Міністерство захисту довкілля і природних ресурсів України
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

КОЦЮБА ІРИНА ГРИГОРІВНА

УДК 502.174:332.142.6 (043.5)

НАУКОВІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВОДЖЕННЯМ З ТВЕРДИМИ КОМУНАЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

Спеціальність: 21.06.01 – екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ — 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Державному університеті «Житомирська політехніка» Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, доцент
Хрутьба Вікторія Олександрівна,
Національний транспортний університет, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Петрук Василій Григорович,
Вінницький національний технічний університет, директор Інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Заслужений природоохоронець України
доктор технічних наук, професор
Внукова Наталія Володимирівна,
Харьківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри екології
доктор технічних наук, професор,
Крусір Галина Всеволодівна,
Одеська національна академія харчових технологій, завідувач кафедри екології харчових продуктів і виробництв

Захист відбудеться "12" травня 2021 року о 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035 та на сайті www.dea.ua

Автореферат розіслано "10" квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради 26.880.01 Т. Г. Іващенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Процеси глобалізації та суспільних трансформацій підвищили пріоритетність збереження довкілля та вимагають від України проведення термінових заходів. Накопичення відходів в Україні є важливою загальнодержавною проблемою, яка занадто довго системно не вирішувалася. Статистичні дані щодо динаміки утворення та накопичення відходів свідчать про їх постійне збільшення, що створює ризики для навколишнього середовища та здоров'я населення. В Україні тільки за 2019 рік накопичилось майже 53 млн. $м^3$ твердих побутових відходів, або понад 10 млн тон, більшість з яких було захоронено на 6 тис. сміттєзвалищ й полігонів загальною площею майже 9 тис. га (без урахування даних АР Крим та м. Севастополь). Попри те, що протягом останніх 30 років чисельність населення України скорочується, обсяги накопичення відходів постійно збільшуються. В умовах збільшення площ полігонів та незаконних звалищ відходів, зростає роль та значення системи управління відходами, що є особливо актуальним для об'єднаних територіальних громад регіонів країни.

Прийнята у 2017 р. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року створює умови для впровадження системного підходу до управління відходами на всіх рівнях державності, зменшення обсягів накопичення відходів та збільшення обсягу їх утилізації та використання. Повсюдно, відповідно до Стратегії, розробляються Регіональні плани управління відходами. Впровадження заходів, передбачених у цих документах, здійснюється, в першу чергу, на місцевому рівні об'єднаними територіальними громадами (ОТГ) та муніципальному рівні – в містах обласного чи районного значення. Отже, ефективне управління відходами в громадах є важливою передумовою забезпечення екологічної безпеки регіону. Проте, наявна криза у сфері надання комунальних послуг впливає на стан муніципального управління твердими комунальними відходами (ТКВ). Компанії, які працюють у сфері управління відходами, неспроможні забезпечити населення якісними комунальними послугами. Їх обладнання переважно є застарілим та зношеним. Лише незначна частка ТКВ із домогосподарств збирається роздільно та переробляється. В Україні існують окремі успішні підприємства, але їх кількість досить незначна.

Основним завданням комплексного розв'язання практичної проблеми управління потоками відходів в ОТГ є організація раціонального поводження з відходами відповідно сучасним еколого-економічним та ресурсним вимогам, що передбачає оптимізацію процесів санітарного очищення території громади, використання відходів як джерела сировини,

забезпечення екологічної безпеки, перехід від полігонного захоронення відходів до їх промислової переробки. Відсутність науково-обґрунтованих системних розробок щодо формування методологічного апарату, який зможе поєднати сучасні техніко-технологічні особливості системи управління ТКВ з інноваційними управлінськими рішеннями не дозволяють впровадити ефективну систему управління відходами на регіональному рівні для об'єднаних територіальних громад.

Таким чином, напрямком дисертаційного дослідження є формування нового підходу до створення сучасної ефективної системи управління ТКВ в об'єднаних територіальних громадах на основі розробки наукових методів дослідження комплексної оцінки то прогнозування впливу техногенного забруднення на навколишнє середовище для впровадження місцевих планів дій для забезпечення економіко-екологічної безпеки регіонів України через реалізацію інноваційних управлінських механізмів екологічної логістики та краудсорсингу Дослідження є інноваційними, актуальними та перспективними.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з виконанням НДР кафедри "Екологія" Державного університету "Житомирська політехніка": НДР № 42 "Механізм економіко-екологічної реабілітації суб'єктів господарювання від надзвичайних ситуацій, бойових дій як складова національної безпеки", номер державної реєстрації № 0116U005482, 2016–2018 р.р.; НДР № 457 "Проведення робіт з паспортизації р. Уж з метою розроблення заходів щодо відновлення сприятливого гідрологічного режиму", номер державної реєстрації № 0117U006216, 2017 р.; НДР №456 "Наукове обґрунтування забезпечення екологічно безпечного збирання, транспортування, зберігання, оброблення і захоронення відходів", номер державної реєстрації № 0117U006215, 2017 р.; НДР № 50 "Приладова система для вимірювання механічних величин (геометричних параметрів та параметрів руху об'єктів) з цифровими відеозображеннями", номер державної реєстрації № 0118U003153, 2018–2019 р.р.

Ідея роботи полягає у формуванні інтегрованої системи управління твердими комунальними відходами в об'єднаних територіальних громадах, яка зможе забезпечувати підвищення рівня екологічної безпеки регіону шляхом розроблення і впровадження краудсорсингової системи та інноваційних методів комплексного управління ТКВ в умовах децентралізації.

Метою дисертаційного дослідження є розробка методологічних основ інноваційної системи управління твердими комунальними

відходами в об’єднаних територіальних громадах для підвищення рівня екологічної безпеки регіонів України.

Для досягнення цієї мети поставлені наступні завдання.

1. Проаналізувати сучасний стан системи управління твердими комунальними відходами на регіональному рівні, що включає вивчення міжнародного і вітчизняного досвіду управління відходами, сучасних наукових досліджень та впровадження інноваційних управлінських технологій для удосконалення системи ТКВ у громадах.
2. Вдосконалити методологію управління відходами на регіональному рівні для застосування її в об’єднаних територіальних громадах шляхом розробки системної моделі інтегрованого управління ТКВ для об’єднаних територіальних громад з врахуванням інтересів зацікавлених сторін.
3. Провести експериментальні дослідження закономірностей і особливостей виникнення та поширення екологічної небезпеки ТКВ в м. Житомирі та Житомирській області.
4. Обґрунтувати механізм прогнозування динаміки змін в системі управління відходами для об’єднаних територіальних громад Житомирської області та м. Житомир.
5. Провести імітаційний експеримент прогнозування обсягів динаміки змін в системі управління відходами для об’єднаних територіальних громад Житомирської області та м. Житомир.
6. Розробити методи та інструменти впровадження регіональної програми управління твердими відходами та місцевих планів дій для об’єднаних територіальних громад, що забезпечують підвищення рівня екологічної безпеки регіону за рахунок формування екологічно орієнтованої логістичної системи управління відходами.
7. Розробити методологічні основи зниження рівня екологічної небезпеки шляхом впровадження механізмів екологічного краудсорсингу із залученням громадськості в систему управління ТКВ в об’єднаних територіальних громадах, що передбачає впровадження концепції екокраудсорсингу в систему управління відходами.
8. Розробити рекомендації щодо поліпшення системи управління твердими комунальними відходами, апробувати та впровадити їх в окремих ОТГ Житомирщини.

Об’єктом дослідження є процеси управління відходами в об’єднаних територіальних громадах.

Предметом дослідження є взаємозв’язки та взаємодія різних чинників впливу на відходоутворення в об’єднаних територіальних громадах та система інтегрованого управління відходами в ОТГ.

Методи дослідження. В роботі використані наукові методи теоретичного й емпіричного дослідження, основними з яких є системний підхід, методи аналізу та синтезу (абстрагування, формалізація, аналогія, класифікація тощо), структурний аналіз, експертне оцінювання, моделювання, у тому числі математичне, імітаційне, статистичне, графічне. Методологічну основу роботи складають загальнонаукові принципи проведення досліджень, теоретичні та методичні основи системного, процесного підходів. Теоретичну основу роботи складають фундаментальні положення екологічної безпеки та екологічного управління. Інформаційною базою дослідження є статистична інформація щодо стану довкілля та системи управління відходами, результати власних досліджень.

В дослідженні використано інноваційні методи сучасного управління екологічною безпекою в частині управління відходами (для стратегічного аналізу регіональної програми управління відходами); теорії систем і системного аналізу (для формалізації процесів управління відходами та розробки системних моделей); методи математичного та імітаційного моделювання для обробки експериментальних даних та прогнозування стану системи управління відходами; методи екологічної логістики та стратегічного краудсорсингу для формування сучасної інноваційної системи управління відходами), натурного моделювання (перевірка розроблених концепцій та використання моделей для управління ТКВ в об'єднаних територіальних громадах Житомирської області).

Для проведення експериментальних досліджень застосовано загальноприйняті фізико-хімічні методи аналізу. Обробка результатів експериментальних досліджень проводилося за допомогою кореляційно-регресійного аналізу.

Наукова новизна полягає у розробці основ методології впровадження оптимальних форм управління екологічною безпекою за рахунок формування сучасної системи управління твердими комунальними відходами в умовах децентралізації для об'єднаних територіальних громад з використанням інноваційних методів управління (екологічна логістика та екологічний краудсорсинг).

Наукова новизна запропонованих і обґрунтованих положень включає:

– *вперше* запропоновано модель системної динаміки для прогнозування обсягу накопичення твердих комунальних відходів, яка дозволяє оцінити обсяг та морфологічний склад відходів, що дає змогу ефективно здійснювати прогноз накопичення кількості твердих комунальних відходів в коротко- та довгостроковому періоді;

– *вперше* запропоновано для зниження рівня екологічної небезпеки в систему управління твердими комунальними відходами впроваджувати методи екологічного краудсорсингу із залученням громадськості на основі публічної оферти, що включає концепцію краудсорсингу, яка передбачає механізм залучення до вирішення проблеми поводження з ТКВ широке коло зацікавлених сторін з використанням активного Інтернет-обговорення та описує стейкхолдерів, які є агентами зацікавленого суспільства (соціальні експерти) з питань поводження з відходами;

- *набули подальшого розвитку та розширено наукові уявлення* щодо закономірностей і особливостей виникнення та поширення екологічної небезпеки впливу ТКВ для ОТГ Житомирської області, які, на відміну від існуючих, ґрунтувалися на проведенні системних експериментальних досліджень різних об'єктів та територій за період 2013-2018 р. р., а саме морфологічний склад ТКВ, гідрохімічний склад стічних фільтраційних вод полігонів, аналіз ґрунтів прилеглих територій та їх гідрологічний режим, що є базою для прогнозування впливів та обсягів накопичення ТКВ в моделі системної динаміки;

- *набули подальшого розвитку* критерії оцінювання рівня екологічних небезпек за рахунок включення показників впливу систем транспортування, розміщення і переробки ТКВ, що дозволяє оптимізувати систему управління відходами та визначати бізнес-структури для транспортування ТКВ;

– *набули подальшого розвитку* математичні моделі процесів відходоутворення в залежності від показників соціально-економічного розвитку м. Житомир та Житомирської області, які на відміну від існуючих описують залежності кількісного та якісного складу ТКВ від соціально-економічних показників розвитку міста з врахуванням динаміки утворення відходів та формують механізм прогнозування динаміки змін в системі поводження з відходами регіону;

– *удосконалено* методологію формування регіональних програм поводження з відходами на основі логістичного підходу, яка на відміну від існуючих доповнена морфологічною матрицею для формування морфологічних моделей зацікавлених сторін і дозволяє системно досліджувати всі можливі схеми сценаріїв виконання місії програми відповідно закономірностей будови (морфології) регіональної програми поводження з відходами;

– *удосконалено* сервісну модель електронної інформаційної системи управління відходами для реалізації виробничої програми управління відходами ОТГ, яка адаптована для окремих ОТГ, що включає обмін інформацією про склад та структуру матеріального

потоку відходів, значення емісій при тих чи інших процесах, що пов'язані з утворенням, зберіганням, транспортуванням та утилізацією відходів між керівниками ОТГ.

Практичне значення одержаних результатів.

Визначено основні стратегічні тенденції формування регіональної підсистеми управління ТКВ, що передбачають введення роздільного збору відходів, формування логістичної інфраструктури, яке включає будівництво сміттєперевантажувальних і сміттєсортувальних станцій.

Розроблено бізнес-стратегію впровадження екологічно-орієнтованої логістичної системи при управління регіональними програмами управління відходами ОТГ, яка передбачає послідовну реалізацію етапів – прийняття стратегічних рішень, формування тактичного рівня, реалізація оперативних та функціональних рішень.

Отримані залежності зміни морфологічного складу ТКВ Житомирської ОТГ та гідрохімічного складу стічних фільтраційних вод (фільтрату) дозволяють проводити моніторинг та контроль рівня забруднення фільтраційних вод полігону ТКВ Житомирської ОТГ.

