів (кінцева вологість та густина ТПВ, питома теплоємність та теплотворна здатність ТПВ, ступінь подрібнення ТПВ, кількість фракцій ТПВ після механізованого сортування) після їх збирання та первинної переробки визначено багатофакторні регресійні залежності взаємодії робочого тіла (ТПВ) з приводами виконавчих органів машин.

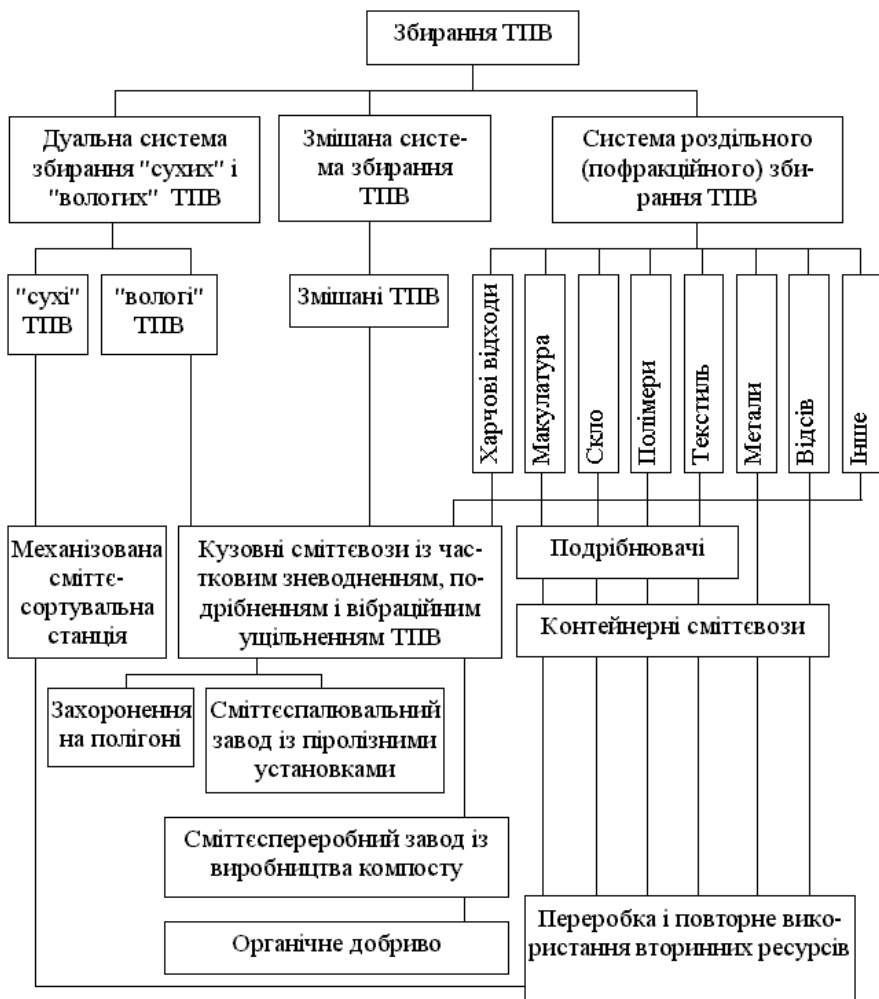


Рис. 2. Взаємозв'язок структури екологічних машин з прийнятими схемами збирання та поводження з ТПВ

тематичні моделі приводів сміттєвоза на таких технологічних операціях: завантаження ТПВ у сміттєвоз (повороту важеля маніпулятора, перевертання контейнера), вібраційного доущільнення ТПВ, вивантаження відходів, які дають змогу досліджувати динаміку вказаних гідроприводів для вибору їхніх оптимальних або раціональних основних конструктивних параметрів. Результати отримано для параметрів, що відповідають реальній серійній моделі сміттєвоза КО-436.

На рис. 3 наведено розрахункову схему приводу повороту важеля маніпулятора на технологічній операції завантаження ТПВ у сміттєвоз.

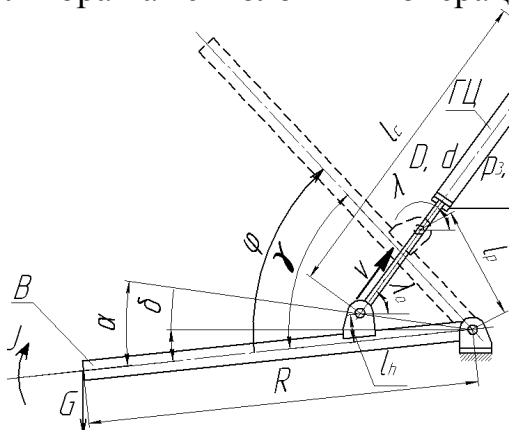


Рис. 3. Розрахункова схема роботи гідроприводу повороту важеля маніпулятора: В – важіль, ГЦ – гідроциліндр, Р – гідророзподільник, Н – гідронасос, ЗК – запобіжний клапан, Ф – фільтр, Б – бак із робочою рідиною

На схемі позначені основні геометричні, кінематичні та силові параметри: p_1, p_2, p_3, p_4 – тиски відповідно на виході Н на вході ГЦ на виході ГЦ та на вході Ф; W_1, W_2, W_3, W_4 – об'єми трубопроводів між Н та Р, Р та входом ГЦ, виходом ГЦ та Р, Р та Ф; Q_H – фактична подача Н; S_P – площа прохідного отвору Р; S_ϕ – площа поверхні фільтрувального елемента; D, d – діаметри поршня та штока; J – момент інерції рухомих елементів; G – вага рухомих елементів; R – радіус обертання рухомих елементів; l_p – відстань між центрами обертання В та штока; l_h – висота центру обертання штока над віссю важеля; l_c – відстань між центрами обертання штока та ГЦ; γ – кут між крайніми положеннями В; δ – кут між віссю важеля та горизонталлю; φ – кут повороту В; λ_0, λ – початкове та поточне значення кута нахилу осі ГЦ до горизонталі.

Для дослідження динаміки роботи гідроприводу повороту важеля маніпулятора на основі розрахункової схеми (рис. 3) розроблено відповідну математичну модель у вигляді системи диференціальних рівнянь з відповідними граничними умовами:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_H = \mu S_P \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho} + \sigma(p_1 - p_2) + KW_1 \dot{p}_1; \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu S_P \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho} = \dot{\varphi} l_p \pi (D^2 - d^2) / 2 + \sigma(p_2 - p_3) + KW_2 \dot{p}_2; \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\varphi} l_p \pi D^2 / 2 = \mu S_P \sqrt{2(p_3 - p_4)/\rho} + \sigma(p_3 - p_4) + KW_3 \dot{p}_3; \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu S_P \sqrt{2(p_3 - p_4)/\rho} = k_\phi S_\phi p_4 / \mu_d + \sigma p_4 + KW_4 \dot{p}_4; \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi [p_2 (D^2 - d^2) - p_3 D^2] l_p \sin \lambda / 4 = J \ddot{\varphi} + \beta l_p^2 \dot{\varphi} \sin \lambda + GR \cos(\varphi - \delta); \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \{p_1, p_2, p_3, p_4\} \leq p_{зк}; 0 \leq \varphi \leq \gamma, \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda = \arccos \left\{ \left[2l_p \sin^2(\varphi/2) + l_c [\cos(\lambda_0 + \arcsin(l_h/l_p)) - \delta] - 2 \sin(\varphi/2) \right] \right\} \div \\ \div [l_c - 2l_p \sin(\varphi/2)] \right\} - \varphi - \arcsin(l_h/l_p) + \delta. \end{array} \right. \quad (11)$$

Дана математична модель є суттєво нелінійною і тому досліджена за допомогою чисельного методу Рунге-Кутта-Фельдберга 4-го порядку зі змінним кроком інтегрування. Результати чисельного дослідження динаміки приводу повороту важеля маніпулятора за допомогою математичної моделі (5 – 11) показано на рис. 4.

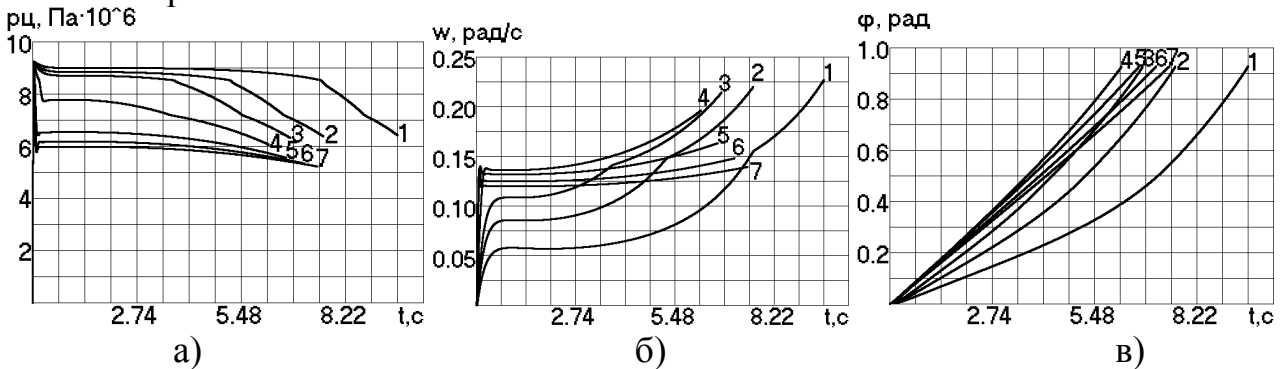


Рис. 4. Динамічні процеси приводу повороту важеля маніпулятора: а) зміна тиску в гідроциліндрі; б) кутова швидкість повороту важеля в процесі роботи; в) зміна кута повороту важеля маніпулятора

Цифрами 1-7 на рис. 4 позначено криві для $l_p=240$ мм, $l_p=250$ мм, $l_p=260$ мм, $l_p=300$ мм, $l_p=400$ мм, $l_p=460$ мм, $l_p=500$ мм, відповідно.

Визначено регресійну залежність тривалості повороту важеля маніпулятора від відстані між центрами обертання важеля та штока та початкового значення кута нахилу осі гідроциліндра до горизонталі, на основі якої визначено оптимальні значення вказаних параметрів $l_{p.onm}=249,9 \approx 250$ мм та $\lambda_{0.onm}=78^\circ$, для яких значення тривалості повороту важеля маніпулятора є мінімальним $t_{min}=5,22$ с, що використано для інтенсифікації процесу завантаження ТПВ у сміттевоз під час проведення проектних розрахунків нових конструкцій сміттевозів.

На основі дослідження нелінійної математичної моделі запропоновано лінеаризовану математичну модель приводу повороту важеля маніпулятора:

$$\begin{cases} Q_H = 2\omega_p S_{ц1} + \sigma p_{12} + KW_{12} \dot{p}_{12}; & (12) \\ p_{12} S_{ц1} l_p \sin \lambda_{cp} = J\dot{\omega} + GR \cos(\omega_0 t) \cos \delta + GR \sin(\omega_0 t) \sin \delta, & (13) \end{cases}$$

де $p_1 \approx p_2 \approx p_{12}$; $W_{12} = W_1 + W_2$; $\omega = \dot{\varphi} \neq const$ – миттєве значення кутової швидкості повороту важеля; $\omega_0 \approx Q_H / (2l_p S_{ц1}) = const$ – усереднене в першому наближенні значення кутової швидкості повороту важеля.

Систему диференціальних рівнянь аналітично розв'язано за допомогою перетворень за Лапласом і отримано наближені аналітичні залежності основних параметрів приводу:

$$p(t) \approx \frac{\sqrt{2}\sigma GR \cos \delta}{l_p S_{ц1} \sin \lambda_{cp}} \sin\left(\frac{Q_H}{2l_p S_{ц1}} t + \frac{\pi}{4}\right) + \frac{Q_H}{l_p S_{ц1}} \sqrt{\frac{J}{2KW_{12} \sin \lambda_{cp}}} e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}} t} \sin\left(l_p S_{ц1} \sqrt{\frac{2 \sin \lambda_{cp}}{KW_{12} J}} t\right); \quad (14)$$

$$\omega(t) \approx \frac{Q_H}{2l_p S_{ц1}} - \frac{\sigma GR \cos \delta}{\sqrt{2} l_p^2 S_{ц1}^2 \sin \lambda_{cp}} \sin\left(\frac{Q_H}{2l_p S_{ц1}} t + \frac{\pi}{4}\right) - \left(\frac{Q_H}{2l_p S_{ц1}} - \frac{\sigma GR \cos \delta}{2l_p^2 S_{ц1}^2 \sin \lambda_{cp}}\right) \times e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}} t} \cos\left(l_p S_{ц1} \sqrt{\frac{2 \sin \lambda_{cp}}{KW_{12} J}} t\right) - \frac{GR \cos \delta}{l_p S_{ц1}} e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}} t} \sin\left(l_p S_{ц1} \sqrt{\frac{2 \sin \lambda_{cp}}{KW_{12} J}} t\right); \quad (15)$$

$$\varphi(t) \approx \frac{Q_H}{2l_p S_{ц1}} t + \frac{\sqrt{2}\sigma GR \cos \delta}{Q_H l_p S_{ц1} \sin \lambda_{cp}} \left[\cos\left(\frac{Q_H}{2l_p S_{ц1}} t + \frac{\pi}{4}\right) - \frac{\sqrt{2}}{2} \right]. \quad (16)$$

Порівняння результатів, отриманих з використанням нелінійної та лінеаризованої математичних моделей гідропроводу повороту важеля маніпулятора на технологічній операції завантаження ТПВ у сміттевоз, а також за допомогою рівнянь, отриманих в результаті аналітичного розв'язання лінеаризованої моделі показано на рис. 5.

При порівнянні тривалості повороту важеля маніпулятора, отриманих з використанням нелінійної математичної моделі та рівняння (16), отриманого в результаті аналітичного розв'язання лінеаризованої математичної моделі гідропроводу повороту важеля маніпулятора на технологічній операції завантаження

ТПВ у сміттевоз похибка склала близько 13%, що є прийнятним для виконання попередніх проектних розрахунків.

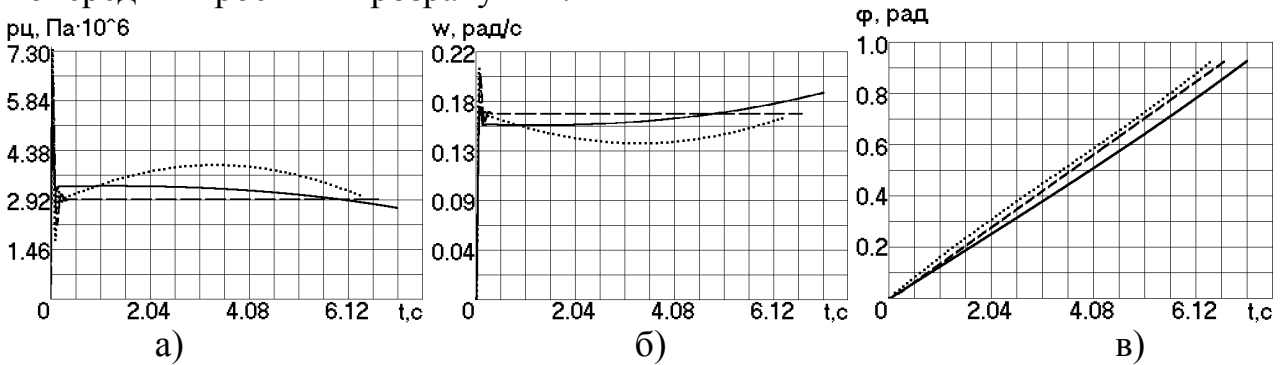


Рис. 5. Порівняння результатів, отриманих з використанням нелінійної (—) та лінеаризованої (---) математичних моделей гідроприводу повороту важеля маніпулятора на технологічній операції завантаження ТПВ у сміттевоз, а також за допомогою рівнянь, отриманих в результаті аналітичного її розв'язання (···): а) зміна тиску в ГЦ; б) зміна кутової швидкості; в) кут повороту

Використовуючи рівняння (16), отримано таку наближену залежність тривалості повороту важеля маніпулятора на технологічній операції завантаження ТПВ у сміттевоз від основних параметрів його приводу

$$t \approx \frac{2l_p S_{u1}}{Q_n} \left[\varphi - \arccos \left(\frac{Q_n^2 \sin \lambda_{cp}}{2\sqrt{2}\sigma GR \cos \delta} \varphi \right) + \frac{\pi}{2} \right]. \quad (17)$$

За допомогою залежності (17) в середовищі MathCAD визначено оптимальне значення подачі гідронасоса $Q_{n.onm} = 53,9$ л/хв, для якої тривалість повороту важеля буде мінімальною $t_{min} = 3,82$ с, яке доцільно використовувати для інтенсифікації процесу завантаження ТПВ у сміттевоз з метою зменшення витрат пального.

