

«Система управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної події у
місці накопичення твердих побутових відходів»

Шифр «Безпека ТПВ»

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 СИСТЕМА ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ.....	5
1.1 АНАЛІЗ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НАДЗВИЧАЙНОЇ ПОДІЇ НА ПОЛІГОНІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ РЕГІОНУ	5
1.2 СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ.....	11
2 РОЗРОБКА СИМУЛЯЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ МІСТА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНОЇ ПОДІЇ У МІСЦІ НАКОПИЧЕННЯ ТПВ	17
2.1 СТРУКТУРА СИМУЛЯЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ	17
2.2 ОПИС ПРОЦЕСУ СИМУЛЯЦІЇ.....	21
3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ МІСТА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНОЇ ПОДІЇ У МІСЦІ НАКОПИЧЕННЯ ТПВ	23
3.1 ФОРМАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ	23
3.2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ МІСТА	25
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	30

ВСТУП

Місця накопичення твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні є широко розповсюдженими джерелом негативного впливу на довкілля. При цьому альтернативні шляхи вирішення проблеми накопичення ТПВ в Україні сьогодні майже не розвинені. З іншого боку наявні потужності полігонів накопичення ТПВ вичерпуються, а утворення нових потребує значних коштів та перш за все – виділення нових ділянок землі, що є цінним ресурсом. До того ж, підтримка застарілого способу поводження з ТПВ – накопичення їх великих обсягів на полігонах – суперечить сучасним світовим трендам та підвищує вразливість системи забезпечення екологічної безпеки в державі.

Непоодинокими сьогодні є випадки реалізації у місцях накопичення ТПВ в Україні та світі надзвичайних подій – пожеж, повеней, зсувів мас сміття, тощо. Результатом таких подій стає небезпека для життя людей та припинення (тимчасове або постійне) функціонування таких об'єктів. Це призводить до різкого погіршення стану з поводженням з відходами у населених пунктах (особливо у великих містах) оскільки на досить тривалий час, деколи на декілька діб, їх розміщення на полігоні накопичення ТПВ є неможливим. Результатом цього є різке підвищення негативного впливу на довкілля, адже великі обсяги сміття накопичуються на непідготовлених для їх зберігання майданчиках, перетворюючи територію міста на велике несанкціоноване сміттєзвалище. Забруднення атмосферного повітря, ґрунтових та поверхневих вод, ґрунтів небезпечними компонентами відходів та продуктами їхнього розкладання при цьому значно збільшується.

Події останніх років в Україні – Львівська сміттєва криза (2016-2018 роки), Дрогобицька сміттєва криза (2018 рік), Чернівецька сміттєва криза (2019 рік), тощо – продемонстрували неготовність системи поводження з ТПВ України до оперативного вирішення подібних завдань, адже у більшості з них спостерігалися одні й ті ж гори сміття на вулицях міст.

У зв'язку з вищезгаданим актуальним є завдання вдосконалення сучасної системи поводження з ТПВ в Україні у напрямі підвищення готовності до дій у випадку реалізації надзвичайних подій на полігонах накопичення відходів.

Метою наукової роботи є підвищення рівня екологічної безпеки міст шляхом вдосконалення системи поводження з твердими побутовими відходами в умовах реалізації надзвичайної події у місці їх накопичення.

Для досягнення цієї мети було поставлено та вирішено наступні завдання:

- провести аналіз сучасного стану системи поводження з ТПВ в Україні;
- розробити симуляційний комплекс системи управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної події у місці накопичення ТПВ;
- розробити модель системи управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної події у місці накопичення ТПВ.

1 СИСТЕМА ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

1.1 АНАЛІЗ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НАДЗВИЧАЙНОЇ ПОДІЇ НА ПОЛІГОНІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ РЕГІОНУ

Будь-яке місце накопичення відходів негативно впливає на довкілля. Із розвитком виробництва в світі невідпинно зростає обсяг відходів різного рівня небезпеки, які у більшості випадків видаляються до місць їхнього накопичення та наступного зберігання – санкціонованих полігонів, або ж несанкціонованих стихійних сміттєзвалищ. На жаль, в Україні поточна ситуація з поводження з відходами є дуже складною, про що свідчить, зокрема, той факт, що біля 92 відсотків ТПВ сьогодні підлягають саме захороненню. Натомість, численні порушення при цьому суттєво збільшують рівень небезпеки, яку становлять місця зберігання відходів, зокрема полігони ТПВ.

При вирішенні задач, пов'язаних з розміщенням і експлуатацією полігонів ТПВ, виникає ряд екологічних проблем, які ще не знайшли остаточного вирішення. До найважливіших з них відноситься негативний вплив на різні компоненти довкілля в зоні знаходження полігонів ТПВ. Значна частина цього впливу обумовлена наявністю в тілі полігону токсичних речовин.

Негативний вплив на довкілля полігонів ТПВ під час їхньої експлуатації пов'язаний, перш за все, з протіканням у товщі відходів біохімічних процесів розкладання, за рахунок яких утворюються біогаз, а також фільтрат – рідина, що є результатом проникнення у тіло полігону дощових та талих вод. Ґрунтові та поверхневі води, що протікають через земляну засипку, захоплюють розчинені і суспендовані тверді речовини та продукти біологічного розкладання, тому фільтрат полігону ТПВ містить різні хімічні елементи та сполуки [1]. Розчинені у фільтраті солі відходів (хлориди, сульфати, солі

натрію, калію, кальцію, тощо) фільтруються у ґрунті, внаслідок чого суттєвого забруднення зазнають ґрунтові води [2].