Проведено імітаційний експеримент змін кількості населення та утворення відходів на коротко- і довгостроковий період, результати якого визначили прогнозні значення показників соціально-економічного розвитку Житомирської ОТГ та потенційні економічні наслідки діяльності з переробки відходів або відновлення ресурсів.

Розроблено програмний модуль "Municipal waste counter (MWC)", який дозволяє прогнозувати кількість ТКВ, що генеруються населенням ОТГ, визначати основні компоненти відходів. Програмний продукт розроблений за допомогою мови програмування Visual C# 7.0 у середовищі програмування Microsoft Visual Studio 2017 з використанням програмної платформи.NET Framework 4.5.1.

Запропонована схема комунікацій при реалізації крауд-проєктів між учасниками системи управління відходами.

Результати роботи впроваджено в організаційній діяльності Білокоровицької сільської ради Олевського району Житомирської області (довідка про впровадження від 09.03.2020 р. № 283) та управління у справах сім'ї, молоді та спорту Житомирської міської ради (довідка про впровадження від 16.10.2020 року № 709), у виробничій діяльності ТОВ "ЕКО ЗАХИСТ УКРАЇНА" (довідка про впровадження від 28.12.2020 р.), у господарській діяльності ТОВ "ЕКО-МБ" (довідка про впровадження від 10.03.2020 р. №10/01), в роботі Державної екологічної інспекції Поліського округу (довідка про впровадження від 16.05.2020 року № 29/05), у навчальний процес кафедри екології Державного університету "Житомирська політехніка"

(довідка про практичне впровадження від 10 березня 2020 року №44-23.07/486) під час викладання наступних дисциплін: "Екологічна безпека", "Управління та поводження з відходами", "Менеджмент відходів", а також в навчальний процес Житомирського професійного ліцею довідка про практичне впровадження від 10 грудня 2020 року №44) під час викладання наступних дисциплін: "Екологія", "Біологія" та "Географія".

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею та є самостійним дослідженням здобувача, що має наукове та практичне значення. Автором особисто обґрунтовано напрямок наукових досліджень, розроблено науково-теоретичні основи методології сучасного управління відходами на регіональному рівні для об'єднаних територіальних громад, узагальнено отримані результати, сформульовано висновки та наведені практичні рекомендації. Польові та експериментальні матеріали, дані лабораторних аналізів, літературні джерела опрацьовані особисто автором у період з 2013 до 2020 р.

Апробація результатів досліджень. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на Міжвузівській науково–практичній конференції студентів аспірантів і молодих учених "Екологічний розвиток країни в рамках Європейської інтеграції" (2014–2019 рр., Житомир), на Всеукраїнських наукових on–line конференціях студентів, магістрів та аспірантів з міжнародною участю "Сучасні проблеми екології та геотехнологій" (2015–2019 р.р., Житомир), на Науково–практичній конференції: "Вода: проблеми та шляхи вирішення" (2016 р., Рівне), на Всеукраїнських науково-практичних on-line конференціях аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Том 1. Промислова екологія (2017–2019 рр., Житомир), на Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених та студентів (25 квітня 2019 р., Одеса).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано (42 наукових праці) 19 статей у наукових фахових виданнях України, 3 у виданнях, що включені до міжнародних науково-метричних баз "Scopus" та "Web of Science", 1 стаття в зарубіжному виданні, отримано 7 свідоцтв про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір України, 12 тез та матеріалів доповідей на науково-технічних конференціях, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків до роботи, переліку використаних джерел із 300 найменувань та шести додатків. Загальний обсяг дисертації становить 341 сторінок (290 сторінок основного тексту), у роботі 109 рисунків, 78 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано доцільність та актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання досліджень, висвітлено наукове та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі "**Сучасний стан системи управління твердими комунальними відходами на регіональному рівні**" проведено аналіз науково-технічної літератури за темою дисертації, здійснено постановку проблеми підвищення екологічної безпеки при управлінні ТКВ шляхом впровадження сучасної системи інтегрованого управління в об'єднаних територіальних громадах. Основна увага приділена дослідженню сучасного стану поводження з відходами, вивченню та аналізу міжнародного досвіду в управління відходами тощо. Окремо виділені питання щодо досвіду застосування методів використання інноваційних технологій для відходами.

Проблема утворення та управління ТКВ в Україні залишається гострою і потребує нагального вирішення. Аналіз робіт Г. В. Петрука, Н. Ф. Абрамова, В. А. Безбородова, А. О. Дичко, О. Г. Васенкова, І. І. Дяченко, Ф. В. Мікушина, В. Г. Сергєєвої, Є. С. Сєверової, Ю. М. Трухіна, Л. Г. Федорова, І. П. Беляєв, О. В. Березюк, О. В. Мороз, А.О. Свентух, О. Т. Свентух, В. І. Савуляк, Є. І. Упирьова, присвячених проблемам управління в сфері управління відходами, довів необхідність вивчення всіх елементів соціальних, технологічних, екологічних та інших систем, що формують сферу обігу ТКВ в цілому. Дослідження сфери безпечного управління відходами вивчали такі науковці, як В. В. Попович, К. Б. Уткіна, А. Н. Некос, В. А. Пресадько, Н. В. Попович, Н. Р. Матушевська, С. О. Нікаров, Н. Б. Буряк. В роботах А. М. Гонопольского, А. М. Сачкова, О. М. Черп обґрунтовано методи рекуперації та захоронення відходів. Питання, що стосуються включення екологічної складової до системи логістичного управління та управління відходами розглядаються в працях Є. В. Крикавського, Н. В. Пахомової, Т. М. Скоробогатова, В. П. Мєшалкіна, М. М. Некрасової, В. О. Хрутьби.

Законодавча база управління відходами знаходиться в стадії реформування та повністю не сформована. Органи виконавчої влади та місцевого самоврядування ОТГ, які мають вирішувати наявні проблеми та формувати систему управління комунальними відходами на місцевому рівні в територіальних об'єднаних громадах як міських територій громади, так сільської місцевості, не мають для цього ні необхідних знать, досвіду та розробленого методичного забезпечення.

На території ЄС сформована законодавча система у вигляді низки Директив Європарламенту, що спрямовані на зменшення негативної

дії відходів як на довкілля, так і на здоров'я людини. Впровадження Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року передбачає адаптацію національного законодавства до вимог європейського законодавства. Сучасний міжнародний досвід пропонує безліч ефективних рішень по вирішенню проблеми накопичення ТКВ та впровадження сучасних технологій їх реалізації. Наявний досвід потребує адаптації до умов кожної держави та вимагає проведення постійних наукових досліджень в сфері управління відходами.

Застосування методів сучасного управління передбачає логістичний підхід при формуванні місцевих Програм поводження з відходами, що забезпечує ефективну реалізацію цих програм та зменшення негативного впливу відходів на довкілля. Реалізація програм передбачає залучення широкого кола зацікавлених сторін, що вимагає застосування нових інноваційних методів управління, наприклад, краудсорсингових мереж, як механізм реалізації потенціалу громадськості.

У другому розділі "**Наукові основи методології управління відходами для об'єднаних територіальних громад**" розкрито методи, що використовувалися при проведенні дослідження. Проведено системний та стратегічний аналіз.

Розроблена системна модель управління поводженням з ТКВ для об'єднаних територіальних громад з врахуванням інтересів зацікавлених сторін (рис.1) переводить множину якісних та кількісних показників ТКВ (вхідний стан системи $x(s)$) у еколого-економічні показники системи управління ТКВ (вихідний $y(s)$). Управляючими параметрами є множина методів поводження з відходами, які можуть реалізовуватися в ОТГ (керуючі впливи $u(s)$) за умови наявності зовнішніх обмежень $v(s)$ і некерованих впливів $z(s)$, яка на доповнена множиною стейкхолдерів системи управління відходами ОТГ. Модель дозволяє визначати шляхи управління відходами (попередження утворення, скорочення їх кількості, оптимізації потоків відходів за рахунок відновлення їх цінності, повторного використання, рециклінгу, утилізації та контролю за об'єктами розміщення відходів) для об'єднаних територіальних громад для запобігання шкідливому впливу відходів на довкілля та здоров'я населення.

Стратегічний аналіз передумов впровадження системи управління відходами на регіональному рівні (STEP і SWOT-аналіз) визначив передумови впровадження сучасних методів поводження з відходами для ОТГ.

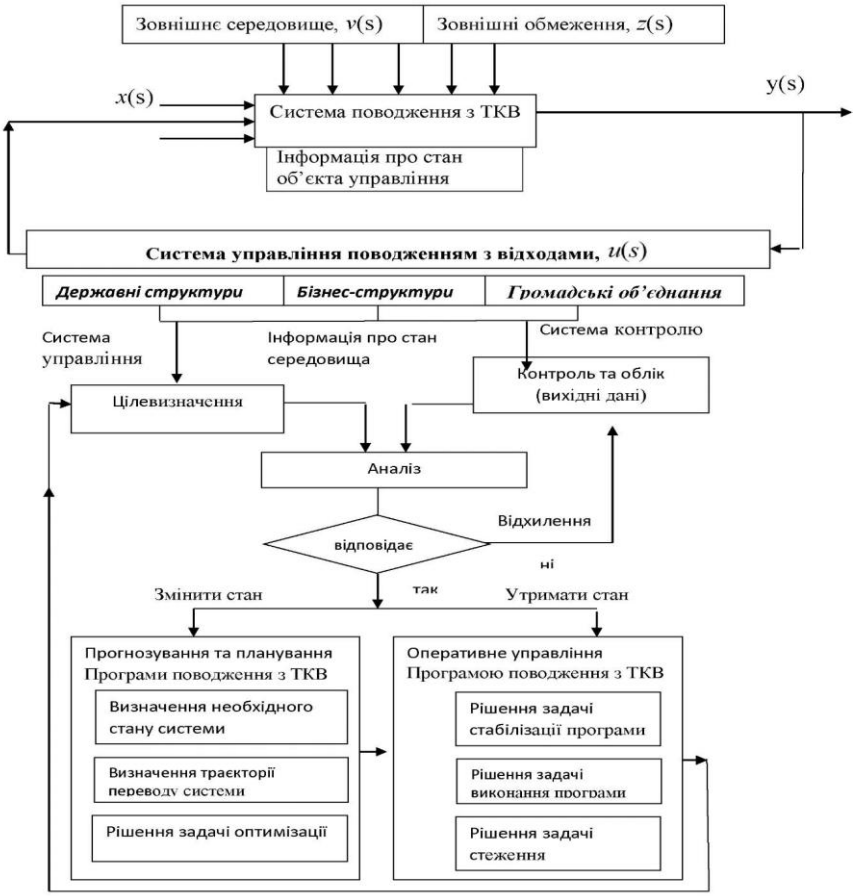


Рисунок 1 – Системна модель управління поводженням з відходами

Найслабшою стороною є низька ефективність існуючої системи управління поводження з відходами в області. Зовнішні можливості, які сприяють змінам є наявність сучасних інноваційних методів управління в органах державної влади і місцевого самоврядування. Найбільшою загрозою є відсутність комунікації та узгодження дій між зацікавленими сторонами під час вирішення проблеми.

Проведений аналіз дозволив сформувати концептуальну модель регіональної програми поводження з відходами на основі логістичного підходу (РП), яка може забезпечувати оптимальність управління системою управління відходами, включає різні напрямки рішення

проблем та реалізуються через окремі проєкти. Схематична модель системи функціонування регіонального плану поводження з відходами для ОТГ із включенням координаційного агенту для управління відходами для забезпечення управління всіма логістичними потоками ТКВ – фінансовими, матеріальними, інформаційними та фінансовими приведена на рис.2.

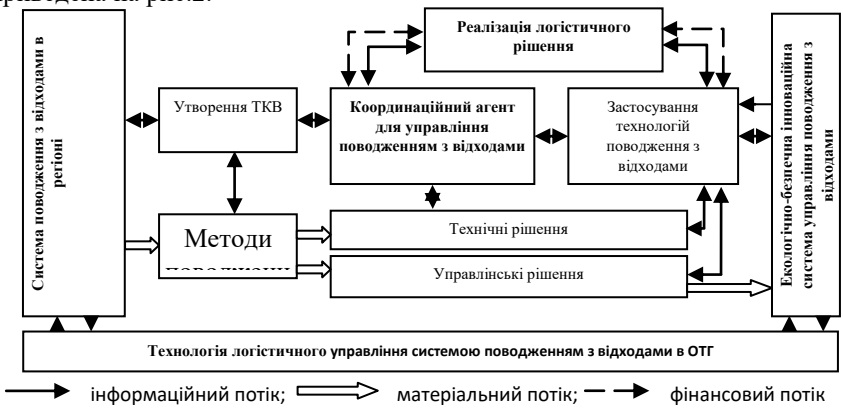


Рисунок 2 – Схематична модель логістичної системи функціонування регіонального плану поводження з відходами для ОТГ

Модель включає залучення координаційного агенту, як відокремленого суб'єкту, який здійснює управління всіма відходами, утворюваними на певній території В термінах теорії множин програму визначає стратегічна мета (M_i), ресурси (R_i), фінанси (F_i), інформація (I_i), координаційний агент (Ka_i).

$$PP = <M_i, R_i, F_i, I_i, Ka_i>. \quad (1)$$

Морфологічна модель регіональної програми управління відходами доповнена морфологічною матрицею для формування морфологічних формул для кожного стейкхолдера програми і дозволяє системно досліджувати всі можливі схеми сценаріїв виконання місії програми відповідно закономірностей її будови (морфології) Фрагмент морфологічної матриці приведено в табл.1.