За попередніми розрахунками під час повороту важеля маніпулятора на технологічній операції завантаження ТПВ у сміттевоз річна економія пального для комунального господарства в розрахунку на один сміттевоз складає 127 л.

Розроблені та досліджені аналогічні розрахункові схеми та математичні моделі для приводів сміттевозів на інших технологічних операціях таких як перевертання контейнера, вібраційне ущільнення та вивантаження ТПВ із кузова сміттевоза.

Виявлено наближену залежність тривалості перевертання контейнера від основних параметрів гідроприводу, на основі якої визначено оптимальні значення відстані між центрами обертання захвату та штока $l_{p.onm} = 38$ мм та кута між осями важеля та плеча гідроциліндра $\alpha_{onm} = 11^\circ$, для яких тривалість перевертання контейнера буде мінімальною $t_{min} = 1,468$ с, яке доцільно використовувати для інтенсифікації процесу завантаження ТПВ з метою зменшення витрат пального на 51 л/рік в розрахунку на один сміттевоз.

У результаті дослідження динаміки вібраційного приводу доущільнення ТПВ визначено регресійні моделі амплітуди A , частоти коливань f та вібраційної потужності P від основних параметрів приводу пресування ТПВ:

$$A = -3,984 + 0,003507 \rho + 0,04431 S_{op} / S_1 + 9,92 \cdot 10^{-5} p_{кл1} S_{ц1} / S_{II} - 0,6244 Q_H^2 / S_{ц1}^2 - 7,27 \cdot 10^{-6} \rho^2 - 6,32 \cdot 10^{-10} p_{кл1}^2 S_{ц1}^2 / S_{II}^2; \quad (18)$$

$$f = -316,17 + 802,6 Q_H / S_{ц1} + 1,82 \rho - 416,4 S_{op} / S_1 + 3,542 \cdot 10^{-3} p_{кл1} S_{ц1} \div S_{II} - 2253 Q_H^2 / S_{ц1}^2 - 0,00463 \rho^2 + 1567 S_{op}^2 / S_1^2 - 2,13 \cdot 10^{-8} p_{кл1}^2 S_{ц1}^2 / S_{II}^2; \quad (19)$$

$$P = 8\pi^3 m_p A^2 f^3, \quad (20)$$

де S_{op} – площа відкриття дроселя генератора імпульсів тиску (ГІТ), м²; S_1 – площа поперечного перерізу вхідного отвору ГІТ, м²; $p_{кл1}$ – тиск відкриття ГІТ, Па; $S_{ц1}$ – ефективна площа напірної порожнини гідроциліндра, м²; S_{II} – ефективна площа плити пресування, м²; m_p – приведена маса рухомих частин, кг.

На рис. 6 наведено результати досліджень впливу співвідношення внутрішнього перекриття до додатного перекриття запірнього елемента h_g/h_n на частоту коливань.

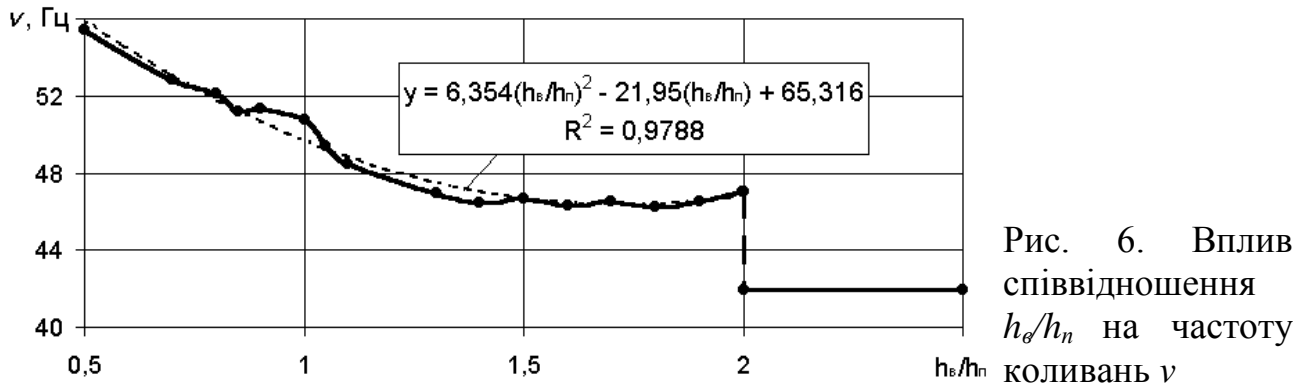


Рис. 6. Вплив співвідношення h_g/h_n на частоту коливань ν

Виявлено діапазон раціональних значень співвідношення $h_g/h_n = 0,5 \dots 1$, що забезпечує суттєве збільшення частоти коливань (на 32,1%...20,9%), при цьому оптимальним співвідношенням є $h_g/h_n = 0,5$, яке доцільно використовувати для інтенсифікації процесів вібраційного ущільнення ТПВ.

Отримано регресійні залежності показників якості перехідних процесів під час пуску гідроприводу вивантаження ТПВ:

$$t_{pez} = 1/(0,3889 D_1 - 49,96); \quad (21)$$

$$\sigma = 229 - 1,067 D_1, \quad (22)$$

де t_{pez} – час регулювання, с; D_1 – діаметр 1-ї ступені телескопічного гідроциліндра, мм; σ – відносне перерегулювання, %.

Отримані залежності (21 – 22) дозволили встановити, що для забезпечення якісної роботи гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза діаметр штока першої ступені телескопічного гідроциліндра рекомендується виконувати більшим ніж $D_1 = 188$ мм при використанні композитних напрямних із стабільним коефіцієнтом тертя.

Встановлено, що ТПВ під час транспортування до місця їх утилізації піддаються тривалій дії вібрації внаслідок нерівностей дорожнього покриття, що може спричинити виділення рідкої фракції (фільтрату) із вологих відходів і підтверджує необхідність зневоднення ТПВ під час їх завантаження.

У четвертому розділі представлено аналіз та дослідження вперше створених конструктивних схем гідроприводів зневоднення ТПВ (Пат. України №90924, №109036, рис. 7) при їхньому попередньому ущільненні під час завантаження в кузов сміттєвоза, які забезпечують підвищення ефективності сміттєвоза за рахунок зменшення об'єму та маси ТПВ, що підлягають перевезенню, безпосередньо в місцях збору, а також здійснити їхню попередню переробку шляхом частково зневоднення та подрібнення.

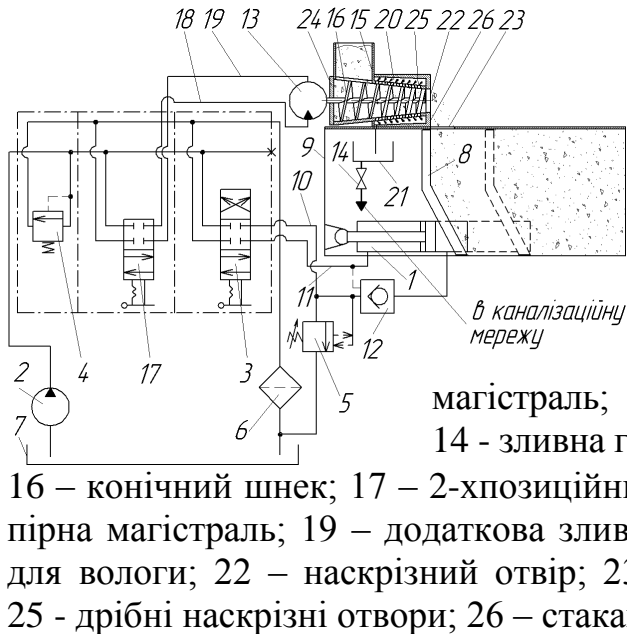


Рис. 7. Схема приводу зневоднення конічним шнеком та ущільнення ТПВ у сміттєвозі: 1 – гідроциліндр; 2 – гідронасос; 3 – 3-хпозиційний гідророзподільник; 4 – запобіжний клапан; 5 – генератор імпульсів тиску; 6 – фільтр; 7 – маслобак; 8 – ущільнююча плита; 9 – кузов сміттєвоза; 10 – напірна магістраль; 11 – зливна магістраль; 12 – гідрозамок; 13 – гідромотор; 14 – зливна горловина; 15 – завантажувальний бункер; 16 – конічний шнек; 17 – 2-хпозиційний гідророзподільник; 18 – додаткова напірна магістраль; 19 – додаткова зливна магістраль; 20 – порожнина; 21 – бак для вологи; 22 – наскрізний отвір; 23 – завантажувальне вікно; 24 – корпус; 25 – дрібні наскрізні отвори; 26 – стакан

Проведено експериментальні дослідження процесів зневоднення як змішаних ТПВ, так і їхньої вологої фракції шнековим пресом за допомогою установки, зображеної на рис. 8.

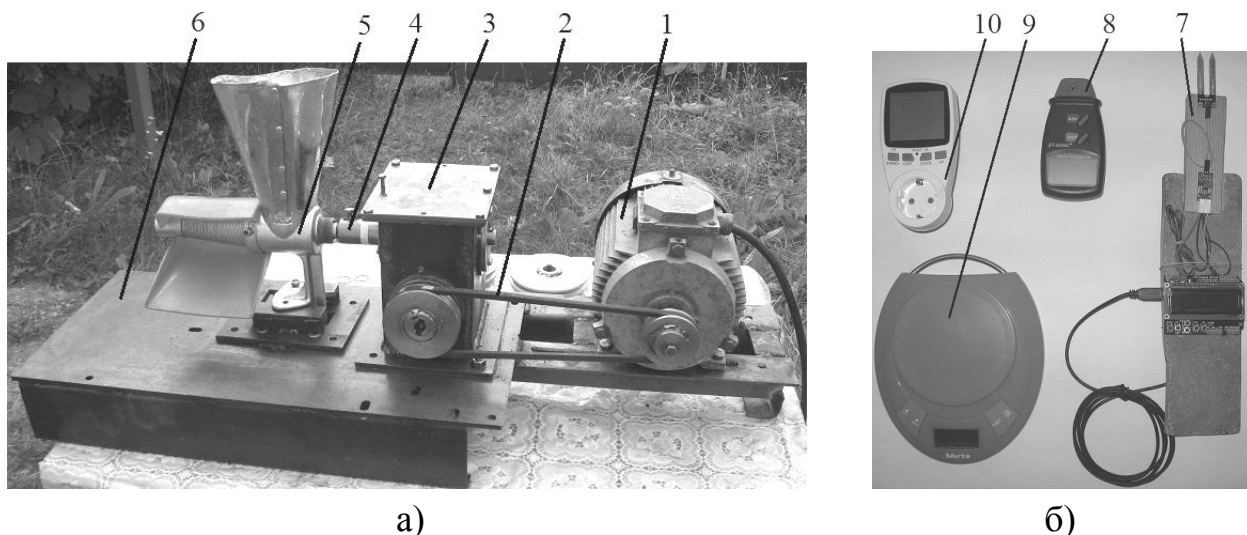


Рис. 8. Експериментальна установка зневоднення ТПВ шнековим пресом: а) загальний вигляд; б) контрольно-вимірювальні прилади; 1 – електродвигун, 2 – клинопасова передача, 3 – черв'ячний редуктор, 4 – постійна муфта, 5 – шнековий прес, 6 – рама, 7 – вимірювач вологості ТПВ, 8 – тахометр цифровий, 9 – ваги цифрові, 10 – енергометр

Технічні характеристики експериментальної установки: електродвигун асинхронний трьохфазний загальнопромислового призначення HELZ AIP 90 L2, потужність 3 кВт (в однофазному режимі – 1,73 кВт), частота обертання 2840 об/хв; клинопасова передача, передаточне відношення – 0,715...2,15, вузькоклиновий пас перерізу SPZ(Y0) довжиною 833 мм; черв'ячний редуктор, передаточне відношення – 40; вимірювач вологості ТПВ (Пат. України №134336) на основі мікроконтролера ATmega328, детально описаний в роботі [7], діапазон та точність вимірювання вологості 0,00...100%, $\pm 0,5\%$; тахометр цифровий DT-2234C⁺, діапазон та точність вимірювання частоти обертання 2,5...99999 об/хв, $\pm(0,05\% + 0,1 \text{ об/хв})$; ваги цифрові Mirta SKE3250, діапазон та точність вимірювання маси 0...5000 г, ± 1 г; енергометр Lemans LM669, діапазон та точність вимірювання електричної потужності навантаження 0,0...3680 Вт, $\pm 1,5\%$, діапазон та точність вимірювання споживання електроенергії 0,000...9999 кВт·год, $\pm 1,5\%$.

Установка дозволяє проводити дослідження при зміні таких параметрів: початкових вологості та густини ТПВ – зміною їхнього морфологічного складу; частоти обертання шнека – зміною передаточного відношення клинопасової передачі від 0,715 до 2,15 набором шківів, діаметрами 63, 67, 89, 114, 134 мм; радіального зазору між шнеком та корпусом – встановленням між торцем хвостовика шнека і корпусом шнекового преса металевих кілець товщиною 1,5 мм в кількості 1...5 одиниць (1 кільце відповідає зазору 0,864 мм, 5 кілець – 0 мм); діаметра осердя шнека на останньому витку – напаяванням металевої смужки на осердя шнека на останньому витку з подальшою механічною обробкою.