Основним нормативним документом, що встановлює вимоги до побудови полігону ТПВ, є ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» [3]. Однак правила розміщення відходів на полігонів деталізовані лише для брикетів. Про утилізацію ж звичайного сміття в документі майже нічого не сказано. Для попередження надзвичайних подій на полігонах ТПВ необхідно розробити схему зберігання відходів залежно від їх стану, хімічного складу та температури займання. При цьому легкозаймисті речовини слід зберігати біля сміття, що має більш високу відносну вологість, у місці з певним температурним діапазоном і за винятком прямих УФ-променів. Необхідно також організувати контроль за складом повітря та розробити карту зберігання сміття із зазначенням місця розташування горючих речовин та найкоротшого шляху до нього. Для визначення умов пожежі необхідно запровадити систему планових об'їздів та обстежень пожежонебезпечних зон полігону. Важливим фактором системи протипожежного захисту є також розташування сміттєзвалища. Звалища розташовані за межами міст і далеко від масового населення. Це зменшує ризик потрапляння будь-яких антропогенних чи природних джерел займання на сміттєзвалище.

Біогаз, що утворюється на полігонах твердих побутових відходів, містить 50-60% метану і може використовуватися як поновлюване джерело енергії. Ефективність збору біогазу під час експлуатації залежить від ступеня покриття корпусу сміттєзвалища системою збору біогазу, якості його регулювання, наявності верхнього газонепроникного шару та газопроникності відходів. Загалом, процес утворення та збирання біогазу на полігонах твердих побутових відходів залежить від багатьох факторів. Загалом, особливості практики експлуатації полігонів твердих побутових відходів, прийнятих в Україні, суттєво впливають як на потенціал утворення біогазу, так і на можливість використання різних методів його збору.

Системи збору та утилізації біогазу на полігонах твердих побутових відходів широко поширені у світі. Достатня кількість біогазу, що збирається, дозволить встановити на полігоні газову електростанцію для виробництва електроенергії від спалювання біогазу. Виробництво електроенергії з частковим відходом тепла дозволяє покращити економічні показники проекту порівняно з виробництвом електроенергії. З іншого боку, проблеми, пов'язані з підключенням до електророзподільної мережі та подальшим її продажем, мають суттєвий вплив на реалізацію проекту.

Скорочення викидів парникових газів за рахунок зменшення викидів метану в атмосферу та заміщення використання природного газу для виробництва тепла та електроенергії призведе до досягнення повномасштабного проекту збору та використання біогазу.

Важливий фактор підвищення енергоефективності процесу збору та утилізації біогазу базується на тому, що хімічне розкладання органічних відходів призводить до підвищення температури біогазу, що збирається для сміттєзвалища. Це додаткове тепло також слід використовувати, оскільки воно стає додатковим джерелом малопотенціальної енергії, що є цінним і майже безкоштовним енергетичним ресурсом. Отриманий у виробничих процесах в результаті споживання та перетворення теплової енергії, низький потенціал доступний у достатній кількості на корпусі сміттєзвалища твердих побутових відходів і може бути використаний для опалення та нагріву води для живлення технологічних систем сміттєзвалища або теплопостачання сміттєзвалища, яке розташоване віддалено від джерел дешевого палива.

Полігони ТПВ під час експлуатації повинні забезпечувати санітарно-епідеміологічне благополуччя населення, а також екологічну безпеку навколишнього середовища. Для виконання цих вимог на сміттєзвалищах слід здійснити ряд захисних заходів, зокрема для запобігання поширенню токсичних речовин, необхідно створити гідроізоляційну основу, а також систему дренажних труб для зливу фільтрату. Під час зберігання, щоб обмежити перенесення відходів вітром, необхідно насипати тверді шари відходів ґрунтом,

а після досягнення межі терміну служби проводити обов'язкову меліорацію, яка не обмежується нанесенням покривного шару, але також включає створення системи моніторингу стану рекультивованого об'єкта.

Через погіршення економічної ситуації в Україні витрати на закриття сміттєзвалищ та створення нових відповідно до вимог діючих будівельних норм є занадто високими для територіальних громад, що змушує їх продовжувати термін експлуатації або здійснювати вищезазначені заходи зі значними порушеннями. В обох випадках рівень екологічної небезпеки сміттєзвалищ значно збільшується. У той же час відсутність роздільного збору твердих відходів призводить до утилізації інших речовин і предметів, таких як ліки, що вичерпали термін вживання, енергозберігаючі лампи з ртуттю, банки з фарбою, лаком та інші речі.

Представлені компоненти проблеми полігонів ТПВ підвищують ризик виникнення на них надзвичайних подій, а також призводять до погіршення екологічної ситуації на прилеглих територіях. Проблему звалищ також не можна розглядати окремо від проблеми системи збору та вивезення відходів з місць їх розподілу. Завдяки швидкому зростанню територій, зайнятих великими містами, збільшується не лише кількість утворених твердих відходів, а й відстань, на яку їх потрібно транспортувати. У багатьох випадках це стимулює появу несанкціонованих сміттєзвалищ. Комплекс заходів щодо зменшення небезпеки на звалищах повинен бути спрямований на зменшення обсягу утворених відходів, а також на створення ефективної системи роздільного збору та захоронення твердих відходів з використанням сучасних технологій їх переробки.