Ефективність програми є динамічним показником *E=f(Rez),* визначається еколого-економічними показниками протягом всього життєвого циклу проєкту/програми. Якщо умовно позначити варіант *1.1* через $X_{1.1}$ варіант *1.2* через $X_{1.1}$ $X_{1.2}$ тощо, тоді модель програми можна представити у вигляді морфологічної множини (2):

Таблиця 1 – Фагмент морфологічної матриці параметрів системної моделі програми поводження з ТКВ

Мета (M)				Ресурси (R)				Фінанси (F)				Інформація (I)			
1. Pr (X_1)	2. Z (X_2)	3. Pl (X_3)	4. Rez (X_4)	5. Or (X_5)	6. L (X_6)	7. T (X_7)	8. P (X_8)	9. D (X_9)	10. G (X_{10})	11. V (X_{11})	12. Er (X_{12})	13. Id (X_{13})	14. Tox (X_{14})	15. Dok (X_{15})	16. Inz (X_{16})
1.1. Екологічні	2.1 Організаційне забезпечення ТКВ	3.1. Загальні цілі програми	4.1. Екологічний результат	5.1. Муніципальний органи управління поводженням з ТКВ		7.1. Час доставки ТТКВ	8.1. Бажання населення приймати участь в проектах програми поводження з відходами	9.1. Власні фінансові кошти підприємства	10.1. Масштаб утворення ТКВ	11.1. Витрати на збирання відходів	12.1. Чисті дисконтовані грошові потоки	13.1. Юридичний статус	14.1. Стратегічна місія організації	15.1. Вхідна документація	16.1. Екологічні показники програми
	2.2.Утилізація ТКВ	3.2. Локальні цілі окремих стейкхолдерів	4.2. Економічний результат	5.2. Органи державного екологічного управління,	6.1. Матеріальні ресурси	7.2. Час складування ТКВ		9.2. Різні форми позикових коштів,		11.2. Витрати на сортування відходів	12.2. Чиста теперішня вартість		14.2. Критерії оцінювання показників	15.2. Інформація по кожній фазі життєвого циклу програми	16.2. Економічні показники
1.2. Соціальні	2.3. Зберігання ТКВ			5.3. Виробники твердих відходів	6.2. Фінансові ресурси	7.3. Час. потрібний на реалізацію ТКВ	8.2. Зацікавленість до співпраці між зацікавленими сторонами	9.3. Вітчизняні та міжнародні інвестиції	10.2. Екологічний податок на утворення відходів	11.3. Витрати на переробку відходів	12.3. Коефіцієнт вигоди — витрати	13.2. Джерела фінансування	14.3. Рівень екологічних знань	15.3. Звіти описові	16.3. Соціальні показники
	2.4. Перевезення ТКВ	3.3 Завдання окремих стейкхолдерів	4.3. Показники освоєного об'єму	5.4. Громадські організації і заклади освіти				9.4. Лізинг		11.4. Витрати на перевезення відходів			14.4. Рівень знань про поводження з відходами	15.4. Звіти фінансові	16.4. Інтегрований показник ефективності

$$PP = M \cup R \cup F \cup I, \qquad (2)$$

$$PP = \begin{cases} M = \begin{cases} x_{1.1}, x_{1.2}, x_{1.3}, x_{1.4}, x_{1.5}, x_{1.6} \\ x_{2.1}, x_{2.2} \\ x_{3.1}, x_{3.2}, x_{3.3}, x_{3.4}, x_{3.5}, x_{3.6}, x_{3.7}, x_{3.8} \\ x_{4.1}, x_{4.2}, x_{4.3}, x_{4.4}, x_{4.5}, x_{4.6}, x_{4.7} \end{cases} \bigcup R = \begin{cases} x_{5.1}, x_{5.2}, x_{5.4}, x_{5.5}, x_{5.6}, x_{5.7}, x_{5.8}, x_{5.9}, x_{5.10} \\ x_{6.1}, x_{6.2}, x_{6.3}, x_{6.4} \\ x_{7.1}, x_{7.2}, x_{7.3}, x_{7.4}, x_{7.5}, x_{7.6} \\ x_{8.1}, x_{8.2}, x_{8.3}, x_{8.4}, x_{8.5} \end{cases} \bigcup \\ F = \begin{cases} x_{9.1}, x_{9.2}, x_{9.3}, x_{9.4}, x_{9.5}, x_{9.6}, x_{9.7}, x_{9.8}, x_{9.9} \\ x_{10.1}, x_{10.2}, x_{10.3}, x_{10.4}, x_{10.5}, x_{10.6}, x_{10.7}, x_{10.8}, x_{10.9} \\ x_{11.1}, x_{11.2}, x_{11.3}, x_{11.4}, x_{11.5}, x_{11.6}, x_{11.7}, x_{11.8}, x_{11.9} \\ x_{12.1}, x_{12.2}, x_{12.3}, x_{12.4}, x_{12.5}, x_{12.6} \end{cases} \bigcup I = \begin{cases} x_{13.1}, x_{13.2}, x_{13.3}, x_{13.4}, x_{13.5}, x_{13.6}, x_{13.7} \\ x_{14.1}, x_{14.2}, x_{14.3}, x_{14.4}, x_{14.5}, x_{14.6}, x_{14.7}, x_{14.8} \\ x_{15.1}, x_{15.2}, x_{15.3}, x_{15.4}, x_{15.5}, x_{15.6}, x_{15.7}, x_{15.8} \\ x_{16.1}, x_{16.2}, x_{16.3}, x_{16.4}, x_{16.5}, x_{16.6}, x_{16.7}, x_{16.8} \end{cases} \end{cases}$$

Розроблені моделі є базою для формування сучасних систем управління відходами ОТГ за умови, що будь-які технології та заходи, в тому числі скорочення кількості відходів, їх рекуперація, утилізація, транспортування, поховання, тощо розроблюють комплексно з доповненням один одного.

У третьому розділі **"Експериментальні дослідження проблеми поводження з відходами (на прикладі Житомирської області)".** Визначено особливості управління твердими комунальними відходами в ОТГ м. Житомир та Житомирській області. Представлено результати досліджень морфологічного складу комунальних відходів; впливу фільтраційних вод полігону твердих комунальних відходів Житомирської ОТГ на стан довкілля за період 2013-2020 р.р.. Проаналізовано вплив полігону на ґрунти прилеглих територій.

Визначено особливості впливу полігону на гідрологічний режим окремих територій.

Якісний аналіз системи управління відходами Житомирської області дозволив визначити основні проблеми у сфері управління комунальними відходами, кількість та виявити основні причини, а саме низька ефективність існуючої системи управління, впровадження застарілих та низько ефективних методів управління, відсутність ефективної взаємодії між учасниками процесу поводження з відходами відсутність залучення громади для вирішення проблеми.

Експериментальні дослідження системи управління ТКВ для різних ОТГ Житомирської області включили проведення системних досліджень різних об'єктів та територій за період 2013-2018 р.р., а саме морфологічний склад ТКВ, гідрохімічний склад стічних фільтраційних вод полігонів, аналіз ґрунтів прилеглих територій та їх гідрологічний режим, що дозволило кількісно визначити сучасний стан наявних проблем, виявити значні перевищення вмісту шкідливих речовин у ґрунтах та ґрунтових водах на територіях ОТГ Житомирщини.

Дослідженнями морфологічного складу відходів для окремих ОТГ Житомирської області (м. Бердичева, м. Коростень та ін.) та для м. Житомир, які проводилися у 2013, 2015, 2017 та 2018 р.р. встановлено, що у ваговому відношенні в складі ТКВ переважають органічні (31,4 – 34,0 %) і картонно-паперові (18,5 – 20,5 %) складові та полімерні матеріали (16,9 – 18,5 %). Морфологічний склад залежить від природно-кліматичних умов, сезонності, терміну накопичення, рівня благоустрою помешкань, наявності роздільного збору ТКВ, рівня розвитку ринку вторинної сировини тощо.

Всі комунальні відходи Житомирської ОТГ без сортування вивозяться на полігон ТПВ м. Житомир із загальною площею 21,57 га, площею захоронення – 18,7 га. Дослідження впливу фільтраційних вод полігону ТКВ Житомирської ОТГ на стан довкілля визначили, що за рік на тіло полігона з твердими побутовими відходами вноситься 32,4 тис. $м^3$ гравітаційної води. Розрахунковий об'єм фільтрату, який накопичується за рік, розрахований на основі аналізу водного балансу полігону, складає 51,47 тис. $м^3$/рік чи 141 $м^3$ на добу або 46,54 т за питомої маси 0,333 т/$м^3$, розрахункова вологість – 60 %. Хімічний аналіз фільтрату, що просочився на поверхню, показав перевищення ГДК забруднюючих речовин порівняно з нормативами якості води, водних об'єктів господарсько-питного значення. Показники хімічного споживання кисню (ХСК) становлять 124 мг O_2/$дм^3$ (норма 30 мг O_2/$дм^3$), біологічного споживання кисню (БСК) – 48 мг O_2/$дм^3$

(6 мг O_2/дм^3), вміст кобальту – 1,8 мг/дм^3 (0,1 мг/дм^3), заліза загального – 2,0 мг/дм^3 (0,3 мг/дм^3), кадмію – 0,1 мг/дм^3 (0,001 мг/дм^3), свинцю – 0,3 мг/дм^3 0,01 мг/дм^3. Сезона динаміка фізико-хімічних показників фільтрату полігону приведена на рис.3.

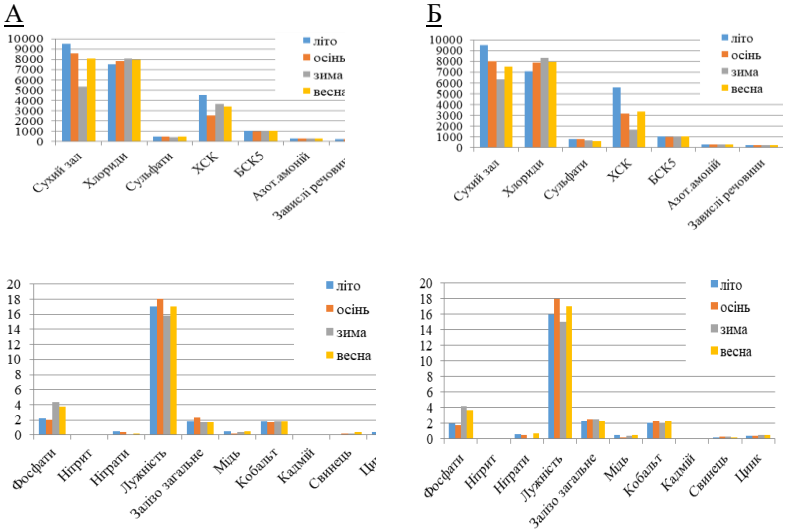


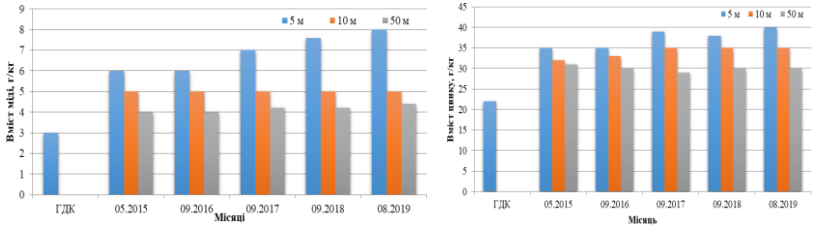
Рисунок 3 – Сезона динаміка фізико-хімічних показників фільтрату з відстійника № 1 (*а*) та відстійника № 2 (*б*), мг\м^3

Порівняння показників складу фільтраційних вод звалища ТКВ Житомирської ОТГ та хімічного складу фільтраційних вод звалища на різних стадіях біодеструкції, показало, що його склад є характерним для полігонів та звалищ, що знаходяться на завершальних етапах життєвого циклу. Проникнення фільтрату в ґрунти і підземні води призводить до забруднення довкілля небезпечними органічними й неорганічними сполуками та різними мікроорганізмами.

Аналіз впливу полігону на ґрунти прилеглих територій до полігона ТПВ земельних ділянок, які розташовані від території звалища на відстані 50 м та 200 м. Згідно з отриманими результатами аналізу вміст таких забруднюваних речовин як нітрати, мідь, сірка, нікель, кобальт, хром, свинець відповідали нормативам гранично-допустимих концентрацій. Спостерігається перевищення вмісту шкідливих речовин у ґрунтах порівняно з фоном та ГДК по азоту амонійному в 2–4 рази, залізо – 2–10 рази, кадмій та хлоридам – в 2–6 рази (рис.4а,б).