На основі експериментальних досліджень, виконаних з використанням планування експерименту, процесів зневоднення ТПВ шнековим пресом отримано їхні адекватні квадратичні регресійні моделі:

$$w = 772,5 + 5,626w_0 - 1,147\rho_0 - 1,517n + 1935\Delta_{uu} / D_{\min} - 1950d_{\min} / D_{\min} - 0,008773w_0n + 44,12w_0\Delta_{uu} / D_{\min} - 10,57w_0d_{\min} / D_{\min} + 0,001673\rho_0n - 4,644\rho_0\Delta_{uu} / D_{\min} + 1,32\rho_0d_{\min} / D_{\min} + 2,219nd_{\min} / D_{\min} - 4198(\Delta_{uu} / D_{\min}) \times (d_{\min} / D_{\min}) + 0,01839w_0^2 + 2,346 \cdot 10^{-4} \rho_0^2 + 1417(d_{\min} / D_{\min})^2 [\%]; \quad (23)$$

$$\rho = 10,91\rho_0 - 94,31w_0 - 14,43n + 11944\Delta_{uu} / D_{\min} + 15221d_{\min} / D_{\min} + 0,279w_0 \times n + 69,59w_0d_{\min} / D_{\min} - 0,02256\rho_0n - 30,7\rho_0\Delta_{uu} / D_{\min} - 15,75\rho_0d_{\min} / D_{\min} + 0,1863w_0^2 + 0,003849\rho_0^2 + 0,04267n^2 - 8741(d_{\min} / D_{\min})^2 - 4210 [\text{кг/м}^3]; \quad (24)$$

$$P_{\max} = 12231 + 109,8w_0 - 0,7676\rho_0 + 27,45n + 91602\Delta_{uu} / D_{\min} - 41610d_{\min} / D_{\min} - 0,2475w_0n + 558,6w_0\Delta_{uu} / D_{\min} - 260,9w_0d_{\min} / D_{\min} - 7,713\rho_0d_{\min} / D_{\min} - 165174(\Delta_{uu} / D_{\min})(d_{\min} / D_{\min}) + 0,7082w_0^2 + 0,009383\rho_0^2 - 0,0726n^2 + 40815(d_{\min} / D_{\min})^2 [\text{Вт}]; \quad (25)$$

$$C = 1504 - 15,92w_0 + 0,3214\rho_0 - 1,069n - 2061\Delta_{uu} / D_{\min} - 1947d_{\min} / D_{\min} + w_0 \times 9,118 \cdot 10^{-4} \rho_0 + 0,002142w_0n + 18,12w_0\Delta_{uu} / D_{\min} - 2,115w_0d_{\min} / D_{\min} + 4,392 \times$$

$$\begin{aligned} & \times 10^{-4} \rho_0 n - 2,005 \rho_0 \Delta_{ur} / D_{\min} + 0,3361 \rho_0 d_{\min} / D_{\min} + 0,09031 w_0^2 - 7,923 \cdot 10^{-4} \times \\ & \times \rho_0^2 + 0,008241 n^2 + 104172 (\Delta_{ur} / D_{\min})^2 + 1318 (d_{\min} / D_{\min})^2 \text{ [кВт} \cdot \text{год/т]}, \end{aligned} \quad (26)$$

де w – кінцева вологість ТПВ, %; ρ – кінцева густина ТПВ, кг/м³; P_{\max} – максимальна потужність двигуна приводу зневоднення ТПВ, Вт; ϵ – енергоємність зневоднення ТПВ, кВт·год/т; w_0 – початкова вологість ТПВ, %; ρ_0 – початкова густина ТПВ, кг/м³; n – частота обертання шнека, об/хв; Δ_{ur} – радіальний зазор між шнеком та корпусом, мм; d_{\min} , D_{\min} – діаметр осердя та зовнішній діаметр шнека на останньому витку, відповідно, мм.

На основі залежності (26) методом квадратичної оптимізації проведено пошук оптимальних параметрів енергоємності зневоднення. При цьому мінімальна енергоємність зневоднення змішаних ТПВ з $w_0 = 39...53\%$ та $\rho_0 = 190...230$ кг/м³ складає $\epsilon_{\min} = 172,3...306,3$ кВт·год/т, а оптимальні параметри технологічного процесу: $n_{\text{opt}} = 51,84...54,73$ об/хв; $(\Delta_{ur}/D_{\min})_{\text{opt}} = (7,10...8,71) \cdot 10^{-3}$; $(d_{\min}/D_{\min})_{\text{opt}} = 0,710...0,765$, а для вологої фракції ТПВ з $w_0 = 60...92\%$ та $\rho_0 = 370...600$ кг/м³ – $\epsilon_{\min} = 30,7...158,5$ кВт·год/т для $n_{\text{opt}} = 36,91...47,20$ об/хв; $(\Delta_{ur}/D_{\min})_{\text{opt}} = (5,45...10,45) \cdot 10^{-3}$; $(d_{\min}/D_{\min})_{\text{opt}} = 0,740...0,757$.

На рис. 9 показано поверхні відгуків цільової функції – енергоємності ϵ зневоднення ТПВ в площинах параметрів оптимізації, які дозволяють наглядно проілюструвати вказану залежність.

Як видно із результатів оптимізації та рис. 9, енергоємність зневоднення вологої фракції ТПВ в 1,93...5,61 рази менша ніж для змішаних ТПВ, що підтверджує необхідність їхнього диференціального (роздільного) збирання та сортування.

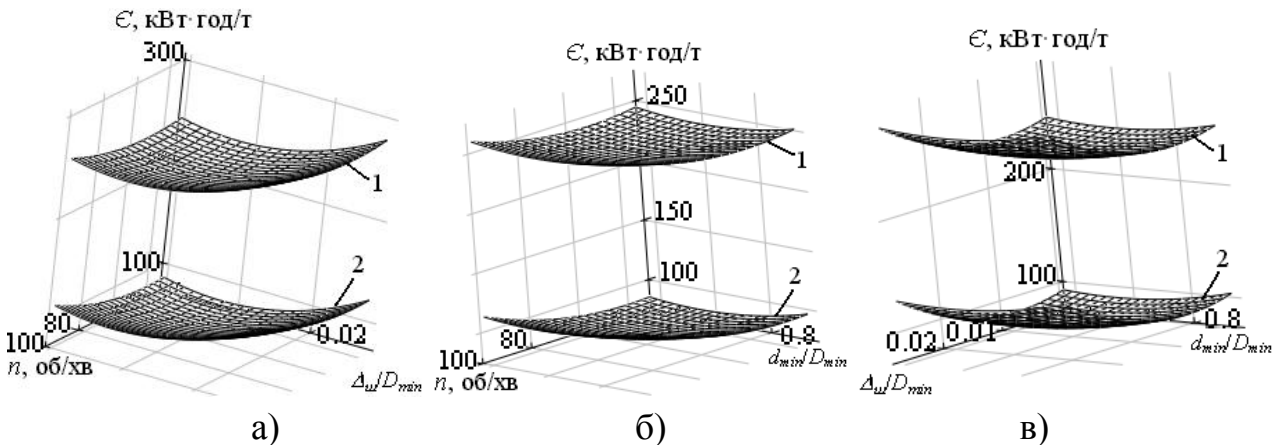


Рис. 9. Поверхні відгуків цільової функції – енергоємності зневоднення ϵ змішаних ТПВ (1) та вологої фракції ТПВ (2) в площинах параметрів оптимізації: а) $\epsilon = f(n, \Delta_{ur} / D_{\min})$; б) $\epsilon = f(n, d_{\min} / D_{\min})$; в) $\epsilon = f(\Delta_{ur} / D_{\min}, d_{\min} / D_{\min})$

На основі експериментальних досліджень, виконаних з використанням планування експерименту, процесу подрібнення ТПВ під час зневоднення та попереднього ущільнення шнековим пресом отримано адекватні квадратичні регресійні моделі процесу подрібнення:

$$P = 11,64d_{cp} + 0,3621\rho_0 - 184,9d_{min}/D_{min} - 0,03129d_{cp}\rho_0 + 13,44d_{cp}d_{min}/D_{min} - 0,6247d_{cp}^2 + 32,47(d_{min}/D_{min})^2 [\%]; \quad (27)$$

$$E_{op} = 2,654\rho_0 - 462,9d_{min}/D_{min} - 452,5(d_{min}/D_{min})^2 [\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{т}]; \quad (28)$$

$$M = \sum_{i=0}^n d_{cp,i} [11,64d_{cp,i} + 0,3621\rho_0 - 184,9d_{min}/D_{min} - 0,03129d_{cp,i}\rho_0 + 13,44d_{cp,i}d_{min}/D_{min} - 0,6247d_{cp,i}^2 + 32,47(d_{min}/D_{min})^2] / 100 [\text{мм}], \quad (29)$$

де P – залишок на ситі, %; d_{cp} – середній розмір частинок кожного залишку між двома суміжними ситами, мм; E_{op} – енергоємність подрібнення ТПВ, кВт·год/т; M – модуль помелу, мм.

Експериментальні дослідження процесів подрібнення ТПВ під час зневоднення та попереднього ущільнення шнековим пресом проведено за допомогою установки, зображеної на рис. 8.

Отримані залежності (27 – 29) використані для розробки методики інженерних розрахунків параметрів приводів робочих органів машин та механізмів для подрібнення ТПВ під час завантаження у сміттєвоз. При цьому модуль помелу склав $M = 11,11$ мм при енергоємності подрібнення $E_{op} = 13,06$ кВт·год/т.

На рис. 10 показано поверхні відгуків цільових функцій – залишку на ситі P та енергоємності подрібнення ТПВ E_{op} в площинах параметрів впливу, що дозволяють наглядно проілюструвати вказані залежності.

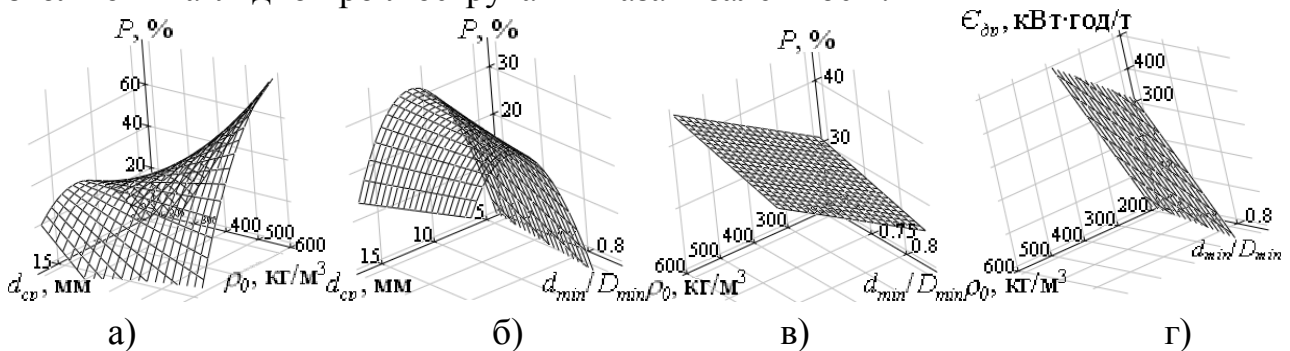


Рис. 10. Поверхні відгуків цільових функцій – залишку на ситі P та енергоємності подрібнення E_{op} ТПВ в площинах параметрів впливу: а) $P = f(d_{cp}, \rho_0)$; б) $P = f(d_{cp}, d_{min}/D_{min})$; в) $P = f(\rho_0, d_{min}/D_{min})$; г) $E_{op} = f(\rho_0, d_{min}/D_{min})$

На рис. 11 представлена розрахункова схема приводу зневоднення ТПВ у сміттєвозі.

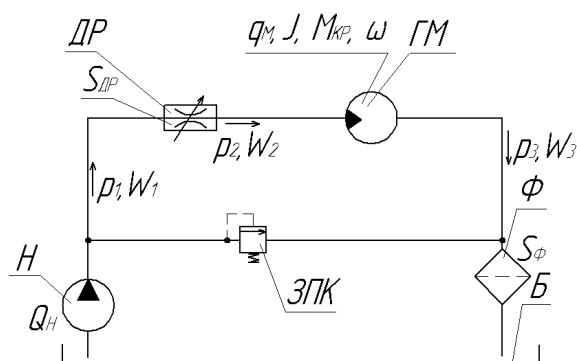


Рис. 11. Розрахункова схема приводу зневоднення ТПВ у сміттєвозі: ГМ – гідромотор, ДР – дросель, Н – гідронасос, ЗПК – запобіжно-переливний клапан, Ф – фільтр, Б – бак із РР

Робота приводу зневоднення ТПВ у сміттєвозі може бути описана відповідною системою диференціальних (30 – 33) з відповідними граничними умовами (34) та алгебраїчного рівняння (35):

$$\begin{cases} Q_H = \mu S_{DP} \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho} + \sigma(p_1 - p_2) + KW_1 \dot{p}_1; & (30) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu S_{DP} \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho} = q_{MX} \omega + \sigma(p_2 - p_3) + KW_2 \dot{p}_2; & (31) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX} \omega = k_\phi S_\phi p_3 / \mu_D + \sigma p_3 + KW_3 \dot{p}_3; & (32) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX} (p_2 - p_3) = \{L_{uu} \rho_0 \bar{T}^2 (\bar{D}^2 - \bar{d}^2) / (16\pi) + \pi \rho_{uu} [n_\phi h (\bar{D} - \bar{d}) (\bar{D}^2 - \bar{d}^2) \times \\ \times \sqrt{\pi^2 (\bar{D} + \bar{d})^2 + 4\bar{T}^2} + L_c \bar{d}^4] / 32\} \dot{\omega} + \beta \omega + \alpha q_{MX} (p_2 + p_3) + 30[12231 + \\ + 109,8w_0 - 0,7676\rho_0 + 27,45n + 91602\Delta_{uu} / D_{\min} - 41610d_{\min} / D_{\min} - \\ - 0,2475w_0 n + 558,6w_0 \Delta_{uu} / D_{\min} - 260,9w_0 d_{\min} / D_{\min} - 7,713 \rho_0 d_{\min} / D_{\min} - \\ - 165174(\Delta_{uu} / D_{\min})(d_{\min} / D_{\min}) + 0,7082 w_0^2 + 0,009383\rho_0^2 - 0,0726 n^2 + \\ + 40815 (d_{\min} / D_{\min})^2] / (\pi m); & (33) \\ 0 \leq \{p_1, p_2, p_3\} \leq p_{зк}; 0 \leq \omega; & (34) \end{cases}$$

$$q_{MX} = q_M / (2\pi), \quad (35)$$

де p_1, p_2, p_3 – тиски відповідно на виході насоса, на вході ГМ, на виході ГМ, Па; W_1, W_2, W_3 – об'єми трубопроводів між Н та ДР, ДР та ГМ, ГМ та Ф, м³; Q_H – фактична подача Н, м³/с; S_{DP} – площа прохідного отвору ДР, м²; S_ϕ – площа поверхні фільтруючого елемента, м²; q_M – робочий об'єм ГМ, м³; J – момент інерції на валу ГМ, кг·м²; M_{KP} – крутний момент технологічного навантаження на валу ГМ, Н·м; ω – кутова швидкість валу ГМ, рад/с; L_{uu} – довжина шнека, м; \bar{T} – усереднений крок витків конічного шнека, м; \bar{D} – усереднений зовнішній діаметр шнека, м; \bar{d} – усереднений діаметр осердя шнека, м; ρ_{uu} – густина матеріалу шнека, кг/м³; n_ϕ – кількість витків шнека; h – товщина витка, м; L_c – довжина осердя шнека, м; q_{MX} – радіальний робочий об'єм гідромотора, м³.

Зміна основних параметрів приводу зневоднення ТПВ під час пуску показана на рис. 12, де цифрами 1 – 3 позначено криві, які відповідають таким значенням площі відкриття регульованого дроселя S_{DP} : 25, 30, 35 мм², відповідно.

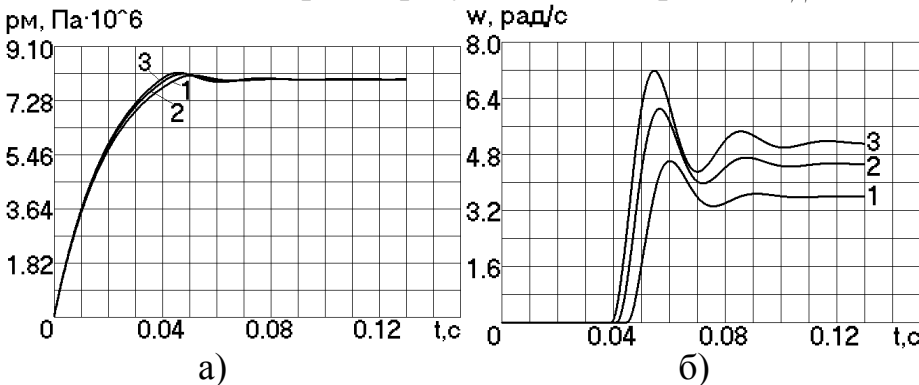


Рис. 12. Зміна параметрів приводу зневоднення ТПВ під час пуску: а) тиску на вході гідромотора; б) кутової швидкості гідромотора

На основі дослідження нелінійної математичної моделі запропоновано лінеаризовану математичну модель приводу зневоднення ТПВ:

$$\begin{cases} Q_H = q_{MX} \omega + \sigma p_{12} + KW_{12} \dot{p}_{12}; & (36) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX} p_{12} = J \dot{\omega} + M_{KP}, & (37) \end{cases}$$

де $M_{KP} = 30[12231 + 109,8w_0 - 0,7676\rho_0 + 27,45n + 91602\Delta_{uu} / D_{min} - 41610d_{min} \div \div D_{min} - 0,2475w_0n + 558,6w_0\Delta_{uu} / D_{min} - 260,9w_0d_{min} / D_{min} - 7,713\rho_0d_{min} / D_{min} - 165174(\Delta_{uu} / D_{min})(d_{min} / D_{min}) + 0,7082w_0^2 + 0,009383\rho_0^2 - 0,0726n^2 + 40815 \times (d_{min} / D_{min})^2] / (\pi n)$ – крутний момент на валу гідромотора, Н·м.