Вирішення останнього завдання базується на створенні та вдосконаленні технологій забезпечення безпеки сміттєзвалищ. Такі технологічні схеми, які застосовуються сьогодні, не забезпечують належного рівня захисту, оскільки вони не спрямовані на комплексне вирішення існуючих проблем, тому їх слід складати на основі цілісності та системного підходу.

Виникнення на території полігону ТПВ надзвичайних подій у вигляді пожежі, повені, зсуву мас відходів, тощо, призводить до підсилення рівня негативного впливу на навколишнє середовище. Оперативна локалізація та ліквідація наслідків безпосередньо надзвичайної події, на жаль, не зменшує вказаний вплив, наприклад, гасіння вогню із застосуванням води призводить до збільшення обсягів та інтенсивності надходження у ґрунт високотоксичного фільтрату, що утворюється у масах відходів. Натомість у світі в останні роки спостерігається тенденція до збільшення числа надзвичайних подій у місцях накопичення відходів, що перетворюються на надзвичайні ситуації, призводять до загибелі людей та наносять суттєвої шкоди довкіллю.

Крім того, з точки зору організації та функціонування місцевої системи управління екологічною безпекою у випадку виникнення надзвичайної події у призначеному для накопичення та зберігання відходів місці призводить до суттєвих проблем у системі поводження з відходами у вигляді затримок їхнього вивезення та накопичення надлишкових мас відходів у місцях їх первинного збирання у межах населених пунктів. Це підвищує ризик забруднення атмосферного повітря, а також поверхневих та підземних вод, та, відповідно, підвищує загрозу для здоров'я людей. Прикладом подібної ситуації слугує ряд катастрофічних подій, що відбулися в Україні та світі, зокрема у м. Мапуту, Мозамбік (2018 рік), м. Делі, Індія, м. Конакрі, Гвінейська Республіка, м. Коломбо, Шрі-Ланка, м. Аддис-Абеба, Ефіопія (2017 рік), с. Великі Грибовичі, Україна, м. Гватемала, Республіка Гватемала (2016 рік), тощо. Стосовно пожеж красномовним є факт, що лише протягом 2019 року в Україні відбулося 14 пожеж на таких об'єктах, на більшості з яких пожежі тривали протягом доби або більше (див. табл. 1.1). Площа займання при цьому досягає декількох тисяч квадратних метрів, що потребує залучення великих обсягів ресурсів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (засобів пожежогасіння, транспорту та особового складу). А через високий рівень небезпеки таких пожеж, які відбуваються не лише на поверхні, а й у глибині мас відходів, доступ на полігони під час локалізації та ліквідації вогню забороняють.

При горінні полімерних матеріалів відбувається виділення токсичних речовин у повітря [4]. А використання великих обсягів води призводить до збільшення обсягів фільтрату, що надходить до ґрунту та ґрунтових вод

Таблиця 1.1 – Пожежі у місцях накопичення ТПВ в Україні, 2019 рік

Місце розташування об'єкта	Дата	Площа займання, м ²
м. Новояворівськ, Львівська обл.	10-12.03.2019 р.	8000
с. Маршинці, Чернівецька обл.	17-18.03.2019 р.	10000
м. Фастів, Київська обл.	28-29.03.2019 р.	160
м. Ніжин, Чернігівська обл.	30-31.03.2019 р.	70000
м. Вознесенськ, Миколаївська обл.	19-21.05.2019 р.	40000
м. Новоград-Волинський, Житомирська обл.	16-20.06.2019 р.	10000
с. Мерефа, Харківська обл.	18-19.06.2019 р.	1200
м. Рівне	25.06.2019 р.	5000
м. Верхньодніпровськ, Дніпропетровська обл.	04-05.07.2019 р.	12000
с. Макухівка, Полтавська обл.	31.07-01.08.2019 р.	20000
с. Демидів, Київська обл.	05.09.2019 р.	15000
м. Бердичів, Житомирська обл.	08-09.09.2019 р.	700
с. Трипілля, Київська обл.	09-10.09.2019 р.	10000
м. Чернігів	12-13.09.2019 р.	10000

Реалізація перелічених надзвичайних подій в усіх випадках призводила до ускладнення ситуації з вивезенням відходів у зв'язку з неможливістю експлуатації місць їх накопичення під час локалізації та ліквідації наслідків надзвичайної події.

1.2 СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

У «Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» у системі управління відходами в Україні визначено наступні негативні тенденції [5]:

- накопичення відходів як у промисловому, так і побутовому секторі, що негативно впливає на стан навколишнього природного середовища і здоров'я людей;
- здійснення неналежним чином утилізації та видалення небезпечних відходів;
- розміщення побутових відходів без урахування можливих небезпечних наслідків;
- неналежний рівень використання відходів як вторинної сировини внаслідок недосконалості організаційно-економічних засад залучення їх у виробництво;
- неефективність впроваджених економічних інструментів у сфері поводження з відходами.

Ключовим у вирішенні вказаних проблем у Стратегії зазначено створення в державі комплексної системи управління відходами.

Сучасні способи управління ТПВ в Україні є такими, що орієнтовані на полігонне захоронення відходів, їх розміщення на сміттєзвалищах та/або стихійних сміттєзвалищах, більшість з яких не відповідають вимогам екологічної безпеки. Технологічний рівень сучасних способів управління ТПВ в Україні є низьким, інноваційні технології впроваджуються вкрай повільно, або не впроваджуються зовсім.

Все це призводить до надмірної залежності України від місць накопичення та захоронення відходів, а відсутність наявних альтернатив полігонам ТПВ та сміттєзвалищам у випадку виникнення на них надзвичайних

подій призводить до суттєвого погіршення стану життєдіяльності людей та екологічного стану територій.