Результати досліджень показують, що вміст цинку перевищено у 1,4-1,5 рази (31-35 мг/кг при нормі 23 мг/кг) та міді – в 1,5-2 рази (4,5-

6,0 мг/кг при нормі 3,0 мг/кг). Причому найбільші значення спостерігаються ближче до меж полігону.



мідь цинк

Рисунок 4 – Вміст міді та цинку в ґрунтах санітарно-захисної зони полігона ТПВ м. Житомира 2015- 2019 р.р.

Вплив полігонів на гідрологічний режим окремих територій розглянуто на прикладі Житомирського полігону ТПВ, який за розташуванням, природними умовами, морфологією твердих побутових відходів, технологічним процесом є типовим для України. Результати дослідження свідчать, що поверхневі води в районі розташування полігону є непридатними для побутово-питного і культурно-оздоровчого водокористування. Користування цими водами створює екологічну небезпеку для життя і здоров'я населення та формує потужний негативний вплив на навколишнє середовище.

У четвертому розділі **"Прогнозування динаміки змін в системі управління відходами Житомирської області"** проведено моделювання впливу показників соціально-економічного розвитку Житомирської ОТГ та області на процеси відходоутворення, моделювання змін морфологічного складу твердих комунальних відходів Житомирської ОТГ та моделювання забруднення фільтраційних вод полігону ТКВ Житомирської ОТГ. Представлено результати імітаційного експерименту прогнозування обсягів та морфологічного складу ТКВ Житомирської територіальної громади.

Обробка представлених в розділі 3 експериментальних даних та визначення динаміки показників соціально-економічного розвитку Житомирської об'єднаної територіальної громади здійснювалась методом найменших квадратів. Результати апроксимації динаміки показників соціально-економічного розвитку Житомирської ОТГ та області на процеси відходоутворення представлено на рис.5 та в табл.2. Адекватність одержаних моделей визначалась за коефіцієнтом детермінації (R^2).

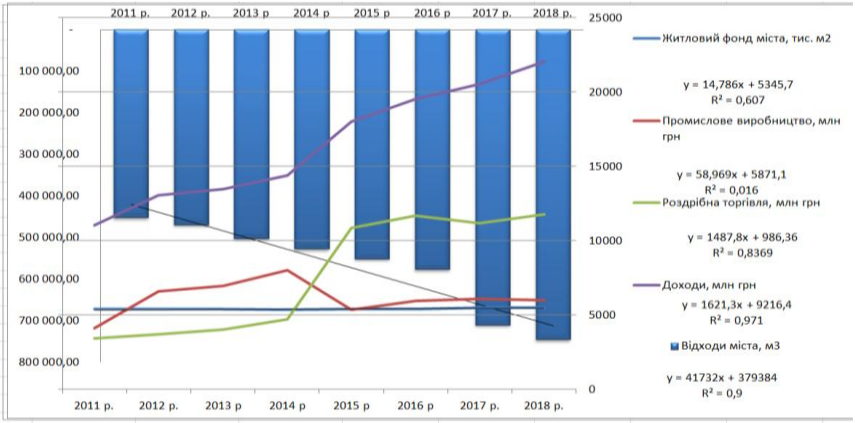


Рисунок 5 – Динаміка показників соціально-економічного розвитку Житомирської ОТГ

Таблиця 2 - Математичні моделі показників соціально-економічного розвитку Житомирської ОТГ

Чинники	Вид математичної моделі	R^2
Чисельність населення	C_n = –0,9883c + 273,89, де c - кількість населення в регіоні, тисячі осіб	0,9137
Житловий фонд міста,	G_t = 14,786 g + 5345,7, де g – площа житла, млн. кв.м	0,6072
Промислове виробництво	R_n = 58,969r – 5871,1, де r – обсяг промислового виробництва, млн. грн	0,8467
Роздрібна торгівля	P_n = 1487,8p – 986,36, де p – показники роздрібної торгівлі та громадського харчування, млн. грн	0,8434
Доходи	D = 108,07d^2 – 433477d, де d – дохід домогосподарств, млн. грн	0,9861
Відходи міста	Q = 41732q + 379384, де q – кількість утворених відходів, $м^3$	0,9027

Представлені моделі описують залежності кількісного та якісного складу ТКВ складу від валового регіонального продукту міста та Житомирської області. Вони враховують динаміку змін кількості населення (C_n), обсягу житлового фонду (G_t), промислового виробництва (R_n), показників роздрібної торгівлі та громадського харчування (P_n), доходів домогосподарств (D) та динаміку обсягу

утворення відходів (Q) та формують механізм прогнозування динаміки змін в системі поводження з відходами регіону.

Для визначення динаміки змін та тенденції залежності компонентів морфологічного складу від валового регіонального продукту на території міста та Житомирської області (Україна) протягом 2009–2017 років розроблено математичні моделі у вигляді регресійних рівнянь n-го порядку. Залежності вмісту органічних, полімерних, картонно-паперових та металевих відходів в складі ТПВ від валового регіонального продукту приведено на рис. 6.

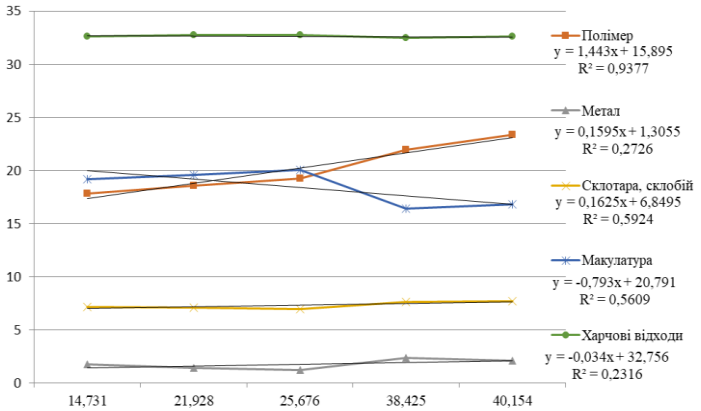


Рисунок 6 – Залежність морфологічного складу відходів від валового регіонального продукту

З результатів апроксимації видно, що зв'язок величин практично функціональний, а коефіцієнт детермінації складає 0,77 – 0,98. Таким чином, зміна кількості ВРП (77–98 %) визначає зміну вмісту компонентів морфологічного складу ТКВ.

Для побудови математичних моделей динаміки забруднення фільтраційних вод полігону ТКВ Житомирської ОТГ, які б характеризували процеси забруднення фільтраційних вод полігону ТКВ, використано статистичні дані впливу фільтрату полігону на сміттєзвалище Житомирської ОТГ. В табл. 3 представлені залежності динаміки змін вмісту хімічного складу фільтрату полігону ТПВ з 2009 року до 2017 року.

Усі математичні моделі та отримані результати добре відображають динаміку та тенденції залежності змін гідрохімічних показників фільтрату звалища ТКВ Житомирської об'єднаної

територіальної громади протягом 2009–2017 років, що підтверджується значенням коефіцієнтів детермінації.

Таблиця 3 – Залежності динаміки змін хімічного складу фільтрату полігону ТПВ

Концентрація хімічних речовин у фільтраті	Вид математичної моделі	R^2
Сухий залишок	$C_{с.з.} = 59{,}183x + 7746$	$R^2 = 0{,}7936$
Сульфати	$C_{сульфат.} = 2{,}1042x + 622{,}44$	$R^2 = 0{,}8688$
ХСК	$C_{ХСК.} = 16{,}259x + 2901{,}6$	$R^2 = 0{,}7583$
$БСК_5$	$C_{БСК5} = 6{,}1567x + 978{,}44$	$R^2 = 0{,}9108$
Залізо загальне	$C_{Fезаг.} = 0{,}0315x + 1{,}7921$	$R^2 = 0{,}8615$
Нітрогену амонійного	$C_{N\ амон.} = 0{,}9258x + 322{,}29$	$R^2 = 0{,}9556$

Математичні моделі процесів дозволяють використовувати їх для прогнозування тенденції зміни показників протягом досліджуваного періоду, визначати можливості подальшого використання полігону ТКВ та оцінити його вплив на навколишнє середовище.

Для прогнозування розвитку системи управління твердими комунальними відходами Житомирської ОТГ проведено імітаційний експеримент та розроблено модель системної динаміки на основі проведених досліджень. Для визначення системних змінних моделі використовують методику комп'ютерного моделювання, що реалізовано у вигляді програми "Municipal waste counter (MWC)".

Під виробництвом відходів будемо розуміти загальну кількість утворених відходів, яка розраховується шляхом множення швидкості утворення відходів (кг/добу на душу населення) на загальну кількість чисельність населення. Основна змінна моделі – кількість населення, як основного джерела генерації відходів та витрати на їх вилучення. Модель включає компоненти відходів (картон, скло, органічні, паперові, пластмасові тощо). Вона дозволяє розрахувати кількість генерованих ТПВ кожного типу. Модель вважається визначеною, коли параметри та початкові значення для змінних визначені.

Різниця між народжуваністю та смертністю визначає кількість населення (C_n) для обчислення обсягу утворення відходів (Q). Темп приросту населення використовувався для розрахунку генерації відходів. Обсяг утворення ТПВ залежить від обсягу житлового фонду (G_t), показників роздрібної торгівлі та громадського харчування (P_n), промислового виробництва (R_n) та доходів домогосподарств (D).

Для прогнозування використовували підхід "припущення". Дані 2014 року сформували "нульову гіпотезу" та року були використані для перевірки адекватності моделі та калібрування її параметрів.

Імітаційна модель утворення відходів у 2014 р., побудована в середовищі AnyLogic 7, представлена на рис. 7. Фрагмент імітаційної моделі для визначення впливів у системі приведено на рис.8.

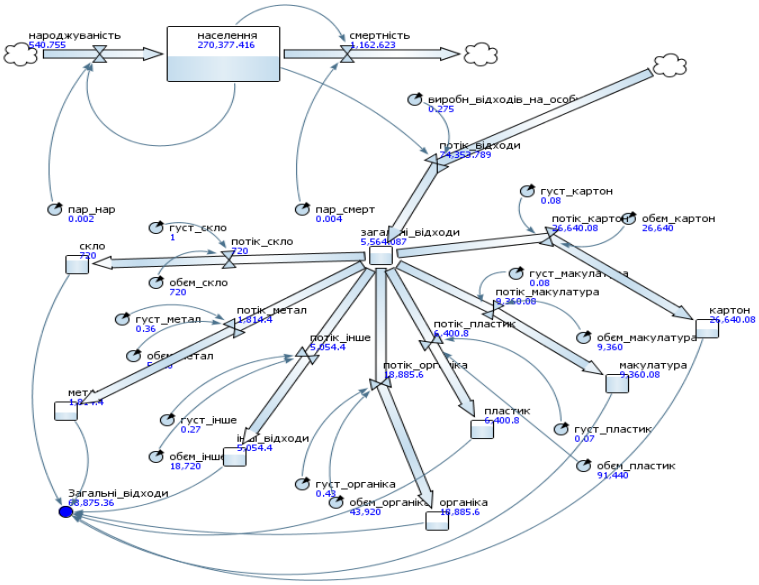


Рисунок 7 – Імітаційна модель утворення відходів у 2014 р.

Модель визначає прогнозовану кількість населення та обсяг утворених відходів. Похибка обчислення не перевищує 5%. Для прикладу, у 2014 році кількість населення склало 270,9 тис. чол. Прогнозована чисельність населення по моделі (рис. 7, 8) – 270,38 тис. чол.

Модель дозволяє прогнозувати кількість кожного компонента за період часу та вартість переробки або утилізації відходів. Наприклад, у 2014 р. населення виробляло 18 886 кг харчових відходів та 720 кг скляних відходів. В 2017 році скляні відходи складуть 360 кг, а харчові – 94428 кг.

Ця модель також забезпечує розуміння майбутнього та допомагає в плануванні найкращих способів утилізації або переробки таких відходів. На рис. 9 приведена імітаційна модель виробництва відходів на станом на 2020 р. Аналіз результатів моделювання за період 6 років показує, що очікується зростання обсягу відходів з одночасним зменшенням кількості населення області та зміною соціально - економічних умов.

Рівняння для опису кількості населення:

$населення(t) = населення(t - \Delta t) + потік_населення * \Delta t,$

де потік_населення = пар_нар * населення$(t - \Delta t)$ − пар_смерт * населення $(t - \Delta t)$

Рівняння для опису змін кількості загальних відходів:

$загальні_відходи(t) = загальні_відходи(t - \Delta t) + потік_відходи * \Delta t,$

де $потік_відходи = населення(t - \Delta t) * виробн_відходів_на_особу.$

Рівняння для опису динаміки змін кількості складових відходів, а саме скла:

$скло(t) = скло(t - \Delta t) + потік_скло * \Delta t,$

де $потік_скло = густ_скло *$ обєм_скло.

Рівняння для опису динаміки змін кількості металевих відходів:

$метал(t) = метал(t - \Delta t) + потік_метал * \Delta t,$

де $потік_метал = густ_метал *$ обєм_метал.