Систему диференціальних рівнянь вдалося аналітично розв'язати за допомогою перетворень за Лапласом і отримати наближені аналітичні залежності основних параметрів приводу:

$$p_{12}(t) \approx [1 - e^{-\sigma/(2KW_{12})} \cos(q_{MX}t / \sqrt{KW_{12}J})] M_{KP} / q_{MX}; \quad (38)$$

$$\omega(t) \approx (Q_H / q_{MX} - M_{KP}\sigma / q_{MX}^2) [1 - e^{-\sigma/(2KW_{12})} \cos(q_{MX}t / \sqrt{KW_{12}J})]. \quad (39)$$

Порівняння результатів, отриманих з використанням нелінійної та лінеаризованої математичних моделей зневоднення ТПВ показано на рис. 13.

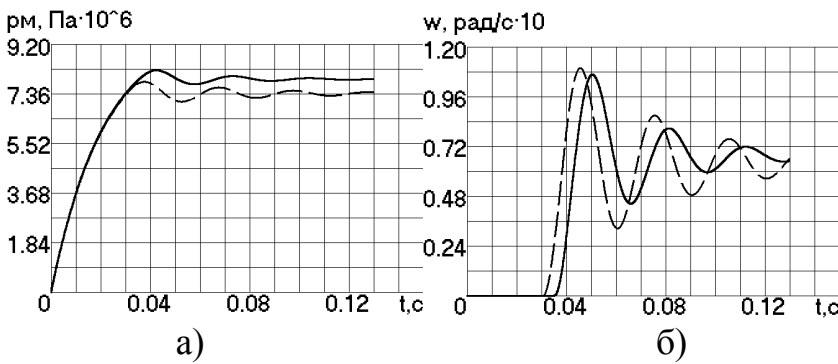


Рис. 13. Порівняння результатів, отриманих з використанням нелінійної (—) та лінеаризованої (---) математичних моделей приводу зневоднення ТПВ: а) зміна тиску на вході гідромотора, б) зміна кутової швидкості гідромотора

При цьому похибка, зокрема для кутової швидкості гідромотора, склала 7,06%, що є прийнятним для виконання попередніх проектних розрахунків основних параметрів приводу.

Аналізуючи рівняння (38) та (39), знайдено вирази для визначення для номінальних значень тиску на вході в гідромотора та кутової швидкості гідромотора, які використано під час розробки методики проектного розрахунку параметрів обладнання для зневоднення ТПВ у сміттєвозі, блок-схема алгоритму якого показана на рис. 14.

Запропонована методика проектного розрахунку параметрів обладнання для зневоднення ТПВ у сміттєвозі дозволила отримати основні його геометричні, силові та швидкісні параметри, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні параметри обладнання для зневоднення ТПВ у сміттєвозі

Параметри процесу зневоднення									
P_H , кВт	n_{onm} , об/хв	$\left(\frac{\Delta_{uu}}{D_{min}}\right)_{onm}$		$\left(\frac{d_{min}}{D_{min}}\right)_{onm}$	ρ_1 , кг/м ³	D_{min} , мм	k_M	Δ_{uu} , мм	d_{min} , мм
19,7	52,75	$8,105 \cdot 10^{-3}$		0,7462	535,6	89	2,863	0,7193	66
D_{max} , мм	d_{max} , мм	T_{max} , мм	T_{min} , мм	h , мм	L_{uu} , мм	L_c , мм	Q , кг/с	ϵ_{zn} , кВт·год/т	w_1 , %
155	80	109	31	11	601	887	0,27	240,8	20,87

Продовження таблиці 1

Параметри процесу подрібнення					Параметри приводу обладнання для зневоднення ТПВ				
$P_0, \%$	$P_8, \%$	$P_{12}, \%$	$M, \text{мм}$	$\epsilon_{op}, \text{кВт} \cdot \text{год}/\text{т}$	$M_{кр}, \text{Нм}$	$S_{ДР}, \text{мм}^2$	$q_M, \text{см}^3$	$\Delta p_M, \text{МПа}$	$Q_M, \text{л}/\text{хв}$
11,29	45,64	43,56	11,11	13,06	1769	39,85	1250	8,894	70,14

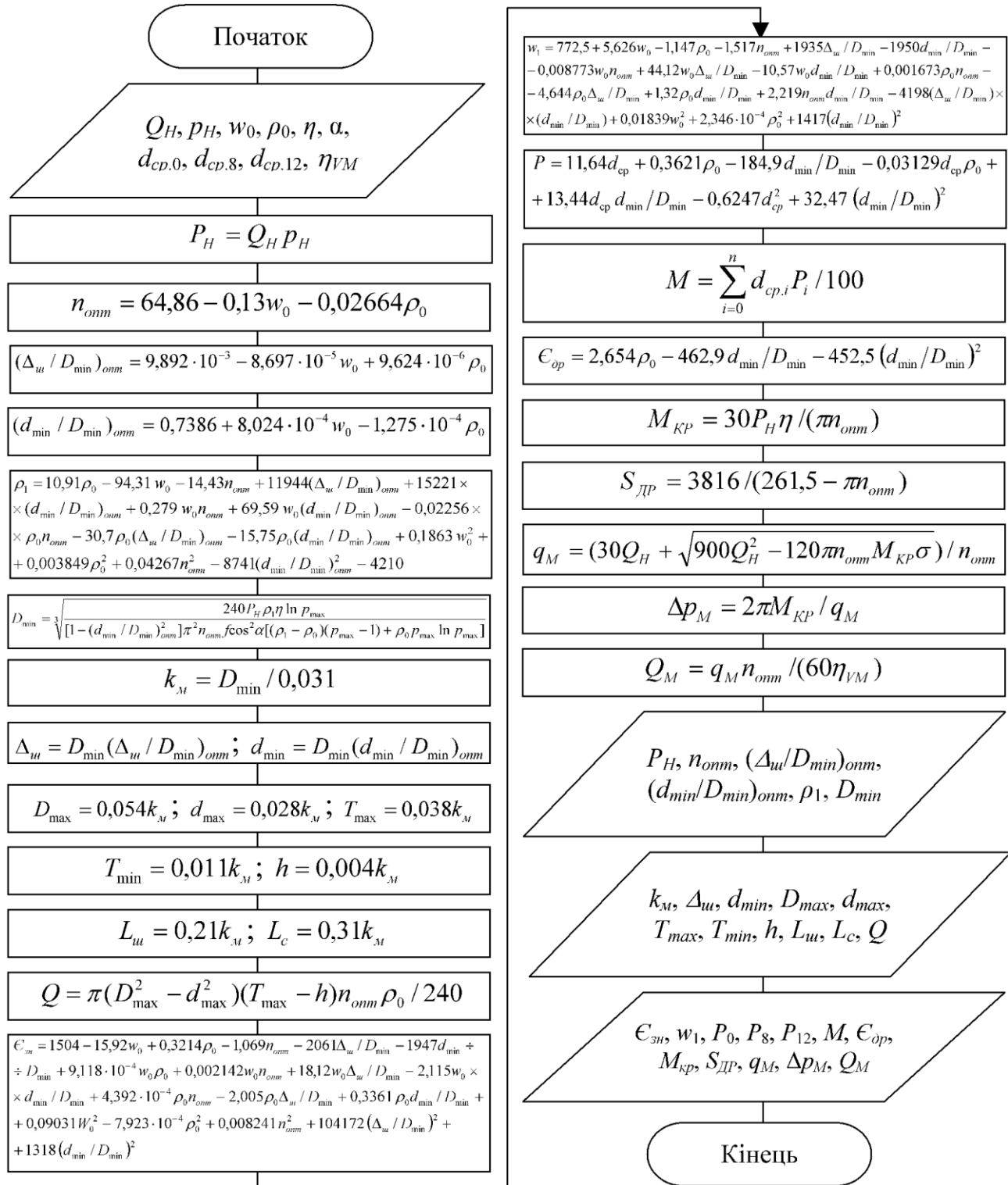


Рис. 14. Блок-схема алгоритму проектного розрахунку параметрів обладнання для зневоднення ТПВ у сміттєвозі

Знайшла подальший розвиток конструкція пристрою для сортування ТПВ (Пат. України №92719), що дозволяє здійснювати сортування не лише на пружні та непружні складові, а і на окремі фракції пружної складової у багатосекційний контейнер для подальшої пофракційної переробки (рис. 15).

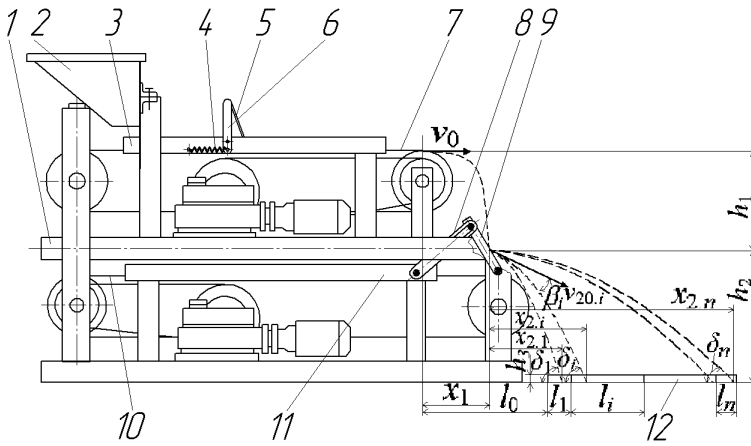


Рис. 15. Схема удосконаленого пристрою для сортування ТПВ: 1 – корпус; 2 – завантажувальний бункер; 3, 11 – борти; 4 – пружина розтягу; 5 – похила металева планка; 6 – П-подібна рама; 7 – верхній транспортер; 8 – стійки; 9 – похила металева плита; 10 – нижній транспортер; 12 – багатосекційний контейнер

Запропоновано аналітичні залежності основних кінематичних та геометричних параметрів удосконаленого пристрою для сортування пружних складових ТПВ у багатосекційний контейнер:

$$x_1 = v_0 \sqrt{2h_1/g}; \quad (40)$$

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2gh_1}; \quad (41)$$

$$\alpha = \arctg[(\sqrt{2gh_1} - v_0 \operatorname{tg} \gamma) / (v_0 + \sqrt{2gh_1} \operatorname{tg} \gamma)]; \quad (42)$$

$$\beta = \arctg \frac{k(\sqrt{2gh_1} - v_0 \operatorname{tg} \gamma)}{v_0 + \sqrt{2gh_1} \operatorname{tg} \gamma}; \quad (43)$$

$$v_{20} = \sqrt{k^2(v_0^2 + 2gh_1) - (1 - k^2)(v_0 \cos \gamma + \sqrt{2gh_1} \sin \gamma)^2}; \quad (44)$$

$$v_2 = \sqrt{v_{20}^2 + 2gx_2 \operatorname{tg}(\gamma - \beta) + \frac{g^2 x_2^2}{v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)}}; \quad (45)$$

$$h_2 = x_2 \operatorname{tg}(\gamma - \beta) + \frac{gx_2^2}{2v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)}; \quad (46)$$

$$x_2 = \frac{v_{20}^2 \sin[2(\gamma - \beta)]}{2g} \left(\sqrt{1 + \frac{2h_2 g}{v_{20}^2 \sin^2(\gamma - \beta)}} - 1 \right); \quad (47)$$

$$\delta = \arctg \left[\operatorname{tg}(\gamma - \beta) + \frac{gx_2}{v_{20}^2 \cos^2(\gamma - \beta)} \right]; \quad (48)$$

$$x = x_1 + x_2; \quad (49)$$

$$l_1 = x_{2,2} - x_{2,1} + h_3(\operatorname{ctg} \delta_1 - \operatorname{ctg} \delta_2); \quad (50)$$

$$l_i = [x_{2,i+1} - x_{2,i-1} + h_3(\operatorname{ctg} \delta_{i-1} - \operatorname{ctg} \delta_{i+1})] / 2; \quad (51)$$

$$l_n = x_{2,n} - x_{2,n-1} + h_3(\operatorname{ctg} \delta_{n-1} - \operatorname{ctg} \delta_n); \quad (52)$$

$$l_0 = x_1 + 1,5x_{2,1} - 0,5x_{2,2} - h_3 \operatorname{ctg} \delta_1, \quad (53)$$

де x_1 – координата центра ваги металевієї плити, м; h_1 – висота падіння ТПВ на похилу металеву плиту, м; v_0 – початкова горизонтальна швидкість ТПВ, м/с; v_1 – доударна швидкість ТПВ в момент падіння на металеву плиту, м/с; α – кут падіння ТПВ відносно плити, °; γ – кут нахилу металевієї плити, °; β – кут відскоку ТПВ відносно плити, °; k – коефіцієнт відновлення; v_{20} – початкова швидкість відскоку пружних складових ТПВ, м/с; v_2 – швидкість пружних складових ТПВ в момент їх падіння в багатосекційний контейнер, м/с; x_2 , h_2 – довжина та висота відскоку пружних складових ТПВ, відповідно, м; δ – кут падіння пружних складових ТПВ у контейнер, °; x – сумарна довжина відскоку пружних складових ТПВ, м; l_i – довжину секцій багатосекційного контейнера, м; i – номер за порядком пружних складових ТПВ $i > 1 \cup i < n$; n – кількість видів пружних складових ТПВ; h_3 – висота багатосекційного контейнера, м.

Отримані аналітичні залежності дозволили отримати раціональні значення основних кінематичних та геометричних параметрів пристрою, що забезпечують високі показники процесу сортування пружних складових ТПВ. Так встановлено, що для висоти падіння ТПВ $h = 2$ м багатосекційний контейнер потрібно розміщати на відстані $l_0 = 0,456$ м від вертикальної осі ведучого барабану стрічки верхнього транспортера, а довжини секцій складатимуть $l_1 = 0,163$ м, $l_2 = 0,511$ м, $l_3 = 0,501$ м, $l_4 = 0,142$ м для таких пружних компонентів ТПВ, як дерево, метал, кістки та скло, відповідно.

У п'ятому розділі розглянуто конструкції робочих органів сміттєвоза та на основі математичного моделювання запропоновано методику проектного розрахунку навісного підмітального обладнання машини.

Знайшла подальший розвиток конструкція генератора імпульсів тиску релейної диференціальної дії (ГТРДД), технічна новизна якого захищена 11-ма патентами України на корисні моделі, а схема якого показана на рис. 16.