Вказаною вище Стратегією окремо встановлюється завдання забезпечити у 2023 році перероблення 15 відсотків, а у 2030 році – 50 відсотків від загального обсягу утворення ТПВ. Втім навіть у випадку досягнення вказаної мети, обсяги ТПВ, які підлягатимуть захороненню, будуть достатньо великими для того, щоб виникнення надзвичайних подій у місцях їх накопичення призводили до суттєвих проблем у системі управління відходами.

Згідно «Звіту за результатами дослідження ринків послуг у сфері поводження з побутовими відходами» у системі управління ТПВ України сьогодні існують наступні проблеми [6]:

1. Неврегульованість процедури отримання дозволів на здійснення операцій у сфері поводження з відходами, що створює умови для нелегальної, неконтрольованої діяльності суб'єктів господарювання у цій сфері та обмежує можливості появи на ринку поводження з ТПВ нових суб'єктів господарювання.

2. Відсутність, як такого, єдиного органу регулювання системи поводження з відходами. Натомість існуюче законодавство фіксує дублювання повноважень у цій сфері між органами місцевого самоврядування та місцевими державними адміністраціями, а також Міністерством екології та природних ресурсів України, та Міністерством розвитку громад та територій України та Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Зокрема, функції органів місцевого самоврядування та місцевих державних адміністрацій дублюються у випадках необхідності затвердження схем санітарного очищення населених пунктів, забезпечення роздільного збирання ТПВ, організації збирання і видалення ТПВ, створення полігонів ТПВ, забезпечення ліквідації несанкціонованих і неконтрольованих сміттєзвалищ, а також контролю за додержанням вимог у сфері поводження з відходами, надання дозволів на будівництво, експлуатацію та реконструкцію об'єкта поводження з відходами.

3. Відсутність схем санітарного очищення багатьох населених пунктів, а також програм поводження з ТПВ у них. Без програм та схем санітарного очищення неможливо оцінити потребу території в техніці, обладнанні для збору побутових відходів і розвивати ефективну систему поводження з відходами в регіоні.

На рисунку 1.1 показано структуру управління системою санітарного очищення великого населеного пункту (міста).



Рисунок 1.1 – Структура управління системою санітарного очищення міста

Ключовим елементом системи є полігон ТПВ, на якому накопичуються відходи. Великий полігон може слугувати кінцевою точкою потоків ТПВ, які утворилися у багатьох населених пунктах регіону. Натомість мале за обсягом місце накопичення відходів (полігон або сміттєзвалище) обслуговуватиме лише джерела утворення ТПВ з прилеглої до нього території.

Аналіз структури управління системою санітарного очищення міста вказує на наявність у ній «вузького» місця, а саме полігону ТПВ. Тимчасовий або постійний вихід його з експлуатації, наприклад, внаслідок надзвичайної події на ньому, призводить до зупинки усієї системи та швидкого накопичення великої кількості відходів безпосередньо на території міста. Натомість, з іншого боку структура управління включає в себе велику кількість регулюючих органів різного спрямування. Суттєва ж різниця між різноманітними надзвичайними подіями, що можуть відбуватися у межах місць накопичення ТПВ, ускладнює процес прийняття рішень у системі поводження з відходами, особливо з урахуванням необхідності виконання вимог забезпечення екологічної безпеки. Неготовність ж регулюючих органів до оперативного прийняття рішень у випадку різкої зміни умов функціонування системи взагалі призводить до прийняття рішень найпростішим шляхом - заборonoю.

Яскравим прикладом такого перебігу подій стала ситуація з відходами у м. Львів у 2016-2018 роках внаслідок катастрофи на Львівського полігоні ТПВ.

Внаслідок пожежі та наступного катастрофічного зсуву великих мас ТПВ на прилеглу до Львівського полігону територію, вказаний об'єкт було закрито для розміщення нових обсягів відходів, внаслідок чого велике місто зіткнулося з масштабною проблемою вивезення ТПВ зі своєї території [7]. А оскільки достатньо великого місця (полігону) для накопичення великих обсягів відходів, що утворюються у Львові щодоби, поблизу від обласного центру немає, виникли складнощі з його розміщенням на інших полігонах, які полягали у наступному:

1. Велика відстань до полігонів, які мають змогу прийняти відповідний обсяг ТПВ, зокрема до найбільших діючих місць накопичення ТПВ у

Львівській області вона становить за мапою відповідно 64,7 км (м. Стрий, Стрийський район), 52,8 км (м. Жидачів, Жидачівський район) та 87,1 км (м. Броди, Бродівський район). В реальних умовах для вивезення відходів використовувалися [8] Дрогобицький полігон ТПВ, розташований поблизу с. Брониця Дрогобицького району (202 км від м. Львів) та Бориславський полігон ТПВ, розташований поблизу м. Борислав (196 км від м. Львів), обидва з яких було закрито у 2018 році.

2. Як наслідок, потреба у більших транспортних потужностях компаній, що вивозять ТПВ з міста та різке підвищення вартості вивезення відходів.

3. Різке незаплановане підвищення навантаження на полігони ТПВ регіону внаслідок необхідності розміщення додаткових великих обсягів відходів та пов'язана з цим необхідність швидкої модернізації старих та побудови нових майданчиків для накопичення відходів.

4. Відсутність у місцевих громад, що регулюють дію полігонів ТПВ регіону, необхідних коштів для модернізації полігонів та пов'язана з цим масова відмова у розміщенні додаткових обсягів відходів з м. Львів.