Рівняння для опису динаміки змін кількості картонних відходів:

$картон(t) = картон(t - \Delta t) + потік_картон * \Delta t,$

де $потік_картон = густ_картон *$ обєм_картон

Рівняння для опису динаміки змін кількості макулатури:

$макулатура(t) = макулатура(t - \Delta t) + потік_макулатура * \Delta t,$

де $потік_макулатура = густ_макулатура * обєм_макулатура$

Рівняння для опису динаміки змін кількості пластикових відходів:

$пластик(t) = пластик(t - \Delta t) + потік_пластик * \Delta t,$

де $потік_пластик = густ_пластик *$ обєм_пластик

Рівняння для опису динаміки змін кількості органічних відходів:

$органіка(t) = органіка(t - \Delta t) + потік_органіка * \Delta t,$

де $потік_органіка = густ_органіка *$ обєм_органіка

Рівняння для опису динаміки змін кількості відходів категорії «інші»:

$інші_відходи(t) = інші_відходи(t - \Delta t) + потік_інше * \Delta t,$

де $потік_інше = густ_інше *$ обєм_інше.

Рисунок 8 – Фрагмент імітаційної моделі для визначення впливів у системі

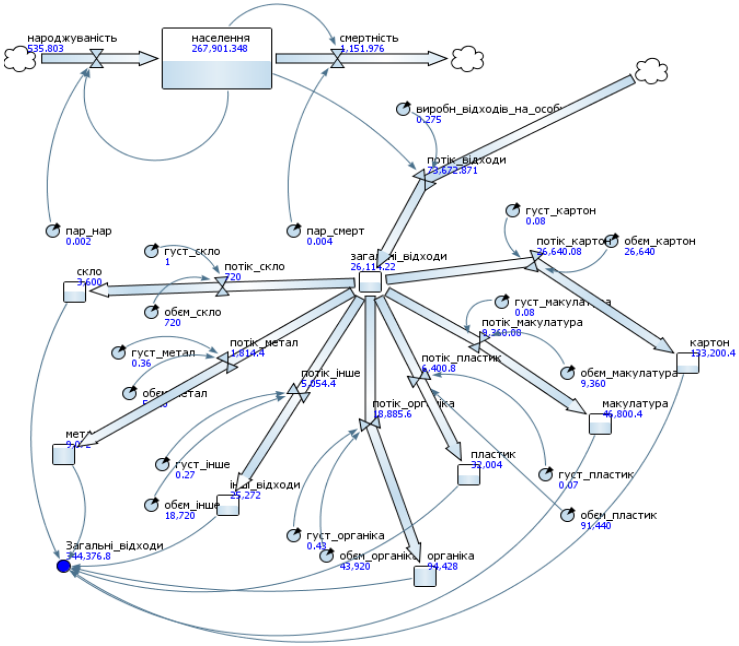


Рисунок 9 – Імітаційне моделювання утворення ТКВ станом на 2020 р.

Використовуючи отримані результати, визначили прогнозні значення показників соціально-економічного розвитку Житомирської ОТГ, які представлено в табл.4.

Таблиця 4 – Прогнозування показників, що впливають на обсяг накопичення ТКВ Житомирської об'єднаної територіальної громади

Фактор\рік	Прогнозовані дані				
	2017	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
c_n, тис. чол	264,1111	258,628	254,6037	248,3524	244,1067
$g_ф$, тис. м^2	5385,24	5396,501	5385,737	5398,952	5391,151
p_p, млн грн	5940,151	6100,914	6248,8	6385,722	6513,194
r_n, млн грн	11666,22	11998,36	12305,87	12592,15	12859,96
d_n, млн грн	21907,42	24492,6	27293,92	30311,38	33544,98
$q_{ТКВ}$, м^3	578617	595338	612059	728780	745501

Аналіз даних показує, що приросту кожного з ресурсів відповідає позитивний приріст ТКВ. Популяція зменшується з базисного року до 244,106 тис. чол. на кінець моделювання. Якщо врахувати постійні темпи народження та смерті, то до кінця 2021 року кількість населення становитиме 244106 чоловік.

В табл.5 приведено результати прогнозування показників, що впливають на обсяг накопичення ТКВ об'єднаної територіальної громади Житомирської області

Таблиця 5 – Прогнозування показників, що впливають на обсяг накопичення відходів ОТГ Житомирської обл.

Фактор\рік	Прогнозовані дані						
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
c_n, *ис. чол.*	1226,6	1219,3	1211,9	1204,35	1196,7	1188,86	1180,9
$g_ь$ *тис. м*^{2}	33,76	33,75	33,71	33,67	33,61	33,54	33,46
$p_п$, *млн.грн.*	29109	29978	30644,2	31108,46	31371	31430,5	31288,3
$r_п$, *млн. грн.*	15137	16332	17542,98	18771,15	20016,4	21278,8	22558,3
$d_п$,*млн. грн.*	66069	72250,	78759,6	85597,47	92763,9	100258,	108082,4
$q_{ТКВ,}$ *м*^{3}	6129	5893,2	5768,5	4972,8	5171,7	4878,9	4691,2

Модель є інструментом прогнозування показників впливу на обсяг накопичення ТКВ Житомирської ОТГ і може використовуватися для прийняття управлінських рішень організації системи управління ТПВ районі м. Житомира та Житомирської області.

У п'ятому розділі **"Методи та інструменти методології інтегрованого управління відходами"** представлено методи та інструменти впровадження регіональної програми поводження з відходами на основі логістичного підходу (екологічно орієнтована логістична система при управлінні програмами поводження з

відходами для ОТГ та логістичні процеси транспортування комунальних відходів). Представлено методологічні основи краудсорсингу для управління відходами.

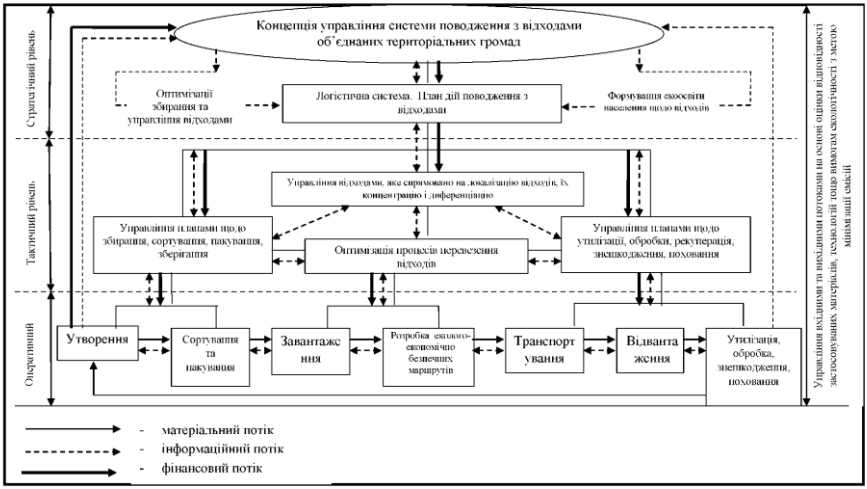


Рисунок 10 – Складові логістичного підходу концепції управління системи поводження з відходами для ОТГ

Впровадження концептуальної моделі екологічно-безпечної інноваційної логістичної системи управління відходами, як інтегрованої комплексної системи поводження з відходами для об'єднаних територіальних громад, ґрунтується на трьох рівнях регіонального управління – стратегічному, тактичному, операційному. Складові логістичного підходу концепції управління системи поводження з відходами для ОТГ приведено на рис.10. Включає інтеграцію процесів безпечного зберігання, переробки, транспортування, захоронення, знешкодження твердих комунальних відходів із залученням нових сучасних підходів до формування системи управління відходами на рівні об'єднаних територіальних громад

Новизна концепції логістичного підходу в управлінні системи управління відходами полягає у зміні пріоритетів при розподілі взаємозв'язків в управлінні ТКВ та включає формування екологічної свідомості і культури поводження з відходами всіх стейкхолдерів. На рис. 11 наведена схема запропонованої логістичної системи функціонування регіонального плану поводження з відходами для ОТГ із включенням координаційного агенту для управління відходами.

Таким чином, концепція управління відходами ОТГ передбачає наявність координаційного агенту та реалізація постійного підвищення рівня знань, що передбачає впровадження нових бізнес-напрямків для реалізації проектів програми. Координаційний агент забезпечує управління всіма логістичними потоками ТКВ – фінансовими, матеріальними, інформаційними.

Матеріальні потоки ТКВ можна представити відповідними множинами:

$$W_{TKB} = (W_{met}, W_{glass}, W_{other\ wastes}, W_{PET\ plastic\ products}, W_{paper}), \quad (2)$$

де W_{met} – матеріальні потоки відходів металевих виробів, які мають вигляд множини:

$$W_{met} = (W_{tin\ cans}, W_{cans}, W_{metal\ covers}), \quad (3)$$

де $W_{tin\ cans}$ – матеріальні потоки відходів жерстяних банок, W_{cans} – відходи консервних банок, $W_{metal\ covers}$ –відходи металевих кришок.

W_{glass} – матеріальні потоки відходів скла мають вигляд множини:

$$W_{glass} = (W_{glass\ bottles}, W_{glass\ products}), \quad (4)$$

де $W_{glass\ bottles}$ – матеріальні потоки відходів пляшок скляних,

$W_{glass\ products}$ –відходів скляних виробів.

$W_{other\ wastes}$ – матеріальні потоки відходів інших відходів мають вигляд множини:

$$W_{\text{other wastes}} = (W_{\text{organic species}}, W_{\text{debris}}, W_{\text{wood}}, W_{\text{leaf}}, W_{\text{textile}}), \quad (5)$$

де $W_{\text{organic species}}$ – матеріальні потоки відходів органічних, W_{debris} – будівельного сміття, W_{wood} – відходів деревини, W_{leaf} – відходів листя, W_{textile} –відходів текстилю, $W_{\text{PET plastic products}}$ – матеріальні потоки відходів пластикових виробів мають вигляд множини:

$$W_{\text{PET plastic products}} = (W_{\text{containers}}, W_{\text{bottles}}, W_{\text{container}}, W_{\text{bottles}}, W_{\text{plastic covers}}, W_{\text{caps}}), \quad (6)$$

де $W_{\text{containers}}$ – матеріальні потоки відходів пакувальних матеріалів, W_{bottles} – пляшки, $W_{\text{container}}$ – тара, W_{bottles} – косметичні відходи та побутова хімія, $W_{\text{plastic covers}}$ – пластикові кришки, W_{caps} – відходи ковпачків.

W_{paper} – матеріальні потоки відходів паперу мають вигляд:

$$W_{\text{paper}} = (W_{\text{newspapers, magazines}}, W_{\text{cardboard boxes}}, W_{\text{paper packaging}}, W_{\text{wastepaper}}), \quad (7)$$

де $W_{\text{newspapers, magazines}}$ – матеріальні потоки відходів газет, журналів, $W_{\text{cardboard boxes}}$ – картонні ящики, $W_{\text{paper packaging}}$ – паперова тара, $W_{\text{wastepaper}}$ – матеріальні потоки відходів макулатури.

Перерозподіл визначених матеріальних потоків ТКВ в окремих ОТГ за умов недетермінованості майбутніх витрат на реалізацію процесів управління відходами здійснюється з врахуванням особливостей технологічних процесів та наявних виробничих ресурсів суб'єктів господарювання і має забезпечувати мінімальні збитки для довкілля при функціонуванні системи управління відходами. Для Економіко-математична модель дозволяє оптимізувати виробничу програму ОТГ для впровадження логістичної системи управління відходами через реалізацію процесів поводження з відходами:

$$\left.\begin{array}{c} z = \sum_{j=1}^{n}(p_j + c_j)x_j + \sum_{i=1}^{m} q_i y_i + \sum_{i=1}^{m} q_i w_i \to \min, \\ \sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j - y_i = 0, \quad i = \overline{1,m}, \\ y_i - v_i + w_i = b_i, \quad i = \overline{1,m}, \\ x_j^{\min} \le x_j \le x_j^{\max}, \quad j = \overline{1,n}, \quad y_i^{\min} \le y_i \le y_i^{\max}, \quad i = \overline{1,m}, \\ v_i^{\min} \le v_i \le v_i^{\max}, \quad i = \overline{1,m}, \quad w_i^{\min} \le w_i \le w_i^{\max}, \quad i = \overline{1,m}, \end{array}\right\} \quad (7)$$

де x_j – обсяг відходів j -го виду, які утворюються в окремому ОТГ; y_i – обсяг виробничого споживання i -го ресурсу суб'єктів господарювання в системі управління відходами; x_j^{min}, x_j^{max} – відповідно, нижня та верхня межі обсягу відходів j -го виду, які утворюються в окремому ОТГ; y_i^{min}, y_i^{max} –

відповідно, нижня та верхня межі обсягу виробничого використання i -го ресурсу суб'єктів господарювання в системі управління відходами; n – обсяг ТКВ, які можуть утворюються в ОТГ; m – кількість видів виробничих ресурсів суб'єктів господарювання в системі управління відходами; a_{ij} – нормативні витрати i -го виробничого ресурсу на збирання, сортування, транспортування, переробки, захоронення одиниці j -го виду ТКВ; b_i – наявні обсяги виробничих ресурсів i -го виду суб'єктів господарювання в системі управління відходами; c_j – змінна частина собівартості процесів поводження з ТКВ одиниці j -го виду відходів, без урахування вартості спожитих виробничих ресурсів; v_i – обсяг закупівлі додаткових виробничих ресурсів i -го виду суб'єктів господарювання в системі управління відходами; v_i^{min}, v_i^{max} – відповідно, нижня та верхня межі обсягу придбання додаткових виробничих ресурсів i -го виду суб'єктів господарювання в системі управління відходами; w_i – обсяг надлишку виробничих ресурсів i -го виду суб'єктів господарювання в системі управління відходами; w_i^{min}, w_i^{max} – відповідно, нижня та верхня межі обсягу реалізації надлишку виробничих ресурсів i -го виду суб'єктів господарювання в системі управління відходами; z – загальні витрати суб'єктів господарювання в системі управління відходами у його змінній частин; p_j – ринкова ціна одиниці j -го виду ТКВ; q_i – ринкова ціна одиниці i -го виробничого ресурсу суб'єктів господарювання.