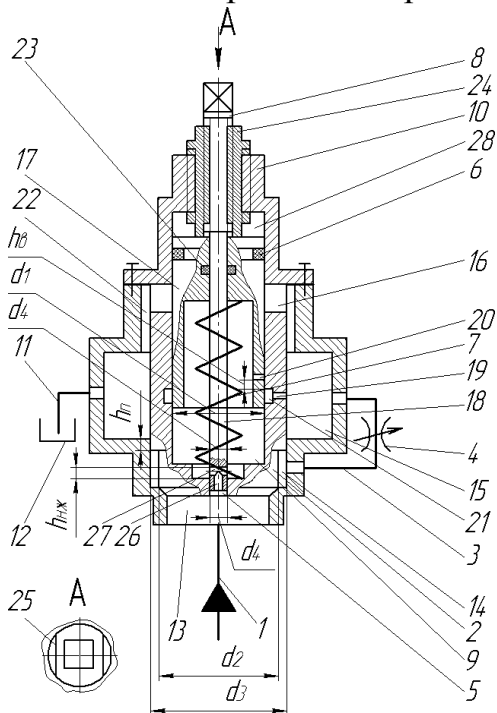


Рис. 16. Схема ГТРДД: 1 – напірна магістраль; 2 – клапан; 3 – магістраль; 4 – регульований дросель; 5 – отвір; 6 – ущільнює кільце; 7 – пружина; 8 – гвинт; 9 – надклапанна порожнина; 10 – корпус; 11 – зливна магістраль; 12 – зливний бак; 13 – підклапанна порожнина; 14 – замкнута порожнина; 15 – кільцева розточка; 16 – проміжна порожнина; 17 – поршень; 18 – стержень; 19 – дроселюючий отвір; 20 – внутрішній отвір; 21 – внутрішня кільцева розточка; 22 – повздовжні пази; 23 – внутрішнє ущільнює кільце; 24 – втулка; 25 – лиски; 26 – повздовжній отвір; 27 – поперечний отвір; 28 – порожнина

Запропонована удосконалена конструкція ГТРДД забезпечує збільшення частоти на 20,9%...32,1%, створюваних ним коливань тиску робочої рідини; пі-

движення коефіцієнта корисної дії; розширення функціональних можливостей регулювання його основних параметрів; підвищення надійності роботи при інших рівних параметрах і яку доцільно використати для інтенсифікації та покращення якості робочих процесів збирання та первинної переробки ТПВ.

Вперше створено конструкцію вібраційного витрушувача для гідроприводу перевертання контейнера з ТПВ в кузов сміттєвоза (Пат. України №91672), схема якого наведена на рис. 17.

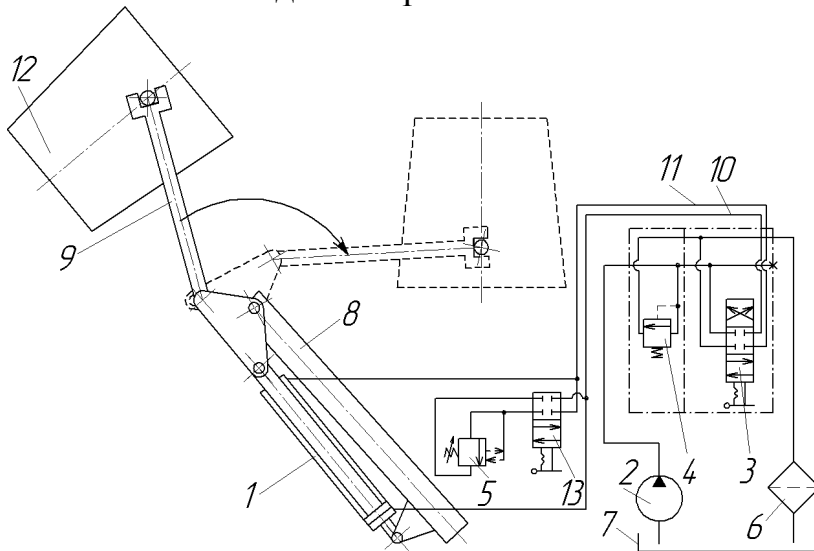


Рис. 17. Схема вібраційного витрушувача контейнера з ТПВ в кузов сміттєвоза: 1 - парні гідроциліндри; 2 - гідронасос; 3 - трьохпозиційний гідророзподільник; 4 - запобіжний клапан; 5 - ГІТРДД; 6 - фільтр; 7 - маслобак; 8 - важелі; 9 - захват; 10 - поршнева магістраль; 11 - штокова магістраль; 12 - контейнер

Запропонована конструкція забезпечує під час зворотного ходу парних гідроциліндрів вібраційне витрушування ТПВ в кузов сміттєвоза із контейнера у випадку його неповного випорожнення, що приводить до підвищення якості роботи сміттєвоза за рахунок усунення імовірності неповного випорожнення контейнера з ТПВ. Визначено основні характеристики ГІТРДД вібраційного витрушувача: тиск відкриття запірного елемента 4,885 МПа, тиск закриття – 0,755 МПа, попередня деформація пружини 17,35 мм.

Знайшла подальший розвиток конструкція вібраційного гідроприводу ущільнюючої плити сміттєвоза (Пат. України №42145), схема якого наведена на рис. 18.

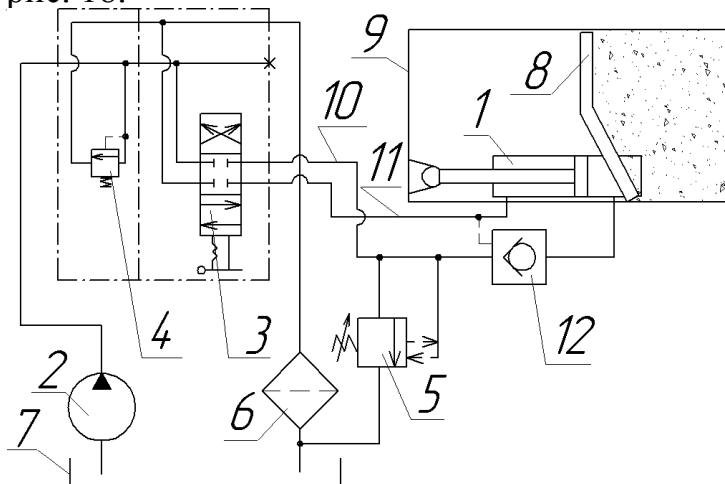


Рис. 18. Схема удосконаленого вібраційного приводу ущільнюючої плити сміттєвоза: 1 - гідроциліндр; 2 - гідронасос; 3 - гідророзподільник; 4 - запобіжний клапан; 5 - ГІТРДД; 6 - фільтр; 7 - маслобак; 8 - плита пресування; 9 - кузов сміттєвоза; 10 - напірна магістраль; 11 - зливна магістраль; 12 - гідрозамок

Запропонована удосконалена конструкція вібраційного гідроприводу ущільнюючої плити сміттєвоза забезпечує підвищення продуктивності сміттєвоза за рахунок збільшення коефіцієнта ущільнення ТПВ.

Створено нову конструктивну схему навісного підмітального обладнання (НПО) для сміттєвоза (Пат. України №45362), наведену на рис. 19.

Запропонована конструкція дозволяє розширити функціональні можливості сміттєвозів та значно знизити витрати комунальних служб.

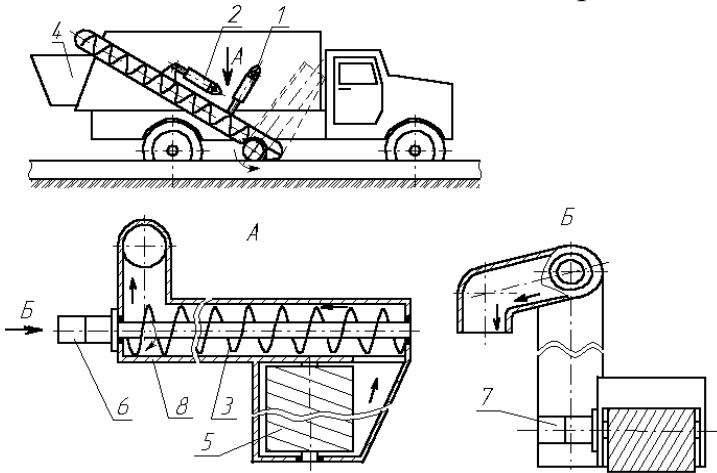


Рис. 19. Конструктивна схема НПО для сміттєвоза: 1 - гідроциліндр повороту щітки; 2 - гідроциліндр шнека; 3 - шнековий транспортер; 4 - приймальний бункер; 5 - циліндрична щітка; 6 - гідромотор шнекового транспортера; 7 - гідромотор циліндричної щітки; 8 - корпус

На рис. 20 представлена розрахункова схема роботи сміттєвоза на технологічній операції підмітання.

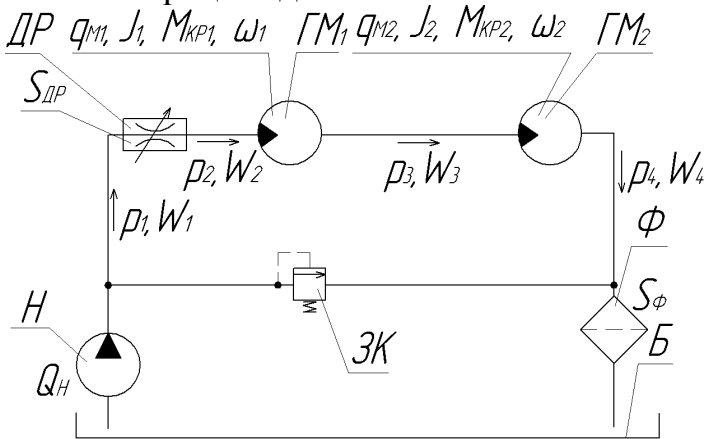


Рис. 20. Розрахункова схема роботи сміттєвоза на технологічній операції підмітання: ГМ₁, ГМ₂ – гідромотори; ДР – дросель; Н – гідронасос; ЗК – запобіжний клапан; Ф – фільтр; Б – бак із робочою рідиною

Технологічна операція підмітання може бути описана відповідною системою диференціальних (54 – 59) з відповідними граничними умовами (60) та алгебраїчного (61) рівнянь:

$$\begin{cases} Q_H = \mu S_{ДР} \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho} + \sigma(p_1 - p_2) + KW_1 \dot{p}_1; & (54) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu S_{ДР} \sqrt{2(p_1 - p_2) / \rho} = q_{MX1} \omega_1 + \sigma(p_2 - p_3) + KW_2 \dot{p}_2; & (55) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX1} \omega_1 = q_{MX2} \omega_2 + \sigma(p_3 - p_4) + KW_3 \dot{p}_3; & (56) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX2} \omega_2 = k_\Phi S_\Phi p_4 / \mu_D + \sigma p_4 + KW_4 \dot{p}_4; & (57) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX1} (p_2 - p_3) = J_1 \dot{\omega}_1 + \beta \omega_1 + \alpha q_{MX1} (p_2 + p_3) + \pi^3 r_B^3 S^6 E B_M f_B \times \\ \times (S + R_B - h) K_{zan} K_P \sin \gamma / (384,3 y_K^8 \eta_{ш}); & (58) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX2} (p_3 - p_4) = J_2 \dot{\omega}_2 + \beta \omega_2 + \alpha q_{MX2} (p_3 + p_4) + 3,343 \pi^2 \times \\ \times \{q_m B_M v_M / [\psi(1 - \beta/50)]\}^{1,4} l_{ш} f_K^{1,2} \rho_3^{-0,4} [g \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \beta + \operatorname{arctg} f_2)]^{-0,2}; & (59) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 \leq \{p_1, p_2, p_3, p_4\} \leq p_{зк}; 0 \leq \{\omega_1, \omega_2\}; & (60) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX} = q_M / (2\pi), & (61) \end{cases}$$

де r_B – радіус поперечного перерізу прутка ворсу, м; S – вільна довжина ворса, мм; E – модуль пружності матеріалу ворса щітки, МПа; B_M – ширина смуги підмітання, м; f_B – коефіцієнт тертя матеріалу ворса щітки по дорожньому покриттю; R_B – радіус барабана циліндричної щітки, мм; h – значення деформації ворса щітки, мм; $K_{зан}$ – коефіцієнт запасу потужності для подолання інерційних сил у невстановленому режимі руху, сил деформацій ворса та аеродинамічного опору; K_P – коефіцієнт нерівномірності розташування ворса на твірній поверхні барабана щітки; γ – кут нахилу ворса, °; u_K – відстань між ободом барабана та горизонтальною поверхнею дороги, мм; $\eta_{щ}$ – ККД приводу циліндричної щітки; q_m – кількість забруднення на одиницю площі дорожнього покриття, кг/м²; v_M – робоча швидкість машини при підмітванні, м/с; ψ – коефіцієнт наповнення; β – кут нахилу шнекового транспортера, °; $l_{ш}$ – довжина шнекового транспортера, м; f_K – коефіцієнт тертя частинки об кожух транспортера; ρ_3 – густина зміту; g – прискорення вільного падіння, м/с²; α – кут підйому гвинтової лінії, °; f_2 – коефіцієнт тертя частинки об гвинт транспортера.

Зміна основних параметрів гідроприводу НПО під час пуску показана на рис. 21, де цифрами 1 – 3 позначено криві, які відповідають таким значенням площі відкриття регульованого дроселя $S_{др}$: 12, 20, 58 мм² відповідно.

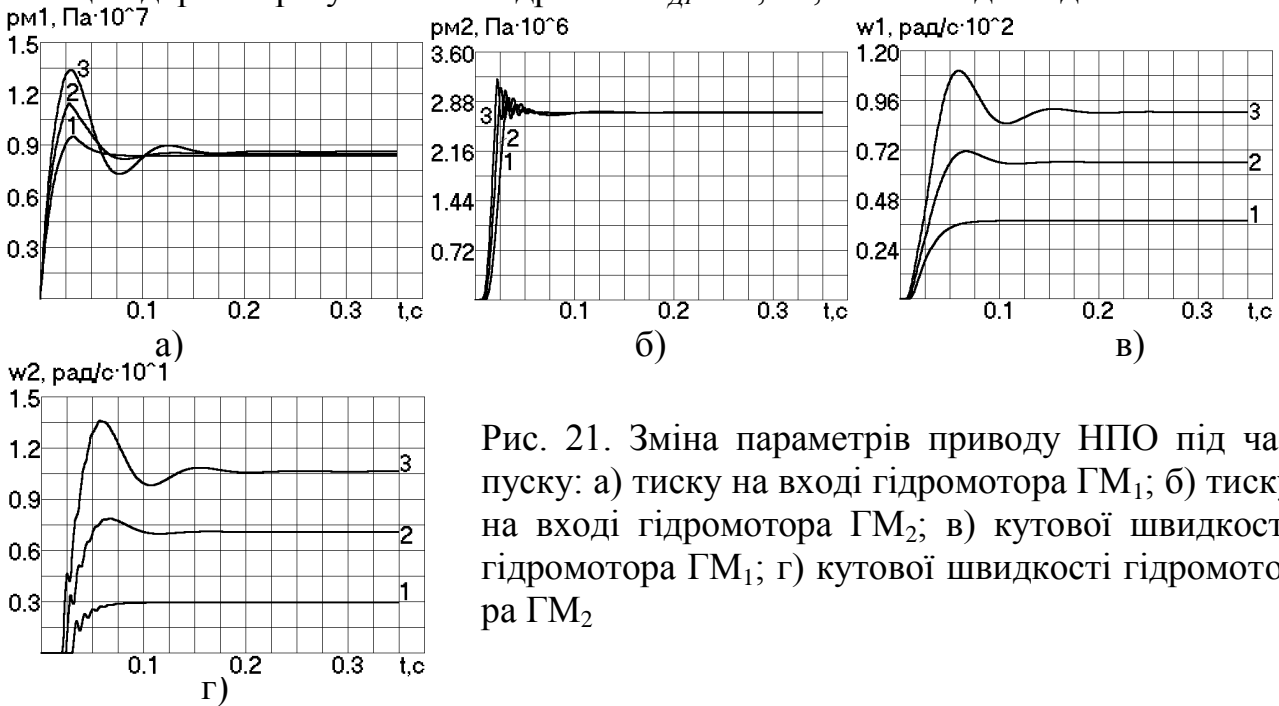


Рис. 21. Зміна параметрів приводу НПО під час пуску: а) тиску на вході гідромотора ГМ₁; б) тиску на вході гідромотора ГМ₂; в) кутової швидкості гідромотора ГМ₁; г) кутової швидкості гідромотора ГМ₂

На основі дослідження нелінійної математичної моделі запропоновано лінеаризовану математичну модель приводу НПО:

$$\begin{cases} Q_H = q_{MX1}\omega_1 + \sigma(p_{12} - p_3) + KW_{12}\dot{p}_{12}; & (62) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX1}\omega_1 = q_{MX2}\omega_2 + \sigma p_3 + KW_3\dot{p}_3; & (63) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX1}(p_{12} - p_3) = J_1\dot{\omega}_1 + M_{KP1}; & (64) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{MX2}p_3 = J_2\dot{\omega}_2 + M_{KP2}; & (65) \end{cases}$$

$$q_{MXi} = q_{Mi} / (2\pi), \quad (66)$$

де $p_1 \approx p_2 \approx p_{12}$; $W_{12} = W_1 + W_2$; $M_{KP1} = \pi^3 r_B^3 S^6 E B_M f_B (S + R_B - h) K_{зан} K_P \sin \gamma \div$

$\div (384,3y_K^8 \eta_{ш})$ – крутний момент на валу циліндричної щітки, Н·м; $M_{KP2} = 3,343\pi^2 \{q_m B_M v_M / [\psi(1 - \beta/50)]\}^{1,4} l_{ш} f_K^{1,2} \rho_3^{-0,4} [g \cdot tg(\alpha - \beta + arctg f_z)]^{-0,2}$ – крутний момент на валу шнекового транспортера, Н·м.