5. Відсутність можливості вчасного та повного вивезення утворених ТПВ з м. Львів та їх накопичення на вулицях міста.

Натомість аналіз структури та складу місць видалення відходів у Львівській області за даними Міністерства екології та природних ресурсів України [9] вказує, що на території регіону станом на 01.12.2019 р. є наявності 212 місця видалення відходів різної потужності, приблизно 75 відсотків з яких є діючими, решта – закриті. При цьому лише сім полігонів ТПВ мають площу, яка є більшою або дорівнює 5 га. Таких полігонів, які б повністю відповідали санітарно-гігієнічним нормам на території Львівської області у базі даних Мінекології немає. Цікавим також є той факт, що на території області є цілі райони, в яких немає жодного діючого або діє лише один полігон ТПВ, зокрема це Кам'янка-Буський (усі полігони закриті), Радохівський, Стрийський, Турківський та Яворівський райони. Це лише підкреслює критичний рівень

проблеми можливого виникнення надзвичайної події на полігонах ТПВ регіону. Схожа ситуація сьогодні й у інших областях України.

З урахуванням усього вищезазначеного можна зробити висновок, що використання методів імітаційного моделювання для симуляції роботи систем у сфері забезпечення екологічної безпеки з метою визначення умов найефективнішого функціонування місцевої системи управління екологічною безпекою під час надзвичайної події у місці накопичення відходів з можливістю враховувати усі можливі параметри, що впливають на кінцевий результат її роботи, є, безумовно, актуальним.

2 РОЗРОБКА СИМУЛЯЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ МІСТА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНОЇ ПОДІЇ У МІСЦІ НАКОПИЧЕННЯ ТПВ

2.1 СТРУКТУРА СИМУЛЯЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

В основу симуляційного комплексу покладено метод імітаційного моделювання. Симуляційний комплекс розроблено на базі принципу забезпечення мобільності та оперативності роботи, а також з урахуванням того, що для багатоцільових систем, що працюють в умовах необхідності врахування комплексу суперечливих критеріїв, практично відсутня можливість описати об'єкт точною математичною моделлю. Метою його використання є формування стиля та навичок управління екологічною безпекою в системі поводження з відходами в умовах, коли об'єкт замінено імітаційною моделлю.

Представлений симуляційний комплекс реалізовано на базі сучасних програмних та технічних рішень з урахуванням принципів організації та функціонування систем поводження з відходами, що дозволило застосовувати його у широкому спектрі початкових умов.

Застосування розробленого комплексу дозволяє отримувати результати імітаційного експерименту які, в свою чергу, дають змогу визначити ефективність застосування усіх видів ресурсів та віднайти недоліки у системі управління екологічною безпекою за напрямом поводження з відходами. Нарешті, відпрацювання взаємодії різних ланок системи управління екологічною безпекою у процесі симуляції дозволяє підвищити рівень взаєморозуміння між ними та забезпечити надійність та ефективність комунікації у випадку реалізації надзвичайної події у місці накопичення відходів.

Для проведення сумісних навчань з використанням комплексу було розроблено систему карток, які імітують елементи системи поводження з ТПВ

регіону. Графічне представлення розроблених карток, які позначають накопичені відходи, показано на рисунку 2.1.

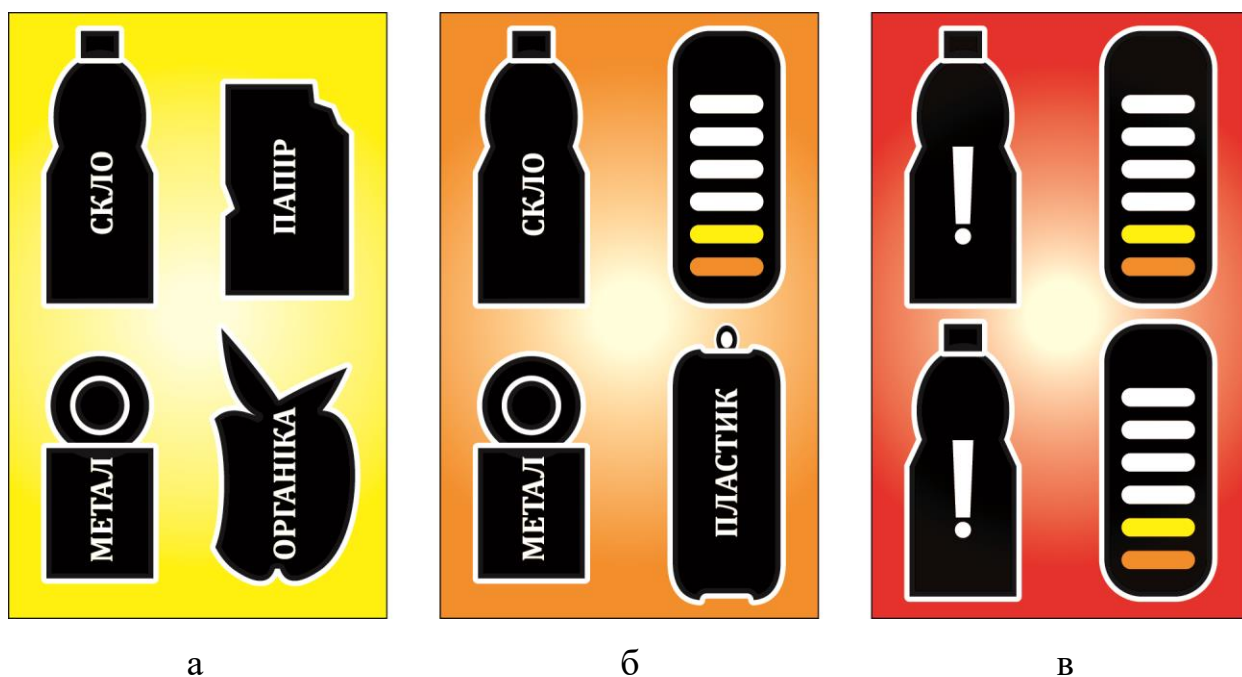


Рисунок 2.1 – Графічне представлення карток, які позначають відходи різних типів

Картки відходів, що утворюються у населених пунктах та підлягають подальшій утилізації, було розділено на три типи:

- «жовта картка» (рисунок 2.1, а) – звичайні ТПВ;
- «оранжева картка» (рисунок 2.1, б) – звичайні ТПВ, до складу яких потрапили екологічно небезпечні відходи, що потребують відокремлення та перероблення спеціалізованими організаціями;
- «червона картка» (рисунок 2.1, в) – небезпечні відходи, що потребують перероблення спеціалізованими організаціями.

Співвідношення кількості карток, які приймають участь у симуляції, має визначатися заздалегідь за показниками утворення відходів у населеному пункті.

Графічне представлення розроблених карток, які позначають населені пункти, показано на рисунку 2.2.

Картки населених пунктів було розроблено одночасно для позначення великих (рисунок 2.2, а) та малих (рисунок 2.2, б) населених пунктів, які мають різні обмеження щодо накопичення утворюваних ТПВ безпосередньо на своїй території. Інтенсивність накопичення відходів на території населеного пункту має визначатися заздалегідь за показниками їх утворення у населеному пункті.

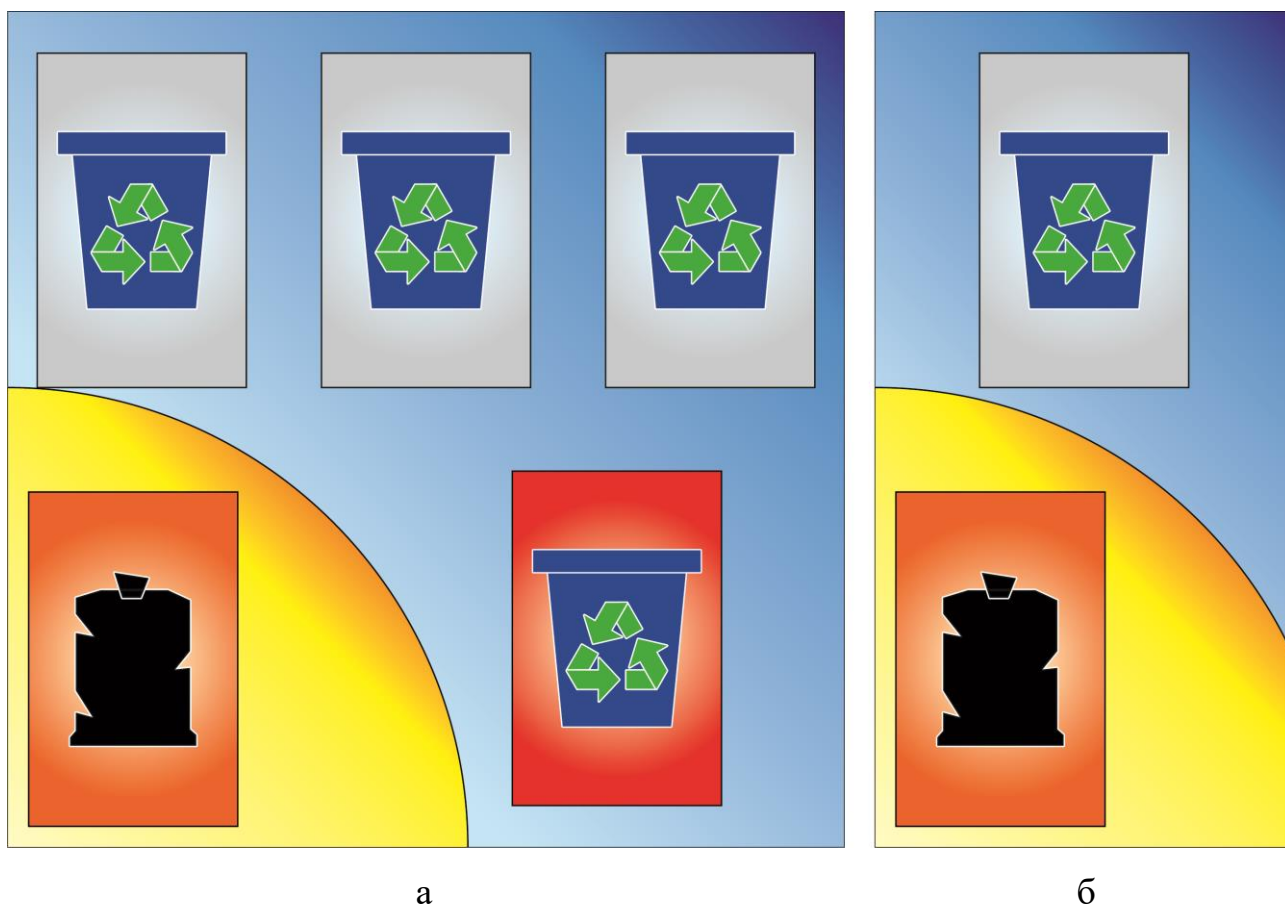


Рисунок 2.2 – Графічне представлення карток, які позначають населені пункти

За схожим принципом було розроблено картки, які позначають місця накопичення ТПВ. Їх графічне представлення показано на рисунку 3.