Модель є задачею лінійного програмування, для пошуку її розв'язку можна використати широко поширений пакет Excel.

Для оптимізації процесів перерозподілу матеріальних потоків ТКВ запропоновано набір критеріїв для комплексної оцінки впливу системи транспортування, розміщення і переробки ТКВ. Система критеріїв включає такі критерії: матеріально-технічні, професійні вимоги, фінансово-економічні, екологічні та соціальні. Кожна група критеріїв характеризується множиною локальних критеріїв, що дозволяє здійснити вибір бізнес-структури перевізника для транспортування ТКВ при оптимізації логістичної системи управління відходами.

Для реалізації виробничої програми ОТГ доцільно сформувати систему управління інформаційними логістичними потоками. Сервісна модель електронної інформаційної системи управління логістичними потоками відходами (рис.12) призначено для реалізації регіональної програми управління відходами в окремих ОТГ. Вона забезпечує обмін інформацією між керівниками ОТГ і менеджерами проектів щодо складу та структури матеріального потоку відходів, значення емісій в процесах, що пов'язані з утворенням, зберіганням, транспортуванням та утилізацією відходів. Дозволяє забезпечити

швидке реагування в процесах утворення ТКВ, управління ними та інформування всіх зацікавлених сторін, в тому числі громади.

Головним завданням інформування зацікавлених сторін є залучення до вирішення проблеми поводження з ТКВ місцевих громад широко коло зацікавлених сторін з використанням інтернет-ресурсів. Для цього доцільно застосовувати сучасні підходи краудсорсингу.

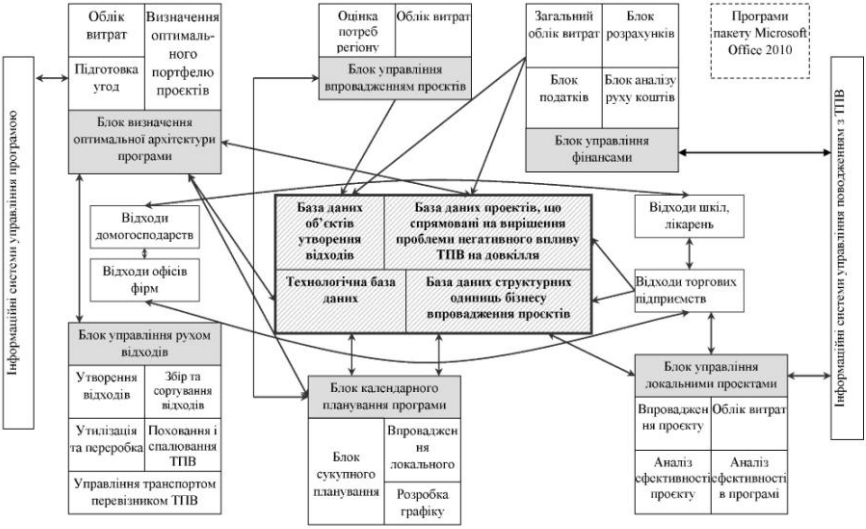


Рисунок 12 – Сервісна модель електронної інформаційної системи управління відходами для ОТГ

Під *екокраудсорсингом для управління відходами* будемо розуміти перенесення окремих природоохоронних функцій в публічну площину комп'ютерних мереж на невизначену кількість осіб для зменшення відходоутворення, що не передбачає наявності трудових відносин.

Екокраудсорсинг як платформа управління відходами є технологією, яка забезпечує реалізацію екокраудпроєкту поводження з відходами та дозволяє організовувати реалізацію декількох краудпроєктів.

Одна із ідей концепції екологічного краудсорсингу передбачає включення класичних методів управління відходами (сміттєспалювання та захоронення) як необхідної частини щодо їх утилізації, заходи по зменшенню кількості відходів, вторинної переробки ТКВ, компостування (аеробна ферментація базисної

частини відходів). Лише поєднання багатьох взаємодоповнюючих програм та проектів дозволить досягнути результату в системі управління ТКВ.

На рис. 13 приведено екокраудсорсингову модель реалізації механізму управління відходами. Ініціаторами (замовниками) крауд-проєктів найчастіше виступають державні структури, які визначають проблеми, формують критерії відбору необхідної інформації, визначають завдання, ресурси тощо. Виконавцями – представники "крауд" (громади або населення). Організація взаємодії між ними представлена в екокраудсорсинговій моделі реалізації механізму поводження з відходами з врахуванням досвіду вирішення проблеми на локальному або державному рівні, шляхів рішення проблеми, джерел активного Інтернет-обговорення та описує стейкхолдерів, які є агентами зацікавленого суспільства (соціальні експерти) з питань поводження з відходами.

Рисунок 13 – Екокраудсорсингова модель реалізації механізму поводження з відходами

Метод впровадження екокраудпроєктів в системі управління відходами передбачає такі кроки:

- ✓ визначення, розуміння та формулювання практичної проблеми;
- ✓ накопичення соціальної інформації щодо досвіду вирішення схожих проблем;
- ✓ формування концепту освітнього простору;
- ✓ створення команди модераторів процесу;
- ✓ вибір методу рішення проблеми та способу його реалізації;
- ✓ встановлення контрольних показників,
- ✓ за якими буде досягнуто єдине розуміння критеріїв, що використовуються для досягнення мети;
- ✓ реалізація самого проєкту за технологією екокраудсорсингу;
- ✓ оцінка успішності досягнення результату.

Запропоновані показники успішності екокрауд-проєктів, які здійснюють оцінку крауд-проєктів в системі управління відходами, а саме – способи обміну інформацією на етапі планування та реалізації проєкту, ступінь інтеграції учасників у цей процес та результативність проєкту з мінімальним рівнем ризиків.

У шостому розділі **"Розробка рекомендацій для системи управління твердими комунальними відходами в об'єднаних територіальних громадах Житомирської області"** проаналізовано особливості формування місцевих планів дій Регіональної програми поводження з відходами об'єднаних територіальних громад Житомирської області. Представлено результати впровадження окремих проектів місцевих планів дій поводження з відходами ОТГ Житомирської області та результати застосування екокраудсорсингу в управлінні відходами в ОТГ Житомирщини (рис. 14).

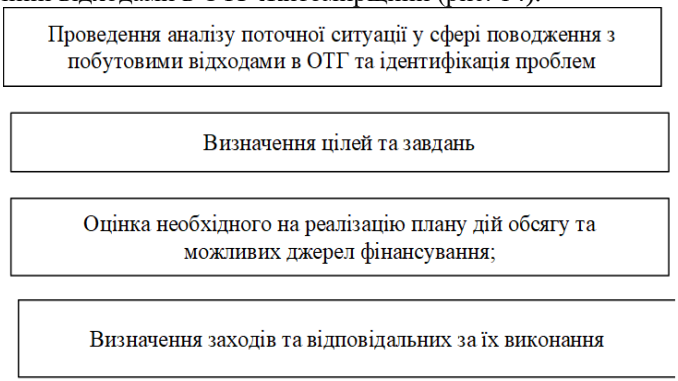


Рисунок 14 – Схема розробки плану дій з управління побутовими відходами для ОТГ

Для формування місцевих планів дій Регіональної програми поводження з відходами ОТГ Житомирської області розроблено Шаблон Плану дій з управління побутовими відходами (табл. 6) та процедура розробки місцевих планів дій (рис. 15).

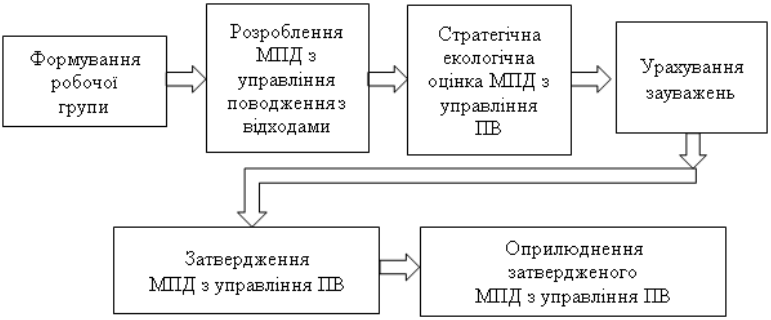


Рисунок 15 – Процедура розробки місцевих планів дій

Для удосконалення управління ТКВ в області необхідно:

1. Вжити заходи щодо удосконалення та приведення в належний санітарно-технічний стан існуючі полігони ТКВ на території області.

2. Провести оновлення паспортів місць вилучення відходів.

3. Впровадити системи роздільного збирання ресурсоцінних компонентів ТКВ за фракціями: скло, папір, пластик, текстиль.

4. Забезпечити раціональне використання цінних ресурсів.

5. Забезпечити максимальне використання ТКВ як вторинної сировини за допомогою мереж приймальних пунктів.

6. Вжити заходи щодо залучення інвестицій для будівництва заводів з переробки ТКВ.

7. Забезпечити мінімізацію обсягів утворення та зменшення кількості захоронених ТКВ шляхом використання сучасних високоефективних методів їх переробки, сортування й утилізації.

8. Оновити контейнерне господарство та парк сміттєвозів, створити та облаштувати контейнерні майданчики, встановити у громадських місцях вуличні урни для сміття.

9. Вжити заходи щодо укладення населенням, яке проживає у приватному секторі, договорів на транспортування комунальних відходів з підприємствами, які надають вказані послуги.

Представлено результати впровадження окремих проєктів місцевих планів дій ОТГ Житомирської області. За результатами аналізу запропоновано впроваджувати дві системи збору ТКВ для ОТГ Житомирської області.

Таблиця 6 – Шаблон Плану дій з управління побутовими відходами для ОТГ Житомирської області

Вступ	Підстави розроблення плану дій та інформація пор робочу групу
Розділ І. Загальна характеристика ОТГ	Розміщення територіальних громад, інфраструктурні об'єкти громади, чисельність мешканців, чисельність населених пунктів, підприємства, установи та організації, територія громади, які є основними платникма податків громади.
Розділ ІІ. Загальна характеристика сфери управління побутовими відходами	• 2.1. Нормативно-правові документи громади на локальному та регіональному рівні • 2.2. Накопичення комунальних відходів громади. Основні суб'єкти та об'єкти утворення відходів. Морфологічний склад відходів. • 2.3. Транспортування ТПВ. Логістика вивезення відходів (графік, засоби, маршрути, техніка вивезення відходів) • 2.4. Сортування та рекуперація побутових відходів • 2.5. Управління з небезпечними відходами громади • 2.6. Захоронення побутових та небезпечних відходів громади • 2.7. Фінансування сфери управління відходів • 2.8. Сучасні проблеми в громаді у сфері управління ТПВ
Розділ ІІІ. Планування поводження з ПВ у громад	• 3.1. Мета місцевого плану управління відходів • 3.2. Принципи та основні показники управління відходів громади • 3.3. План заходів у сфері управління відходами громади • 3.4. Фінансування плану дій та тарифна політика. Розрахунок тарифів на збирання, транспортування та вивезення відходів.
Розділ ІV. Моніторинг та звітність	Моніторинг та прогнозування Плану дій управління побутовими відходами, його циклічність, показники моніторингу, інформація здійснення моніторингу дії Плану управління побутовими відходами
Розділ V. СЕО	Характеристика об'єкту управління відходів у відповідності до вимог Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку» № 2354-VIII від 20.03.2018 р.
Розділ VI. Додатки	• План заходів • Економічний план. Розрахунки • Інші додатки

Очікуваним результатом реалізації системи управління ТКВ є поліпшення підвищення рівня екологічної безпеки за рахунок поліпшення екологічної ситуації та санітарного стану населених пунктів області, мінімізація відходів, викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, забруднення ґрунтів, впровадження системи селективного збору ТКВ, підвищення екологічної культури населення, контроль за поетапним закриттям та рекультивацією полігонів ТКВ, будівництво чотирьох сортувально-переробних комплексів енергоавтономних.