Систему диференціальних рівнянь (62 – 65) вдалося аналітично розв'язати за допомогою перетворень за Лапласом і отримати наближені аналітичні залежності основних параметрів приводу:

$$\omega_1(t) \approx \left(\frac{Q_H}{q_{MX1}} - \frac{M_{KP1}\sigma}{q_{MX1}^2} \right) \left[1 - e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}}t} \cos\left(\frac{q_{MX1}}{\sqrt{KW_{12}J_1}}t \right) \right] - \left[\sqrt{\frac{KW_{12}}{J_1}} \left(\frac{M_{KP1}}{q_{MX1}} + \frac{M_{KP2}}{q_{MX2}} \right) + \sqrt{\frac{J_1}{KW_{12}}} \frac{Q_H\sigma}{2q_{MX1}^2} \right] e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}}t} \sin\left(\frac{q_{MX1}}{\sqrt{KW_{12}J_1}}t \right); \quad (67)$$

$$\omega_2(t) \approx \left(\frac{Q_H}{q_{MX2}} - \frac{M_{KP1}\sigma}{q_{MX1}q_{MX2}} \right) \left[1 - e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}}t} \cos\left(\frac{q_{MX1}}{\sqrt{KW_{12}J_1}}t \right) \right] - \left[\sqrt{\frac{KW_{12}}{J_1}} \left(\frac{M_{KP2}q_{MX1}}{q_{MX2}^2} + \frac{M_{KP1}}{q_{MX1}} \right) + \sqrt{\frac{J_1}{KW_{12}}} \frac{Q_H\sigma}{2q_{MX1}q_{MX2}} \right] e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}}t} \sin\left(\frac{q_{MX1}}{\sqrt{KW_{12}J_1}}t \right) - \frac{M_{KP2}\sigma}{q_{MX2}} \left(1 - e^{-\frac{\sigma}{2KW_3}t} \right); \quad (68)$$

$$p_{12}(t) \approx \left(\frac{M_{KP1}}{q_{MX1}} + \frac{M_{KP2}}{q_{MX2}} \right) \left[1 - e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}}t} \cos\left(\frac{q_{MX1}}{\sqrt{KW_{12}J_1}}t \right) \right] + \frac{Q_H}{q_{MX1}} \sqrt{\frac{J_1}{KW_{12}}} \times e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}}t} \sin\left(\frac{q_{MX1}}{\sqrt{KW_{12}J_1}}t \right); \quad (69)$$

$$p_3(t) \approx \frac{M_{KP2}}{q_{MX2}} \left\{ 1 - e^{-\frac{\sigma}{2KW_3}t} \cos\left[\frac{q_{MX2}}{\sqrt{KW_3J_2}}t + \arccos\left(1 - \frac{Q_H J_2 \sigma}{M_{KP2} KW_{12} q_{MX2}} \right) \right] \right\} - \frac{Q_H J_2 \sigma}{KW_{12} q_{MX2}^2} e^{-\frac{\sigma}{2KW_{12}}t} \cos\left(\frac{q_{MX1}}{\sqrt{KW_{12}J_1}}t \right). \quad (70)$$

Порівняння результатів, отриманих з використанням нелінійної та лінеаризованої математичних моделей приводу НПО, а також за допомогою рівнянь, отриманих в результаті аналітичного розв'язання лінеаризованої моделі показано на рис. 22. Похибка склала 5,5...17,1%, що є прийнятним для попередніх проектних розрахунків.

Залежності (51 – 54) дали змогу отримати: адекватні рівняння регресії для номінальних значень тисків та кутової швидкості гідромоторів циліндричної щітки та шнекового транспортера в залежності від площі відкриття регульованого дроселя, наближені аналітичні залежності тисків на входах гідромоторів та кутових швидкостей валів гідромоторів від часу та основних параметрів гідроприводу, а також основних силових та кінематичних характеристик гідроприводу навісного підмітального обладнання сміттєвоза в усталеному режимі роботи. На основі чого розроблено науково-обґрунтовану методику проектного розрахунку навісного пі-

дмітального обладнання екологічної машини на базі сміттєвоза, блок-схема алгоритму якої наведена на рис. 23.

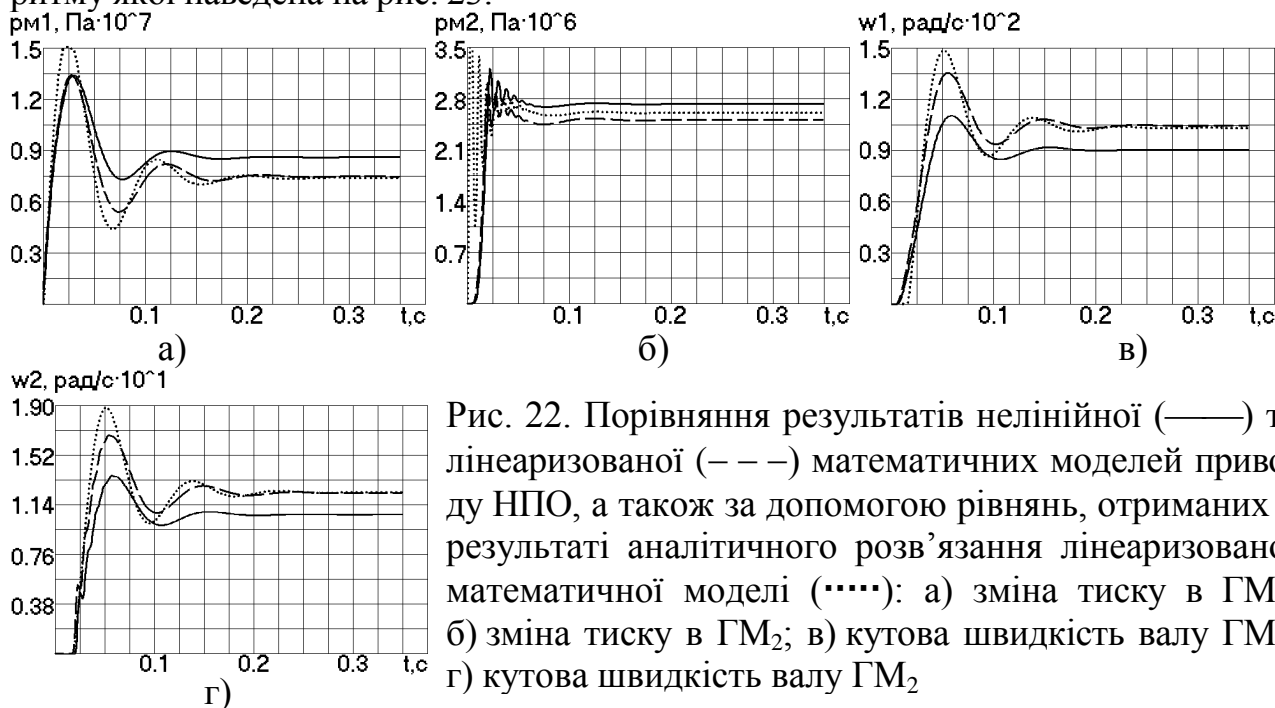


Рис. 22. Порівняння результатів нелінійної (—) та лінеаризованої (---) математичних моделей приводу НПО, а також за допомогою рівнянь, отриманих в результаті аналітичного розв'язання лінеаризованої математичної моделі (.....): а) зміна тиску в ГМ₁; б) зміна тиску в ГМ₂; в) кутова швидкість валу ГМ₁; г) кутова швидкість валу ГМ₂

Запропонована методика проектного розрахунку навісного підмітального обладнання екологічної машини на базі сміттєвоза дозволила отримати основні його геометричні, силові та швидкісні параметри, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Основні параметри НПО

Параметри циліндричної щітки					
R , мм	u_k , мм	h , мм	$n_{щ}$, об/хв	$M_{KРщ}$, Н·м	$P_{щ}$, кВт
160	100	15	960	68,3	6,87
Параметри шнекового транспортера					
D , мм	t , мм	d , мм	$n_{ш}$, об/хв	$M_{KРш}$, Н·м	$P_{ш}$, кВт
100	100	40	120	261	3,64
Параметри гідроприводу НПО					
Δp_{M1} , МПа	Δp_{M2} , МПа	q_{M1} , см ³	q_{M2} , см ³	Q_{M1} , л/хв	Q_{M2} , л/хв
5,88	3,12	100	630	102,1	80,4

Встановлено, що для приводу робочих органів навісного підмітального обладнання достатньо гідронасоса з подачею $Q_H = 115$ л/хв та двох послідовно з'єднаних гідромоторів з робочими об'ємами $q_{M1} = 100$ см³, $q_{M2} = 630$ см³.

У шостому розділі наведені результати впровадження досліджень, критерії та порівняльний аналіз на їх основі ефективності розроблених приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки ТПВ.

Наукові та прикладні результати дисертаційної роботи (структури робочих органів сміттєзбиральних машин, приводів та раціональні співвідношення конструктивних параметрів їхніх робочих органів), необхідні для проектування та виготовлення комунальних машин, впроваджено ПП "Світ Маніпуляторів".

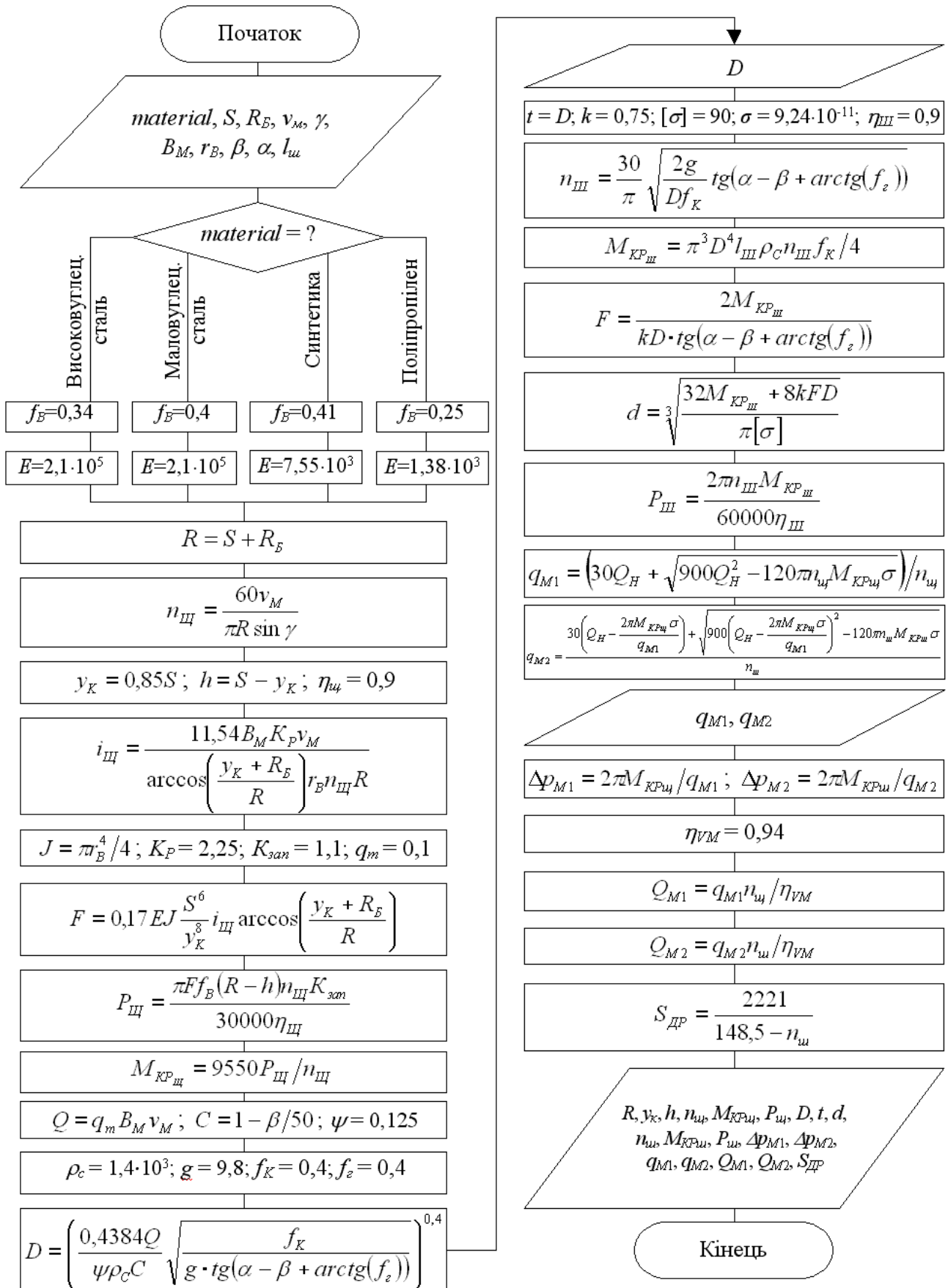


Рис. 23. Блок-схема алгоритму проектного розрахунку навісного підмітального обладнання екологічної машини на базі сміттєвоза

Окремі положення дисертаційної роботи оприлюднені в колективних монографіях [2, 3], виконаних в межах комплексної теми дослідження № 0107U001146.

Також результати теоретичних та експериментальних досліджень, проведених у дисертаційній роботі, впроваджено в навчальний процес у Вінницькому національному технічному університеті.

Аналіз ефективності розроблених приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки ТПВ за критеріями показано в табл. 3.

Таблиця 3

Критерії ефективності приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки ТПВ

Критерій ефективності	Конструкції машин для збирання та первинної переробки ТПВ		Ефект, %
	Існуючі	Запропоновані	
Вологість змішаних ТПВ*, %	39...53	16,9...27,1	48,9...56,7
Вологість вологої фракції ТПВ*, %	60...92	17,3...54,0	41,3...71,2
Коефіцієнт зменшення об'єму ТПВ	2,685	3,038...6,639	13,1...147,3
Коефіцієнт зменшення маси ТПВ	1	1,24...2,39	24...139
Теплота, необхідна для нагрівання ТПВ перед спалюванням*, Дж/(кг·°C)	2854...4015	2370...3183	Витрати зменшуються на 17...20,7%
Теплотворна здатність ТПВ, МДж/кг	2,21...6,51	9,14	40,4...313,6
Тривалість завантаження 1 контейнера з ТПВ*, с	9,501	5,288	44,3
Частота коливань ГТ, Гц	45	84,98	88,8
Відносне перевантаження приводу під час вивантаження ТПВ*, %	53	30	Зменшується на 43,4%
Кількість фракцій ТПВ після механізованого сортування	2	5	150

Примітка: * – чим менше, тим ефективніше

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна проблема машинобудування, яка має важливе народногосподарське значення, що полягає у розробці методології проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів.