Великі полігони, які мають можливість приймати великі обсяги відходів, позначено картою на рисунку 2.3, а. Однак, оскільки кількість таких полігонів у регіоні є вкрай обмеженою, а при виникненні на них надзвичайних подій постає нагальна необхідність оперативного розміщення утворених відходів, можуть бути задіяні малі полігони та сміттєзвалища. Для їх позначення у симуляції розроблено відповідний тип карток (рисунок 2.3, б). Кількість та

параметри місць накопичення відходів, що приймають участь у симуляції, суттєво впливає на її результат та має визначатися заздалегідь за показниками їх утворення не лише у окремому населеному пункті, а й у регіоні в цілому.



Рисунок 2.3 – Графічне представлення карток, які позначають
місця накопичення ТПВ

Графічне представлення розроблених карток, які позначають спеціалізовані організації, що займаються вивезенням ТПВ, утворених на території населених пунктів, показано на рисунку 2.4.

Для кожної із задіяних у симуляції організацій необхідно заздалегідь визначити кількість та місткість кожного «транспортного засобу», виходячи із наявних у них транспортних та виробничих потужностей.

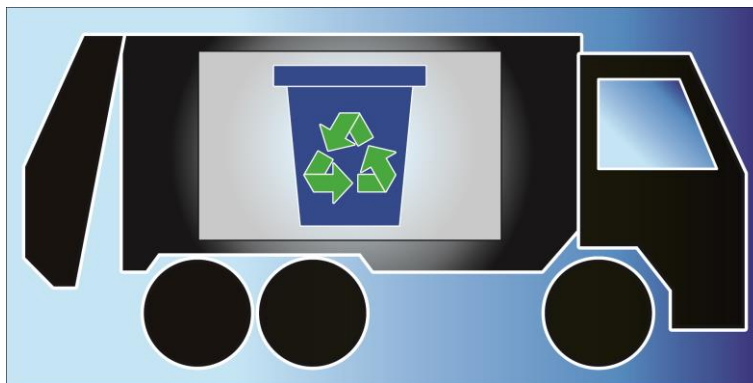


Рисунок 2.4 – Графічне представлення карток, які позначають організації, що займаються вивезенням відходів

2.2 ОПИС ПРОЦЕСУ СИМУЛЯЦІЇ

Процес симуляції виконується покроково, де кожен крок симуляції відповідає одній добі реального часу. Кожен крок включає наступні дії її учасників:

– Населений пункт:

1. У місця накопичення відходів на території населеного пункту додається необхідна кількість карток відходів, яка відповідає їх середньодобовому обсягу.

2. Перевіряється доступність усіх задіяних на попередньому кроці полігонів ТПВ та власних спеціалізованих організацій з вивезення ТПВ.

3. Визначається можливість вивезення наявними у власних спеціалізованих організацій потужностями накопиченого обсягу ТПВ на доступні полігони ТПВ (один чи декілька).

4. В разі неможливості вивезення накопиченого обсягу ТПВ визначається полігон ТПВ, який не було задіяно на попередньому кроці та робиться звернення до населеного пункту, який є розпорядником цього полігону, щодо можливості розміщення накопиченого обсягу ТПВ.

5. В разі отримання від іншого населеного пункту звернення щодо можливості додаткового обсягу ТПВ робиться висновок стосовно такої можливості (у випадку позитивного рішення також розраховується тривалість та необхідні ресурси для її забезпечення) та надається у відповідь на звернення.

– Організація з вивезення відходів:

1. Розраховує обсяг ТПВ, який може бути вивезений наявними в організації потужностями.
2. Відбирає відповідну кількість карток відходів з населеного пункту та передає до полігонів ТПВ.

– Полігон ТПВ:

1. Розраховує обсяг ТПВ, який може бути розміщений на території полігону за наявних потужностей.
2. Отримує відповідну кількість карток відходів від спеціалізованої організації.

В процес симуляції може бути включено різні комбінації в залежності від умов регіону, в якому розташоване місто, наприклад:

1. Одне місто, декілька власних спеціалізованих організацій з вивезення відходів, декілька доступних полігонів ТПВ. Мета симуляції – відпрацювати взаємодію органів, які управляють системою поводження з відходами міста у випадку надзвичайної події на одному з полігонів.

2. Одне місто, декілька власних спеціалізованих організацій з вивезення відходів, один доступний полігон ТПВ, ще один або декілька населених пунктів, які є розпорядниками одного полігону ТПВ кожен. Мета симуляції – відпрацювати взаємодію органів місцевого самоврядування регіону, які управляють системами поводження з відходами окремих населених пунктів у випадку надзвичайної події на одному з полігонів.

У другому випадку зі збільшенням кількості задіяних населених пунктів критичною є можливість оперативного визначення доступних полігонів ТПВ, що є найближчими та відповідають накладеним на задачу умовам. Для її реалізації у представлений роботі було створено модель системи управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної події у місці накопичення ТПВ.

3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ МІСТА ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНОЇ ПОДІЇ У МІСЦІ НАКОПИЧЕННЯ ТПВ

3.1 ФОРМАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ

Формальну постановку задачі моделювання було виконано з використанням підходу, викладеного у роботі [10].