Впровадження концепції двоетапного перевезення відходів дозволяє зменшити до 20 % захоронення відходів на полігонах через вилучення ресурсоцінних інгредієнтів і підвищити час експлуатації полігонів; більш доцільно використовувати ділянку полігону за рахунок впорядкованого розміщення на ньому пресованих брикетів; скоротити транспортні витрати на транспортування відходів.

Для будь-якого населеного пункту потрібен конкретна комбінація підходів та заходів програми, які базуються на дослідженні потоків відходів, оцінки існуючих альтернатив та містить проекти системи управління відходами, що дозволяють підібрати дані для позитивного та комфортного результату.

Запропоновано механізм вибору екологічно-ефективних транспортних засобів при перевезенні відходів. Ефективним методом зниження впливу на довкілля при перевезенні ТКВ є використання сміттєвозів Scania P280, що обладнані двигунами Євро-6.

Результатом застосування екокраудсорсингу в управлінні відходами в ОТГ Житомирщини є формування соціальної потреби утворювачів відходів в активній участі в процесах зменшення відходів, повторне використання та сортування у місцях утворення.

Застосування екокраудсорсингу для реалізації проєктів поводження з відходами, які впроваджуються державними, комунальними та громадськими структурами, дало можливість залучити відповідні додаткові ресурси та виявити сильні і слабкі сторони й переваги відповідних екологічних стартапів. Представлено результати впровадження краудсорсингового проєкту по залученню населення до інформаційно-просвітницьких заходів підвищення рівня культури поводження з відходами, екологічної свідомості та освіти населення. Проаналізовано досвід процесу комунікацій у проєктах громадського спрямування Всеукраїнського проєкту "Зробимо Україну чистою", державного в поєднанні з громадськими "Чиста Житомирщина" та державною програми "Житомирська міська програма поводження з відходами".

ВИСНОВКИ

В дисертаційному дослідженні вирішено актуальну науково-практичну проблему розробки науково-методологічних основ впровадження сучасної системи управління твердими комунальними відходами в умовах децентралізації з урахуванням специфічних особливостей розвитку окремої територіальної громади та залученням інноваційних методів екологічного управління, що дозволить підвищувати рівень екологічної безпеки на регіональному та місцевому рівнях.

1. Проведений аналіз сучасного стану та наслідків техногенного впливу твердих комунальних відходів на довкілля підтвердив тенденцію до збільшення негативного впливу ТКВ на екологічну безпеку в цілому.

2. Розроблено системну модель управління ТКВ для об'єднаних територіальних громад з врахуванням інтересів зацікавлених сторін та морфологічну модель регіональної програми управління відходами. Модель дозволяє визначати шляхи управління відходами для об'єднаних територіальних громад для запобігання шкідливому впливу відходів на довкілля та здоров'я населення. Морфологічна модель регіональної програми управління відходами дозволяє системно досліджувати всі можливі схеми сценаріїв виконання місії програми для кожної із зацікавлених сторін, які витікають із закономірностей будови (морфології) регіональної програми поводження з відходами.

3. Результати стратегічного аналізу передумов впровадження системи управління відходами на регіональному рівні (PEST-аналіз і SWOT-аналіз) визначили умови, які сьогодні наявні в більшості регіонів України для впровадження сучасних інноваційних програм управління ТКВ.

4. Розроблена концептуальна модель регіональної програми поводження з відходами на основі логістичного підходу включає відповідні множини: стратегічну мета (M_i) ресурси (R_i), фінанси (F_i) та інформацію (I_i) і передбачає залучення координаційного агенту, як відокремленого суб'єкту господарювання для управління системою управління відходами, що здійснює управління всіма відходами, утворюваними на певній території і дозволяє формувати проєкти, технології та заходи для скорочення кількості відходів, їх рекуперації, переробки чи утилізації з доповненням один одного.

5. Результати експериментальні досліджень системи управління ТКВ відходами у ОТГ Житомирської області показали, що визначальними

факторами впливу на морфологічний склад ТКВ є природно-кліматичні умови, сезонність, термін накопичення, рівень благоустрою території, наявність системи роздільного збору і рівень розвитку ринку вторинної сировини тощо. Аналіз фізико-хімічних характеристик фільтраційних вод полігону ТКВ ОТГ Житомирської області за період 2009–2018 роки виявив значне перевищення гранично допустимих концентрації фосфатів, заліза, кобальту, кадмію, свинцю, показників ХСК та БСК, лужність та жорсткість. Результати апроксимації змін гідрохімічних показників фільтрату звалища ТКВ Житомирської об'єднаної територіальної громади (сухий залишок, сульфати, ХСК, $БСК_5$, залізо загальне, нітроген амонійний) протягом 2009–2018 років показують, що зв'язок величин практично функціональний, а коефіцієнт детермінації складає 0,77 – 0,98.

6. Розроблено математичні моделі процесів відходоутворення в залежності від показників соціально-економічного розвитку м. Житомир та Житомирської області, які описують залежності кількісного та якісного складу ТКВ від соціально-економічних показників розвитку міста з врахуванням динаміки утворення відходів та формують механізм прогнозування динаміки змін в системі поводження з відходами регіону. Запропонована та перевірена модель системної динаміки для прогнозування обсягу накопичення твердих комунальних відходів, яка дозволяє оцінити обсяг та морфологічний склад відходів і дозволяє ефективно здійснювати прогноз накопичення кількості твердих комунальних відходів в коротко- та довгостроковому періоді. Зміна кількості ВРП (77–98 %) визначає зміну вмісту компонентів морфологічного складу ТКВ.

7. Імітаційний експеримент прогнозування обсягів динаміки змін в системі управління відходами для об’єднаних територіальних громад Житомирської області та м. Житомир проведено за допомогою розробленого програмного модулю "Municipal waste counter (MWC)", який дозволяє прогнозувати кількість ТКВ, що генеруються населенням ОТГ, визначати основні компоненти відходів.

8. Розроблено методи та інструменти впровадження регіональної програми поводження з відходами на основі логістичного підходу, що передбачає формування екологічно орієнтованої логістичної системи при управлінні програмами поводження з відходами та розробка логістичних моделей процесів транспортування комунальних відходів. Запропоновано критерії оцінювання рівня екологічних небезпек за рахунок включення показників впливу систем транспортування, розміщення і переробки ТКВ. Кожна група критеріїв характеризується множиною локальних критеріїв, що дозволяє здійснити вибір бізнес-

структури перевізника для транспортування ТКВ при оптимізації логістичної системи управління відходами.

9. Запропоновано науково-методологічні основи екологічного краудсорсингу, як механізму підвищення рівня екологічної безпеки в системі управління відходами, що передбачає залучення громадськості на основі публічної оферти. Розроблені концепція, модель та метод екологічного краудсорсингу передбачає механізм залучення до вирішення проблеми поводження з ТКВ широке коло зацікавлених сторін з використанням активного Інтернет-обговорення та описує стейкхолдерів, які є агентами зацікавленого суспільства (соціальні експерти) з питань управління відходами.

10. Одержані результати впроваджено в систему управління твердими комунальними відходами. Для ОТГ Житомирщини запропонована програма місцевих дій, яка ґрунтується на концепції двоетапного перевезення відходів. Ефективним методом зниження впливу на довкілля при перевезенні ТКВ є використання сміттєвозів Scania P280, що обладнані двигунами Євро-6. Застосування методу екокраудсорсингу для реалізації проєктів поводження з відходами, які впроваджуються державними, комунальними та громадськими структурами, дало можливість залучити відповідні додаткові ресурси та виявити сильні і слабкі сторони та переваги відповідних екологічних стартапів.

11. Результати роботи та розроблені рекомендації впроваджено в організаційній діяльності Білокоровицької сільської ради Олевського району Житомирської області, управлінні у справах сім'ї, молоді та спорту Житомирської міської ради, виробничій діяльності ТОВ "ЕКО ЗАХИСТ УКРАЇНА", ТОВ "ЕКО-МБ", в роботі Державної екологічної інспекції Поліського округу, у навчальному Державного університету "Житомирська політехніка" та Житомирського професійного ліцею. Відповідні акти впровадження та авторські свідоцтва наведені у додатках до дисертації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Публікації у фахових виданнях:

1. Коцюба І. Г. Математичне прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів у місті Житомирі. *Вісник Полтавської державної аграрної академії: науково-виробничий фаховий журнал*. Полтава, 2014. Вип. №1 (72)., с. 102-105.

Особистий внесок дисертанта – відбір проб дослідного матеріалу та їх обробка, участь в узагальненні даних, підбір фахової літератури, написанні та оформленні статті.

2. Коцюба І. Г., Радченко О. А., Коробійчук А. О. Дослідження сучасного стану забруднення вод гідрографічного мережі Житомирського району. *Науково-практичний журнал "Екологічні науки*". Київ, 2014. Вип. №6. С. 112-116.

Особистий внесок дисертанта – проведення модельних експериментів, відбір та обробка проб, участь в узагальненні даних, підбір фахової літератури та написанні і оформленні статті.

3. Коцюба І. Г., Щербатюк А. Ф., Годовська Т. Б. Прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів в місті Житомирі. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси.* Харків: НТУ "ХПІ", 2016. № 7(1179). С.95-100.

Особистий внесок дисертанта – участь у проведенні натурних досліджень, камеральне опрацювання проб, участь в узагальненні матеріалів.

4. Коцюба І. Г. Прогнозування сезонного морфологічного складу твердих побутових відходів м. Житомира. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. Маріуполь, 2016. Вип. 33. С. 213–222.

Особистий внесок дисертанта – забір дослідного матеріалу, визначення проб, обрахування та статистична обробка результатів, узагальнення отриманих даних, підбір фахової літератури та написанні і оформленні статті.

5. Коцюба І. Г., Єльнікова Т. О. Автоматизована система контролю параметрів розвитку фітопланктону у водоймах. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер.: Технічні науки.* 2016. № 3 (78). С. 143-149.

Особистий внесок дисертанта – відбір проб для визначення хімічного складу води.

6. Коцюба І. Г. Аналіз забруднення ґрунтів навколо міського сміттєзвалища міста Житомира. *Збірник наукових праць "Вісник ЧДТУ. Серія: Технічні науки". Черкаси, 2016.* № 3. С.90-94.

Особистий внесок– відбір проб для визначення хімічного складу ґрунтів.

7. Коцюба І. Г. Дослідження сезонної зміни морфологічного складу твердих побутових відходів міста Житомира. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць.* Рівне: НУВГП, 2016. Вип. 3(75). С. 300-307.

Особистий внесок – проведення модельних експериментів, визначення методики дослідження, відбір та обробка проб, участь в узагальненні даних, підбір фахової літератури та написанні і оформленні статті.

8. Коцюба І. Г., Подчашинський Ю. О., Єльнікова Т. О. Дослідження фільтраційних вод звалища твердих побутових відходів м. Житомира. *Вісник Інженерної академії України: теорет. і наук.– практ. часоп. / Інж. акад. України.* Київ, 2016. № 3. С. 146-150.

Особистий внесок дисертанта – відбір проб для визначення хімічного складу інфільтраційних вод.

9. Коцюба І. Г, Стріха В. А, Давидова І. В. Дослідження сезонного морфологічного складу твердих побутових відходів м. Житомира. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць.* Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 4(76). С. 312-319.

Особистий внесок дисертанта – відбір та обробка проб, участь в узагальненні даних, підбір фахової літератури та написанні і оформленні статті

10. Коцюба І. Г., Подчашинський Ю. О., Скрипніченко С. В. Дослідження фізико-хімічних властивостей фільтраційних вод звалища твердих побутових відходів м. Житомира. *Вісник Інженерної академії України: теорет. і наук.– практ. часоп. / Інж. акад. України.* Київ, 2016. № 4. С.90-95.

Особистий внесок дисертанта – обрахування та статистична обробка результатів, узагальнення отриманих даних, підбір фахової літератури та написанні і оформленні статті.

11. Коцюба І. Г. Прогнозування обсягу накопичення твердих комунальних відходів. *Вісник Кам'янець–Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія Екологія.* Кам'янець–Подільський: Кам'янець–Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2016. Випуск 1. С. 119-129.

Особистий внесок дисертанта – узагальнення даних статистичного аналізу та параметрів обсягу твердих комунальних відходів.

12. Коцюба І. Г., Лико С. М., Лук'янова С. М. Екологічна логістика накопичення твердих побутових відходів міста Житомира. *Науково-технічний збірник "Вісник Національного транспортного університету"*. Київ, 2017 року. Вип. № 1(37)/2017. С.176–182.

Особистий внесок дисертанта – розроблення принципової технологічної схеми поводження із відходами на регіональному рівні.

13. Коцюба І. Г., Подчашинський Ю. О., Лико С. М., Лук'янова С. М. Математичне моделювання та прогнозування обсягів накопичення твердих комунальних відходів міста. *Науково–технічний збірник "Вісник Національного транспортного університету"*. Київ, 2017 року. Вип. № 2/2017. С.34-41.

Особистий внесок дисертанта – визначення методики прогнозування обсягів накопичення твердих комунальних відходів.

14. Коцюба І. Г., Лико С. М., Лефтер Ю. О. Дослідження обсягу накопичення та морфологічного складу твердих комунальних відходів міського звалища. *Вісник Приазовського державного технічного університету.* Серія: Технічні науки. Маріуполь, 2017. Вип. 35. С. 271-277.