Основні результати і висновки сформульовані таким чином:

1. Аналіз стану проблеми показав: для збирання та первинної переробки ТПВ необхідний комплекс машин, перспективним способом мінімізації кількості та шкідливості твердих побутових відходів є їхнє зневоднення та подальше ущільнення методом вібраційного пресування. Серед варіантів приводів ущільнення ТПВ найбільш доцільним слід вважати гідравлічний з віброзбудженням

за допомогою генератора імпульсів тиску. Запропоновано класифікацію машин та обладнання для поводження з ТПВ, що дозволила сформулювати необхідні завдання для вирішення науково-технічної проблеми їхнього збирання та первинної переробки.

2. Побудовано математичні моделі приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів, які дозволяють досліджувати динаміку вказаних приводів та отримати узагальнюючі аналітичні залежності, які пов'язують між собою основні параметри приводів та придатні для практичних розрахунків при попередній оцінці та виборі оптимальних параметрів на стадії ескізного проектування. Визначено оптимальні значення: подачі гідронасоса $Q_{н.онм} = 53,9$ л/хв, відстані між центрами обертання захвату та штока $l_{р.онм} = 38$ мм та кута між осями важеля та плеча гідроциліндра $\alpha_{онм} = 11^\circ$, що доцільно використати для зменшення витрат пального на 178 л/рік в розрахунку на один сміттєвоз під час виконання технологічної операції завантаження відходів у сміттєвоз.

3. Аналіз схем збирання та шляхів поводження з ТПВ показав, що структуру машин для збирання та первинної переробки, в залежності від прийнятої схеми збирання і поводження з ТПВ, доцільно проектувати зі змінних модулів: ущільнення, зневоднення, подрібнення, сортування.

4. На основі результатів дослідження динаміки гідроприводу вібраційного пресування твердих побутових відходів розроблено нову конструкцію генератора імпульсів тиску релейної диференціальної дії як віброзбуджувача зі збільшенням частоти вібрації на 20,9%...32,1%, що розширює вибір оптимальних режимів завантаження та ущільнення.

5. З метою підвищення надійності приводів робочих органів машин встановлено область параметрів, при яких забезпечується стійкість роботи та якість перехідних процесів у приводах машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів під час їх пуску та унеможливаються режими з недопустимими перевантаженнями. Встановлено, що для забезпечення якісної роботи гідроприводу вивантаження ТПВ із сміттєвоза діаметр штока першої ступені телескопічного гідроциліндра рекомендується виконувати більшим ніж $D_1 = 188$ мм та використовувати композитні напрямні зі стабільним коефіцієнтом тертя.

6. На основі експериментальних досліджень та моделювання визначено мінімальну енергоємність зневоднення змішаних твердих побутових відходів з $w_0 = 39...53\%$ та $\rho_0 = 190...230$ кг/м³ $\epsilon_{min} = 172,3...306,3$ кВт·год/т, а оптимальні параметри технологічного процесу: $n_{онм} = 51,84...54,73$ об/хв; $(\Delta_{ul}/D_{min})_{онм} = (7,10...8,71) \cdot 10^{-3}$; $(d_{min}/D_{min})_{онм} = 0,710...0,765$, а для вологої фракції твердих побутових відходів з $w_0 = 60...92\%$ та $\rho_0 = 370...600$ кг/м³ $\epsilon_{min} = 30,7...158,5$ кВт·год/т для $n_{онм} = 36,91...47,20$ об/хв; $(\Delta_{ul}/D_{min})_{онм} = (5,45...10,45) \cdot 10^{-3}$; $(d_{min}/D_{min})_{онм} = 0,740...0,757$. Встановлено, що енергоємність зневоднення вологої фракції твердих побутових відходів в 1,93...5,61 рази менша ніж для змішаних твердих побутових відходів, що підтверджує необхідність їхнього диференціального (роздільного) збирання та сортування.

7. На основі аналітичного дослідження процесів взаємодії ТПВ з робочими органами удосконалено схему пристрою для сортування ТПВ та досліджено його кінематику, що дало змогу встановити аналітичні залежності та рекомендувати значення основних кінематичних та геометричних параметрів пристрою. Встановлено, що для висоти падіння ТПВ $h = 2$ м багатосекційний контейнер потрібно розміщати на відстані $l_0 = 0,456$ м від вертикальної осі ведучого барабану стрічки верхнього транспортера, а довжини секцій складатимуть $l_1 = 0,163$ м, $l_2 = 0,511$ м, $l_3 = 0,501$ м, $l_4 = 0,142$ м для таких пружних компонентів ТПВ, як дерево, метал, кістки та скло, відповідно.

8. Вперше побудовано та досліджено математичну модель регульованого за швидкістю гідроприводу навісного підмітального обладнання сміттєвоза з кількома гідромоторами, в результаті чого визначено вплив параметрів обладнання на швидкісні, силові показники приводу та розроблено методику його проектного розрахунку. Встановлено, що для приводу робочих органів навісного підмітального обладнання достатньо гідронасоса з подачею $Q_H = 115$ л/хв та двох послідовно з'єднаних гідромоторів з робочими об'ємами $q_{M1} = 100$ см³, $q_{M2} = 630$ см³.

9. Розроблено принципові схеми: вдосконалених конструкцій приводів вібраційного доущільнення твердих побутових відходів та перевертання контейнера з твердими побутовими відходами в кузов сміттєвоза; конструкцій приводу зневоднення та подрібнення твердих побутових відходів у сміттєвозі та генератора імпульсів тиску релейної диференціальної дії. Запропоновано методику проектного розрахунку параметрів приводу зневоднення та подрібнення ТПВ, що дозволило зменшити вологість в 1,7...3,47 рази, зменшити об'єм в 1,13...2,47 рази і суттєво підвищити ефективність сміттєвозів в цілому за рахунок зменшення маси відходів в 1,24...2,39 рази, що підлягають перевезенню з кращою наповненістю кузова.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

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

2. Березюк О. В. Оптимізація завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози. *Системи прийняття рішень в економіці, техніці та організаційних сферах: від теорії до практики : колективна монографія у 2 т. Т. 2.* / за заг. ред. Л. М. Савчук. Павлоград : АРТ Синтез-Т, 2014. 429 с. С. 75-83. ISBN 978-966-97393-9-1.

3. Березюк О. В. Моделювання гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза. *Інтеграція економічних та технічних процесів: сучасний стан і перспективи розвитку : колективна монографія / за заг. ред. Л. М. Савчук.* Харків : Діса плюс, 2015. 480 с. С. 408-416. ISBN 978-617-7064-86-1.

4. Березюк О. В. Техніко-економічні показники машин та процесів в сфері менеджменту твердими побутовими відходами. *Розвиток фінансового менеджменту в умовах хаотичного структурування економіки : колективна моног-*

рафія / за заг. наук. ред. С. А. Кузнецової. Дніпропетровськ : Акцент ПП, 2015. 277 с. С. 109-120. ISBN 978-966-921-008-1.

5. Березюк О. В. Прогностичні моделі площ земельних ділянок та машин для захоронення твердих побутових відходів. *Екологічні, соціальні та економічні аспекти розвитку АПК на засадах раціонального природокористування : колективна монографія* / за ред. П. В. Писаренка, Т. О. Чайки, О. О. Ласло. Полтава : Сімон, 2015. 224 с. С. 64-71. ISBN 978-966-2989-36-6.

Статті у закордонних наукових періодичних виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних Scopus, Web of Science:

6. Ultrasonic microcontroller device for distance measuring between dustcart and container of municipal solid wastes / Bereziuk O., Lemeshev M., Bogachuk V., Wójcik W. et al. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2019. No. 4. P. 146-150. DOI: 10.15199/48.2019.04.26

7. Means for measuring relative humidity of municipal solid wastes based on the microcontroller Arduino UNO R3 / Bereziuk O. V., Lemeshev M. S., Bohachuk V. V., Duk M. *Proc. SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*. 2018. Vol. 10808. Article ID 108083G. 8 pages. DOI: 10.1117/12.2501557

Статті у інших закордонних наукових періодичних виданнях:

8. Bereziuk O. V., Savulyak V. I. Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart. *Technical Sciences*. 2017. No. 20 (3). P. 259-273.

9. Bereziuk O. V., Savulyak V. I. Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities. *TEHNOMUS Journal. New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies*. 2015. No. 22. P. 345-351.

10. Березюк О. В., Лемешев М. С., Березюк Л. Л. Регрессионная зависимость объёма биореактора от суточной массы перерабатываемых твердых бытовых отходов. *Оралдың ғылым жаршысы (Уральский научный вестник, Казахстан)*. 2014. № 42 (121). С. 58-62.

11. Березюк О. В. Методика инженерных расчётов параметров навесного подметального оборудования экологической машины на основе мусоровоза. *Современные проблемы транспортного комплекса России*. 2016. Т. 6. № 2. С. 39-45.

12. Березюк О. В. Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы "RegAnaliz". *Автоматизированные технологии и производства*. 2015. № 2 (8). С. 43-45.

13. Березюк О. В. Моделирование состава биогаза при анаэробном разложении твердых бытовых отходов. *Автоматизированные технологии и производства*. 2015. № 4 (10). С. 44-47.

14. Березюк О. В., Лемешев М. С. Регресія площі полігону твердих побутових відходів для видобування звалищного газу. *Мир науки и инноваций*. 2015. Вып. 1 (1). Т. 5. Технические науки. Физика и математика. С. 48-51.

15. Березюк О. В., Лемешев М. С. Регресія кількості сміттєспалювальних заводів. *Сборник научных трудов SWorld*. Вып. 1 (38). Т. 2. Технические науки. С. 63-66.

Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України та індексуються у міжнародних наукометричних базах даних:

16. Березюк О. В., Савуляк В. І. Вплив характеристик тертя на динаміку гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза. *Проблеми тертя та зношування*. 2015. № 3 (68). С. 45-50. (Індексується EBSCO, WorldCat, РИНЦ, Google Scholar).

17. Березюк О. В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів перевертання контейнера під час завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2013. № 5. С. 60-64. (Індексується Index Copernicus, РИНЦ, Google Scholar).

18. Березюк О. В. Системи приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2017. № 3 (57). С. 65-72. (Індексується Index Copernicus, ВиНиТи).

19. Березюк О. В. Привод зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2016. № 2. С. 14-18. (Індексується Index Copernicus).

20. Березюк О. В. Моделювання компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі на основі комп'ютерної програми "PlanExp". *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2016. № 6. С. 23-28. (Індексується Index Copernicus, РИНЦ).

21. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2018. № 5. С. 18-24. DOI: 10.31649/1997-9266-2018-140-5-18-24 (Індексується Index Copernicus).

22. Березюк О. В. Експериментальне дослідження процесу подрібнення твердих побутових відходів під час зневоднення шнековим пресом. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 5. С. 75-80. DOI: 10.31649/1997-9266-2019-146-5-75-80 (Індексується Index Copernicus).

23. Березюк О. В. Методика інженерних розрахунків параметрів обладнання для зневоднення ТПВ у сміттєвозі. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. № 2. С. 73-81. DOI: 10.31649/1997-9266-2020-149-2-73-81 (Індексується Index Copernicus).

24. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час весняного компостування / Березюк О. В., Лемешев М. С., Березюк Л. Л., Віштак І. В. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 1. С. 29-33. (Індексується Index Copernicus, РИНЦ).

25. Березюк О. В., Березюк Л. Л. Моделювання витрат на анаеробне розкладання твердих побутових відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 3. С. 57-60. (Індексується Index Copernicus, РИНЦ).

26. Березюк О. В., Березюк Л. Л. Моделювання поширеності компостування як методу поводження з твердими побутовими відходами. *Вісник Вінницького*

го політехнічного інституту. 2016. № 1. С. 33-38. (Індексується Index Copernicus, РИНЦ).

27. Березюк О. В. Удосконалення математичної моделі концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2016. № 4. С. 28-31. (Індексується Index Copernicus, РИНЦ).

28. Березюк О. В. Аналітичне дослідження математичної моделі гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза. *Промислова гідроліка і пневматика*. 2011. № 34 (4). С. 80-83. (Індексується ВиНиТи).

29. Березюк О. В. Експериментальне визначення компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі з урахуванням їхньої відносної вологості. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2019. № 4. 7 с. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/580/551> (дата звернення: 21.08.2020). (Індексується Google Scholar).

30. Березюк О. В. Аналітичне дослідження вдосконаленої математичної моделі вібраційного приводу доущільнення ТПВ у сміттєвозі. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2020. № 1. 11 с. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/590/557> (дата звернення: 21.08.2020). (Індексується Google Scholar).

31. Березюк О. В. Обґрунтування можливості скидання у каналізаційну мережу рідини, отриманої зневодненням твердих побутових відходів під час їхнього завантаження у сміттєвоз. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2020. № 2. 6 с. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/602/564> (дата звернення: 21.08.2020). (Індексується Google Scholar).

Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України:

32. Березюк О. В. Дослідження динаміки гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвозів. *Машинознавство*. 2008. № 10 (136). С. 25-28.

33. Березюк О. В. Аналітичне дослідження математичної моделі вібраційного гідроприводу пресування твердих побутових відходів. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. 2008. № 38. С. 96-102.

34. Березюк О. В. Визначення залежності тиску пресування твердих побутових відходів від основних параметрів процесу на основі планування багатфакторного експерименту. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. 2009. № 25. С. 131-136.

35. Березюк О. В. Дослідження кінематики пристрою для сортування твердих побутових відходів. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. 2010. № 65. С. 49-55.

36. Березюк О. В. Вплив основних параметрів вібраційного гідроприводу на показники вібрації в процесі ущільнення твердих побутових відходів. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій : збірник наукових праць*. 2009. № 8. С. 380-387.

37. Березюк О. В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2009. № 4. С. 81-86.

38. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску диференціальної дії. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2009. № 3. 9 с. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/160/159> (дата звернення: 21.08.2020).

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

40. Дослідження навантаження транспортними засобами поверхні дорожнього покриття з нерівностями / Гамеляк І. П., Коц І. В., Березюк О. В., Якименко Я. М. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2007. № 1. С. 123-131.

41. Березюк О. В. Розробка та дослідження нової структури екологічної машини для очистки населених пунктів від твердих відходів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2008. № 1. С. 110-116.

42. Березюк О. В. Дослідження динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2009. № 33. С. 403-406.

43. Березюк О. В. Шляхи підвищення ефективності пресування твердих побутових відходів у сміттєвозах. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2009. № 1. С. 111-114.

44. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування об'ємів утворення твердих побутових відходів та площ полігонів і сміттєзвалищ в Україні. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2009. № 2. С. 88-91.

45. Березюк О. В. Математичне моделювання прогнозування річної маси утворення твердих побутових відходів на душу населення в різних країнах світу. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2010. № 1 (8). С. 73-75.

46. Березюк О. В. Визначення параметрів впливу на частку диференційовано зібраних твердих побутових відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2011. № 5. С. 154-156.

47. Березюк О. В. Виявлення параметрів впливу на питомий об'єм видобування звалищного газу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 3. С. 20-23.

48. Березюк О. В. Визначення регресійних залежностей витрат на управління твердими побутовими відходами від рівня доходів населення. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 5. С. 24-26.

49. Березюк О. В. Розробка математичної моделі прогнозування питомого потенціалу звалищного газу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2013. № 2. С. 39-42.

50. Березюк О. В., Горбатюк С. М., Березюк Л. Л. Моделювання динаміки санітарно-бактеріологічного складу твердих побутових відходів під час літньо-

го компостування. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2013. № 4. С. 17-20.

51. Березюк О. В. Моделювання ефективності видобування звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2013. № 6. С. 21-24.

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

53. Березюк О. В. Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2014. № 5. С. 65-68.

54. Березюк О. В. Моделювання питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами. *Комунальне господарство міст. Серія : безпека життєдіяльності людини освіта, наука, практика*. 2015. № 1 (120). С. 240-242.

55. Березюк О. В. Впровадження практичного заняття «Дослідження забруднення навколишнього середовища твердими побутовими відходами та розрахунок параметрів машин та обладнання для мінімізації негативного впливу на нього» з дисципліни безпека життєдіяльності. *Педагогіка безпеки*. 2018. № 1. С. 29-36. DOI: 10.31649/2524-1079-2018-3-1-029-036

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

56. Березюк О. В. Комплекс машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів, що забезпечують мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. *Технічна творчість : збірник наукових праць міжнар. конф. молод. наук. "Сучасні технології в механіці"*, 21-23 квіт. 2016 р. / Укл.: Скиба М. Є., Поліщук О. С., Онофрійчук В. І. Хмельницький : ХНУ, 2016. № 1. С. 126-128.

57. Березюк О. В., Лемешев М. С. Визначення регресійної залежності необхідної площі під обладнання для компостування твердих побутових відходів від його продуктивності. *Инновационное развитие территорий : материалы 2 междунар. науч.-практ. конф., 25-27 февр. 2014 г. ; отв. за вып. Е. В. Белановская. Череповец : ЧГУ, 2014. С. 55-58.*

58. Березюк О. В. Надійність окремих вузлів і агрегатів сміттєвозів. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій : зб. наук. праць II міжнар. інтернет-конф., 12 лист. 2014 р. Ч. 1. Вінниця : ВНТУ, 2014. С. 16.*

59. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії. *Гідро- та пневмоприводи машин сучасні досягнення та застосування : зб. тез доп. міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 22 груд. 2014 р. Вінниця : ВНТУ, 2015. С. 38-39.*

60. Березюк О. В., Савуляк В. І. Система машин для переробки відходів як компонент петлі якості продукції. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій : зб. наук. праць III міжнар. інтернет-конф., 23 груд. 2015 р. Вінниця : ВНТУ, 2015. С. 29.*

61. Березюк О. В. Удосконалення математичної моделі питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи* : матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. Львів : ЛДУ БЖД, 2015. С. 185-187.

62. Березюк О. В. Регрессия параметров управления приводом рабочих органов навесного подметального оборудования мусоровозов. *Инновационное развитие территорий* : материалы 4 междунар. науч.-практ. конф., 26 февр. 2016 г. ; отв. за вып. З. М. Магруппова. Череповец : ЧГУ, 2016. С. 58-62.

63. Березюк О. В. Моделирование распространенности повторного использования твердых бытовых отходов. *Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии 2016* : сб. материалов междунар. научно-практ. конф., 27-29 апр. 2016 г. В 3 т. Тюмень : ТИУ, 2016. Т. 2. С. 11-16.

64. Березюк О. В. Определение затрат на очистку зоны загрязнения тяжелыми металлами ґрунтов близлежащих к полигонам твердых бытовых отходов. *Роль бизнеса и власти в развитии агропромышленного комплекса* : материалы XV междунар. науч.-практ. конф., 14-15 сент. 2016 г. ; под науч. ред. проф. Г. М. Гриценко. Барнаул : Алтайский дом печати, 2016. С. 79-82.

65. Березюк О. В. Усовершенствование математической модели необходимого количества машин для выполнения технологических операций уплотнения на полигоне твердых бытовых отходов. *Северная Пальмира* : сб. науч. трудов молодых ученых, асп., студ. и препод. VII молодежного эколог. Конгресса, 22-24 ноября 2016 г. Санкт-Петербург : СПб НИЦЭБ РАН, 2016. С. 190-192.

66. Березюк О. В. Усовершенствование прогностической модели распространенности дифференцированного сбора твердых бытовых отходов. *Стратегические направления развития АПК стран СНГ* : материалы XVI Междунар. научно-практ. конф. Барнаул, 27-28 февр. 2017 г. В 3 т. Т. 1. Новосибирск : СФНЦА РАН, 2017. С. 193-195.

67. Березюк О. В. Застосування методів імітаційного моделювання для проектування машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2017* : тези доп. 9-ї міжнар. наук.-практ. конф., 28-30 бер. 2017 р. Дніпро : НМетАУ, 2017. С. 94.

68. Березюк О. В. Підвищення довговічності сміттєвозів. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій* : зб. наук. праць V-ої міжнар. інтернет-конф., 1-2 груд. 2017 р. Ч. 1. Вінниця : ВНТУ, 2017. С. 65-66.

69. Березюк О. В. Розширення функціональних можливостей сміттєвозів за допомогою навесного підметального обладнання. *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку* : матеріали XVI Міжнар. наук.-техн. конф., 29-31 чер. 2018 р. Краматорськ : ДДМА, 2018. С. 11.

70. Березюк О. В. Підвищення надійності механізму завантаження твердих побутових відходів в кузов сміттєвоза. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій* : матеріали VI-ої міжнар. конф., 13-15 вер. 2018 року. Ч. 1. Вінниця : ВНТУ, 2018. С. 22-24.

71. Березюк О. В. Обґрунтування вибору раціональної схеми приводу зневоднення твердих побутових відходів у сміттєвозі. *Гідро- та пневмоприводи машин сучасні досягнення та застосування* : зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф., 27-29 груд. 2018 р. Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 112-114.

72. Березюк О. В. Формування вимог до вологості твердих побутових відходів під час завантаження у сміттєвоз. Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, 13-15 березня 2019 р. Вінниця, 2019. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/6783> (дата звернення: 21.08.2020).

73. Березюк О. В. Числове дослідження удосконаленої математичної моделі вібраційного гідроприводу ущільнення ТПВ у сміттєвозі на основі використання інформаційних технологій. *Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні* : матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. студ., асп. та молодих вчених. Херсон : ФОП Вишемирський В. С., 2019. С. 290-293.

74. Березюк О. В. Визначення максимального тиску в зоні ущільнення ТПВ шнеком. Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, 11-20 бер. 2020 р. Вінниця : ВНТУ, 2020. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2020/paper/view/8883/7653> (дата звернення: 21.08.2020).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

Статті в інших виданнях України:

75. Березюк О. В. Огляд конструкцій машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2015. № 1. С. 3-8.

76. Березюк О. В. Структура машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2015. № 2. С. 3-7.

Патенти України на корисну модель:

77. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску диференціальної дії : пат. 29363 U Україна : МПК(2006) F 15 B 21/00. № u200710323 ; заявл. 17.09.2007 ; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.

78. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску диференціальної дії : пат. 38431 U Україна : МПК(2006) F 15 B 21/00. № u200810623 ; заявл. 26.08.2008 ; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 12.

79. Березюк О. В. Гідропривод ущільнюючої плити сміттєвоза : пат. 42145 U Україна : МПК(2009) B 65 F 3/00. № u200900495 ; заявл. 23.01.2009 ; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12.

80. Березюк О. В. Обладнання прибиральної машини : пат. 45362 U Україна : МПК(2009) E 01 H 1/00. № u200904793 ; заявл. 15.05.2009 ; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

81. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску диференціальної дії : пат. 45902 U Україна : МПК(2009) F 15 B 21/00. № u200907617 ; заявл. 20.07.2009 ; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.

82. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії : пат. 53681 U Україна : МПК(2009) F 15 B 21/00. № u201005468 ; заявл. 05.05.2010 ; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.

83. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії : пат. 59966 U Україна : МПК(2011.01) F 15 B 21/00. № u201012854 ; заявл. 29.10.2010 ; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 11.

84. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії : пат. 66326 U Україна : МПК(2011.01) F 15 B 21/00. № u201108788 ; заявл. 12.07.2011 ; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.

85. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії : пат. 73070 U Україна : МПК(2006.01) F 15 B 21/00. № u201202354 ; заявл. 28.02.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17.

86. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії : пат. 81611 U Україна : МПК(2013.01) F 15 B 21/00. № u201214103 ; заявл. 11.12.2012 ; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 13.

87. Березюк О. В. Гідропривод ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі : пат. 90924 U Україна : МПК(2014.01) B 65 F 3/00. № u201400966 ; заявл. 03.02.2014 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.

88. Березюк О. В. Гідропривод перевертання контейнера з твердими побутовими відходами в кузов сміттєвоза : пат. 91672 U Україна : МПК(2014.01) B 65 F 3/00. № u201401777 ; заявл. 24.02.2014 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.

89. Березюк О. В. Пристрій для сортування твердих побутових відходів : пат. 92719 U Україна : МПК(2014.01) B 07 B 13/00. № u201404117 ; заявл. 16.04.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.

90. Березюк О. В. Генератор імпульсів тиску релейної диференціальної дії : пат. 92720 U Україна : МПК(2014.01) F 15 B 21/00. № u201404118 ; заявл. 16.04.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.

91. Березюк О. В. Гідропривод зневоднення та ущільнення твердих побутових відходів у сміттєвозі : пат. 109036 U Україна : МПК(2016.01) B 65 F 3/00. № u201601154 ; заявл. 11.02.2016. опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.

92. Березюк О. В. Вологомір : пат. № 134336 U Україна : МПК(2016.01) G 01 N 27/22. № u201812515 ; заявл. 17.12.2018 ; опубл. 10.05.2019, Бюл. № 9.

93. Березюк О. В. Ультразвуковий далекомір : пат. 139123 U Україна : МПК(2016.01) G 01 S 15/02, G 01 S 15/08. № u201905374 ; заявл. 20.05.2019 ; опубл. 26.12.2019, Бюл. № 24.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір:

94. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Планування експерименту" ("PlanExp") : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 46876. Київ : Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації: 21.12.2012.

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

96. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Математичне моделювання динаміки приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів" ("MatModel") : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 64349. Київ : Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації: 03.03.2016.

97. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Керуюча програма вологоміра твердих побутових відходів на базі мікроконтролерної плати Arduino UNO R3" : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 85655. Київ : Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації: 12.02.2019.

98. Березюк О. В. Комп'ютерна програма "Керуюча програма ультразвукового далекоміра для вимірювання відстані між сміттевозом і контейнером твердих побутових відходів із урахуванням параметрів середовища на базі мікроконтролерної плати Arduino Uno R3" : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 89720. Київ : Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстрації: 12.06.2019.

АНОТАЦІЯ

Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство (13 – механічна інженерія). – Хмельницький національний університет, Хмельницький, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню проблеми розробки науково-технічних основ проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. Проведено комплекс експериментальних та теоретичних досліджень, розроблено нові та удосконалено існуючі принципові схеми приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів, удосконалено конструкцію генератора імпульсів тиску релейної диференціальної дії для інтенсифікації вібраційних процесів у робочих органах комунальних машин, а також розроблено науково-обґрунтовані методики проектного розрахунку параметрів приводів зневоднення та подрібнення твердих побутових відходів під час їхнього попередньому ущільненні при завантаженні в кузов сміттевоза, навісного підмітального обладнання сміттевоза з регульованим груповим гідравлічним приводом із одним гідронасосом, встановлено раціональні співвідношення конструктивних параметрів машин на інших технологічних операціях. Результати розробок впроваджено у виробництво та навчальний процес і знайшли своє застосування в експериментальній моделі механізму зневоднення та подрібнення твердих побутових відходів при їхньому попередньому ущільненні. Використання запропонованих нових співвідношень конструктивних параметрів дозволило суттєво підвищити техніко-економічні показники сміттевоза в цілому (очікувана економія пального в розрахунку на один сміттевоз склала понад 178 л/рік) та надійність роботи приводів за рахунок покращення якості перехідних процесів.

Ключові слова: комунальні машини, сміттєвоз, привод, робочий орган, генератор імпульсів тиску, збирання, первинна переробка, проектування, математичне моделювання, тверді побутові відходи.

АННОТАЦИЯ

Березюк О.В. Научно-технические основы проектирования приводов рабочих органов машин для сбора и первичной переработки твердых бытовых отходов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение (13 – механическая инженерия). – Хмельницкий национальный университет, Хмельницкий, 2021.

Диссертация посвящена решению проблемы разработки научно-технических основ проектирования приводов рабочих органов машин для сбора и первичной переработки твердых бытовых отходов. Проведен комплекс экспериментальных и теоретических исследований, разработаны новые и усовершенствованы существующие принципиальные схемы приводов рабочих органов машин для сбора и первичной переработки твердых бытовых отходов, усовершенствована конструкция генератора импульсов давления релейного дифференциального действия для интенсификации вибрационных процессов в рабочих органах коммунальных машин, а также разработаны научно-обоснованные методики проектного расчета параметров приводов обезвоживания и измельчения твердых бытовых отходов при их предварительном уплотнении при загрузке в кузов мусоровоза, навесного подметального оборудования мусоровоза с регулируемым групповым гидравлическим приводом с одним гидронасосом, установлены рациональные соотношения конструктивных параметров машин на других технологических операциях. Результаты разработок внедрены в производство и учебный процесс и нашли свое применение в экспериментальной модели механизма обезвоживания и измельчения твердых бытовых отходов при их предварительном уплотнении. Использование предложенных новых соотношений конструктивных параметров позволило существенно повысить технико-экономические показатели мусоровоза в целом (ожидаемая экономия горючего в расчете на один мусоровоз составила свыше 178 л/год) и надежность работы приводов за счет улучшения качества переходных процессов.

Ключевые слова: коммунальные машины, мусоровоз, привод, рабочий орган, генератор импульсов давления, сбор, первичная переработка, проектирование, математическое моделирование, твердые бытовые отходы.

SUMMARY

Bereziuk O.V. Scientific and technical basis for designing highly efficient working bodies of machines for collecting and primary processing of municipal solid waste. – On the rights of the manuscript.

Thesis for a Doctor Degree in Engineering, specialty 05.02.02 – machine science (13 – mechanical engineering). – Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, 2021.

The dissertation is devoted to solving the problem of developing scientific and technical bases for designing drives of working bodies of machines for the collection and primary processing of municipal solid waste. System research and analysis allowed us to identify the main structural components of the processes of collection and primary processing of municipal solid waste: collection, primary processing, loading into vehicles with optimization of their density according to the criterion of transportation efficiency and methods of further handling of them, transportation, unloading. The interdependencies analysis of municipal solid waste characteristics and the main design and power parameters of the working bodies drives of machines is carried out. For each of the stages, generalized mathematical models of the working bodies drives of machines are developed and studied. The working processes in the drives of the working bodies of the machines are modeled, taking into account their interaction with municipal solid waste at each technological operation. The adequacy of the models and the convergence of the results are confirmed. The results of modeling and research of vibration drives using a pressure pulse generator of relay differential action allowed us to intensify the working processes in the drives of the working bodies of machines. A complex of experimental and theoretical studies was carried out, new and improved existing circuit diagrams of working bodies drives of machines for the collection and primary processing of municipal solid waste were developed, the design of a pressure pulse generator of relay differential action for the intensification of vibration processes in the working bodies of municipal machines was improved, and also developed scientifically-based methods of design calculation of the drives parameters for dewatering and grinding of municipal solid waste during their preliminary compaction when loading into the body of a dustcart, mounted sweeping equipment of a dustcart with a regulated group hydraulic drive with one hydraulic pump, established rational ratios of the design parameters of machines in other technological operations. The results of the developments were implemented in the production and educational process and found their application in the experimental model of the mechanism of dewatering and grinding of municipal solid waste during their preliminary compaction. The use of the proposed new ratios of design parameters made it possible to significantly improve the technical and economic performance of the dustcart as a whole (the expected fuel economy per dustcart was more than 178 liters/year) and the reliability of the drives by improving the quality of transients.

Keywords: municipal machines, dustcart, drive, working body, pressure pulse generator, collection, primary processing, design, mathematical modeling, municipal solid waste.

Підписано до друку 30.03.2021 р. Формат 29,7×42 ¼
Наклад 100 прим. Зам. № 2021-027
Віддруковано в інформаційному редакційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 65-18-06
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.