Особистий внесок дисертанта – узагальнення даних статистичного аналізу та параметрів обсягу твердих комунальних відходів.

15. Коцюба І. Г., Єльнікова Т. О. Дослідження сучасного стану екологічної безпеки річки Уж у межах Житомирської області. *Вісник Кам'янець–Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія Екологія.* Кам'янець–Подільський: Кам'янець–Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2017. Випуск 2. С. 71–82.

Особистий внесок дисертанта – обрахування та статистична обробка результатів, узагальнення отриманих даних, підбір фахової літератури та написанні і оформлення статті.

16. Коцюба І. Г., Лико С. М. Екологічна безпека комунальних відходів Житомирщини. *Scientific Journal «Science Rise»*. №8(49), 2018. С. 50-53. *CrossRef, Google Scholar, РИНЦ, WorldCat, DOAJ, BASE, ResearchBib, Directory Indexing of International Research Journals. (зарубіжне видання)*

Особистий внесок дисертанта – розробка логістичних ланцюгів поводження із відходами на різних рівнях ієрархії.

17. Коцюба І. Г., Хрутьба В. О. Методологія екологічного краудсорсингу у сфері поводження з відходами. *Науковово-практичний журнал "Екологічні науки"*. 2019. Вип. 2-25. С. 203-205.

Особистий внесок дисертанта – розроблення методики застосування краудсорсингу у природоохоронній системі.

18. Computational dynamics of municipal wastes generation in Zhytomyr city / I. Kotsiuba, S.Lyko, V.Lukianova, Y.Anpilova *Збірник наукових праць: Екологічна безпека та природокористування.* № 1(25), 2018. С. 33-44. *Index Copernicus*

Особистий внесок дисертанта – узагальнення даних статистичного аналізу та параметрів обсягу твердих комунальних відходів.

19. Науково-теоретичне обґрунтування накопичення твердих побутових відходів Житомирщини / I. Kotsiuba, S.Lyko, V.Lukianova,

Y.Anpilova *Збірник наукових праць: Екологічна безпека та природокористування.* № 4 (36), 2020. С. 56-65.

Особистий внесок дисертанта – обрахування та статистична обробка результатів, узагальнення отриманих даних, підбір фахової літератури та написанні і оформлення статті.

Публікації у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз:

20. Math modeling and analysis of the impact of municipal solid waste landfill leachate on the environment / I. Kotsiuba, Y. Podchashinskiy, T. Yelnikova. Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Т. 1. №. 10 (85). С. 4-10. *SCOPUS*

Особистий внесок дисертанта – відбір та обробка проб, участь в узагальненні даних, підбір фахової літератури та написанні і оформленні статті

21. Kotsiuba I. G., Skyba G.V., Skuratovskaya I. A., S. M. Lyko. Ecological Monitoring of Small Water Systems: Algorithm, Software Package, the Results of Application to the Uzh River Basin (Ukraine). *Methods and objects of chemical analysis.* Volume 14, No.4, 2019. P. 200-207. *SCOPUS*

Особистий внесок дисертанта – обрахування та статистична обробка результатів, узагальнення отриманих даних, підбір фахової літератури та написанні і оформленні статті.

22. Khrutba V., Morozova T., Kotsiuba I., Shamrai V. (2021) Simulation Modeling for Predicting the Formation of Municipal Waste. *In: Shkarlet S., Morozov A., Palagin A. (eds) Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020). MODS 2020*. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1265. Springer, p. 24-35. SCOPUS (закордонне видання)

Особистий внесок дисертанта – узагальнення даних статистичного аналізу та параметрів обсягу твердих комунальних відходів.

Матеріали конференцій:

23. Динаміка сезонних та річних змін морфологічного складу твердих побутових відходів міста Житомира / І. Г. Коцюба, В. В Бовсунівська. *Тези міжвузівської науково–практичної конференції студентів аспірантів і молодих учених "Екологічний розвиток країни в рамках Європейської інтеграції".* 28 травня 2014 р. Житомир: ЖДТУ, 2014. С. 42.

24. Екологічна логістика системи поводження твердих побутових відходів / І. Г. Коцюба, О. Р. Матвійчук. *Тези XI–ої Всеукраїнської наукової on–line конференції студентів, магістрів та аспірантів з*

міжнародною участю "Сучасні проблеми екології та геотехнологій", 15 травня 2015 р. Житомир: ЖДТУ. 2015. С. 56–57.

25. Дослідження морфологічного складу твердих побутових відходів Житомирського району / І. Г. Коцюба. *Тези міжвузівської науково–практичної конференції студентів аспірантів і молодих учених "Екологічний розвиток країни в рамках Європейської інтеграції"*, 28 травня 2015 р. Житомир: ЖДТУ, 2015. С. 38.

26. Аналіз забруднення ґрунтів навколо міського сміттєзвалища міста Житомира / І. Г. Коцюба. ***Тези*** *XII Всеукраїнської наукової on–line конференції студентів, магістрів та аспірантів з міжнародною участю "Сучасні проблеми екології"*. Житомир: ЖДТУ, 2016. С.43

27. Дослідження сучасного стану екологічної безпеки водних об'єктів Житомирської області / І. Г. Коцюба. *Збірник статей науково–практичної конференції.* Вода: проблеми та шляхи вирішення. Рівне. 2016. С.125–128.

28. Дослідження змін морфологічного складу твердих побутових відходів міста Житомира / І. Г. Коцюба, М. О. Резанко *Тези XIII Всеукраїнська наукова on-line конференція студентів, магістрів та аспірантів з міжнародною участю "Сучасні проблеми екології"*. – Житомир: ЖДТУ – 2017. – С. 27.

29. Прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів в місті Житомирі / І. Г. Коцюба, А. М. Храмцова *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Том 1. Промислова екологія.* Житомир: ЖДТУ. 2017. С. 40.

30. Дослідження морфологічного складу твердих побутових відходів міста Житомира / І. Г. Коцюба, М. Ю. Іванська, О. В. Носик. *Тези BXIV Всеукраїнська наукова on-line конференція студентів, магістрів та аспірантів з міжнародною участю "Сучасні проблеми екології"*. Житомир: ЖДТУ. 2018. С. 26.

31. Обсяги накопичення комунальних відходів у місті Житомирі / І. Г. Коцюба, М. Ю. Іванська, О. В. Носик. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки. Житомир*: ЖДТУ. 2018. С. 230.

32. Ківушин Є.А., Лефтер Ю.О., Коцюба І.Г. Основи краудсорсинга поводження з відходами. Тези *Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених "Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції"*, 7 листопада 2019 року. Житомир: «Житомирська політехніка». 2019. с.125.

33. Коцюба І.Г., Лефтер Ю.О. Методологічні основи краудсорсинга для управління системою поводження з відходами. Тези *XV*

Всеукраїнської наукової on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю "Сучасні проблеми екології" 28 березня 2019 р. Житомир: ЖДТУ, 2019. С. 73-74

34. Моделювання системи поводження з твердими комунальними відходами Житомирської області. Еколого-енергетичні проблеми сучасності / Шомко О.М., Назаренко О.П., Коцюба І.Г., Катков М.В. *Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та студентів.* Одеса, 25 квітня 2019 р. Одеса: Видавництво ОНАХТ, 2019. С.16-18.

Авторські свідоцтва, патенти:

1. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір № №78562. Стаття «Math modeling and analysis of leachate municipal solid waste landfill leachate on the environment». Автори: Подчашинський Ю.О., Коцюба І.Г., Єльнікова Т.О. Заявник Житомирський державний технологічний університет від 20.03.2018 №79341. Дата реєстрації: 25.04.2018.

2. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір № №78556. Комп'ютерна програма «Municipal waste counter (MWC)». Автори: Євдокимов В.В., Коцюба І.Г, Морозов А.В. та Левківський В.Л. Заявник Житомирський державний технологічний університет від 20.03.2018 №78913, Дата реєстрації: 25.04.2018.

3. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір № 82652. Брошура «Побутові відходи. Сортуй, заощаджуй, заробляй». Автори: Коцюба І.Г., Давидова І.В., Корбут М.Б. Заявник ЖДТУ від 28.11.2018. Дата реєстрації: 31.10.2018.

4. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір № 84456. Навчальний посібник «Екологічна експертиза». Автори: Коцюба І.Г., Єльнікова Т.О., Шлапак В.О. Заявник ЖДТУ від 28.11.2018 № 85587. Дата реєстрації: 15.01.2019.

5. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір № 87848. Комп'ютерна програма «Візуалізація екологічного стану водних об'єктів». Автори: Коцюба І.Г., Єльнікова Т.О., Шлапак В.О. Заявник ЖДТУ від 25.03.2019 №88602. Дата реєстрації: 25.03.2019.

6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір № 88178 наукового характеру «Методичні рекомендації». Автори: Коцюба І.Г., Єльнікова Т.О., Скиба Г.В., Герасимчук О.Л. Заявник ЖДТУ від 27.03.2019 № 88712. Дата реєстрації: 02.05.2019.

7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір № 89577, стаття «Блок-схема алгоритму програми «Municipal waste counter (MWC)». Автори: Євдокимов В.В., Коцюба І.Г., Морозов А.В., Левківський В.Л. Дата реєстрації: 07.06.2019.

АНОТАЦІЯ

Коцюба І. Г. Наукові засади формування системи управління поводженням з твердими комунальними відходами об'єднаних територіальних громад – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук (доктора наук) за спеціальністю 21.06.01 "Екологічна безпека" (183 "Технології захисту навколишнього середовища", 101 "Екологія"). – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2021.

У дисертації досліджені шляхи формування інтегрованої системи управління твердими комунальними відходами в об'єднаних територіальних громадах, яка зможе забезпечувати підвищення рівня екологічної безпеки регіону шляхом розроблення і впровадження краудсорсингової системи та інноваційних методів комплексного управління ТКВ в умовах децентралізації. За результатами досліджень проведено комплексну оцінку впливу полігонів на довкілля, обґрунтовані наукові засади екологічно безпечних шляхів визначення морфологічного складу твердих комунальних відходів регіону та вплив фільтраційних вод полігону твердих комунальних відходів Житомирської ОТГ на стан довкілля. У роботі розроблено системну модель управління ТКВ з врахуванням інтересів зацікавлених сторін та морфологічну модель регіональної програми управління відходами. Запропоновано механізм прогнозування динаміки змін в системі інтегрованого управління відходами для об'єднаних територіальних громад. Запропоновано спосіб та інструменти впровадження регіональної програми управління твердими відходами та місцевих планів дій для об'єднаних територіальних громад, що забезпечують підвищення рівня екологічної безпеки регіону за рахунок формування екологічно орієнтованої логістичної системи управління відходами. Розроблено методологічні основи впровадження краудсорсингу для управління системою управління ТКВ в об'єднаних територіальних громадах, що передбачає формування концепції краудсорсингу для вирішення завдань управління відходами, побудову моделі екокраудсорсингової платформи для управління системою управління відходами.

Ключові слова: екологічна безпека, управління, децентралізація, об'єднана територіальна громада, комунальні відходи, тверді побутові відходи, сміттєзвалище, екологічна логістика, краудсорсинг, екокраудсорсинг.

ANNOTATION

Kotsiuba I.G. Scientific bases of management system formation of solid municipal waste of the united territorial communities - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences (doctor of science) on a specialty 21.06.01 "Ecological safety" (183 "Environment protection technologies", 101 "Ecology"). - State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2021.

The thesis examined ways of implementing a modern system of solid municipal waste in the combined municipalities which can provide improved environmental security in the region through the introduction of innovative technologies in the management of municipal waste in technologically loaded regions. According to the results of research, a comprehensive assessment of the impact of landfills on the environment, substantiated scientific principles of environmentally friendly ways to determine the morphological composition of municipal solid waste and the impact of filtration water solid waste landfill Zhytomyr UTC on the environment. The paper develops a systematic model of waste management, taking into account the interests of stakeholders and a morphological model of the regional waste management program. The mechanism of forecasting the dynamics of changes in the system of integrated waste management for the united territorial communities is proposed. The method and tools of implementation of the regional program of solid waste management and local action plans for the united territorial communities are proposed, which ensure the increase of the level of ecological safety of the region due to the formation of ecologically oriented logistic waste management system. Methodological bases for the implementation of crowdsourcing for the management of the waste management system in the united territorial communities have been developed, which provides for the formation of the concept of crowdsourcing to solve waste management problems, building a model of eco-crowdsourcing platform for waste management.

Key words: ecological safety, management, decentralization, united territorial community, municipal waste, solid household waste, landfill, ecological logistics, crowdsourcing, eco-crowdsourcing.

Підписано до друку 08.04.2021 р. Формат 60х90 1/16
Папір друкарський. Друк офсетний
Гарнітура Time New Roman. Ум. друк. арк. 1,8
Тираж 100. Зам. № 219
Віддруковано з готових оригіналів-макетів автора
у Державному університеті «Житомирська політехніка»
10005, Україна, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103,
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
ЖТ № 08 від 26.03.2004 р.