Будемо використовувати наступні позначення:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_{N_A}\}$ – множина місць накопичення ТПВ регіону;

$N_A = |A|$ – потужність множини місць накопичення ТПВ регіону;

$a_i = \{x_i^a, y_i^a, s_i^a, t_i^a\}$, $i = 1 \dots N_A$ – множина показників місця накопичення ТПВ, де x_j^a та y_j^a – географічні координати місця накопичення ТПВ; s_i^a – площа місця накопичення ТПВ, га; t_i^a – поточний статус місця накопичення ТПВ («діюче» або «закрите»);

$B = \{b_1, b_2, \dots, b_{N_B}\}$ – множина населених пунктів регіону;

$N_B = |B|$ – потужність множини населених пунктів регіону;

$b_j = \{x_j^b, y_j^b, w_j^b, p_j^b\}$, $j = 1 \dots N_B$ – множина показників населеного пункту, де x_j^b та y_j^b – географічні координати населеного пункту; w_j^b – середньодобовий обсяг ТПВ, який утворюється у населеному пункті, тони; p_j^b – кількість осіб, що проживають у населеному пункті;

$l = \{t^l, s^l, d^l, D^l\}$ – множина обмежень задачі, де t^l – бажаний статус шуканого місця накопичення ТПВ («діюче», «закрите» або «будь-яке»); s^l – мінімальна площа шуканого місця накопичення ТПВ, га; d^l – мінімальна

відстань до шуканого місця накопичення ТПВ, км; D^l – максимальна відстань до шуканого місця накопичення ТПВ, км;

$c = \{x^c, y^c, s^c, t^c\}$ – множина показників шуканого місця накопичення ТПВ, де x^c та y^c – географічні координати населеного пункту; s^c – площа шуканого місця накопичення ТПВ, га; t^c – статус шуканого місця накопичення ТПВ («діюче» або «закрите»);

$dist(b, a)$ – відстань від деякого населеного пункту $b \in B$ до деякого місця накопичення ТПВ $a \in A$, км, яку за відомих географічних координат та довжин 1 градусу за паралеллю k_x та 1 градусу за меридіаном k_y можна розрахувати за наступною формулою

$$dist(b, a) = \sqrt{(x^a \cdot k_x - x^b \cdot k_x)^2 + (y^a \cdot k_y - y^b \cdot k_y)^2}. \quad (3.1)$$

Напрямок за мапою на місце накопичення ТПВ відносно населеного пункту можна визначити за значеннями напрямних кутів, які обраховуються за формулами

$$\varphi(b, a) = \arccos \left(\frac{x^a \cdot k_x - x^b \cdot k_x}{dist(b, a)} \right); \quad (3.2)$$

$$\psi(b, a) = \arcsin \left(\frac{y^a \cdot k_y - y^b \cdot k_y}{dist(b, a)} \right). \quad (3.3)$$

Відповідність результатів обчислень за формулами (3.2)–(3.3) та напрямів на мапі представлено у таблиці 3.1

За вказаних вище позначень задача знаходження шуканого місця накопичення ТПВ може бути представлена у наступному вигляді: за заданих обмежень l необхідно знайти найближче до обраного населеного пункту $b \in B$ місце накопичення ТПВ c з множини місць накопичення ТПВ регіону $a \in A$. У формальному вигляді задача знаходження найближчого місця накопичення ТПВ може бути представлена у наступному формальному вигляді:

$$\forall a \in A: dist(b, c) \leq dist(b, a).$$

Таблиця 3.1 – Відповідність обчислених величин напрямних кутів $\varphi(b,a)$, $\psi(b,a)$ та напрямку до місця накопичення ТПВ на мапі

$\varphi(b,a)$	$\psi(b,a)$	Напрямок на мапі
$0 \dots 22,5^\circ$	$-22,5^\circ \dots 22,5^\circ$	Схід
$22,5^\circ \dots 67,5^\circ$	$22,5^\circ \dots 67,5^\circ$	Північний схід
$67,5^\circ \dots 112,5^\circ$	$67,5^\circ \dots 90^\circ$	Північ
$112,5^\circ \dots 157,5^\circ$	$22,5^\circ \dots 67,5^\circ$	Північний захід
$157,5^\circ \dots 180^\circ$	$-22,5^\circ \dots 22,5^\circ$	Захід
$112,5^\circ \dots 157,5^\circ$	$-22,5^\circ \dots -67,5^\circ$	Південний захід
$67,5^\circ \dots 112,5^\circ$	$-67,5^\circ \dots -90^\circ$	Південь
$22,5^\circ \dots 67,5^\circ$	$-22,5^\circ \dots -67,5^\circ$	Південний схід

3.2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ МІСТА

Представлена математична модель була покладена в основу реалізації програмно-обчислювального комплексу підтримки прийняття рішень у системі управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної ситуації на полігоні ТПВ. Програмну частину комплексу створено у середовищі Microsoft Excel, що дозволило реалізувати наступні функції:

1. Збереження бази даних місць накопичення ТПВ регіону;
2. Вибір значень заданих умов – населеного пункту, обмежень щодо системи вивезення відходів, а також аварійного полігону ТПВ, на якому відбувається надзвичайна подія;
3. Автоматизований вибір місць накопичення ТПВ, які відповідають заданим умовам.

Окремою перевагою реалізованого комплексу є можливість його використання на мобільному телефоні або планшеті на базі операційної системи Android та безкоштовного програмного забезпечення WPS Office. Інтерфейс програмно-обчислювального комплексу представлено на рисунку 3.1.

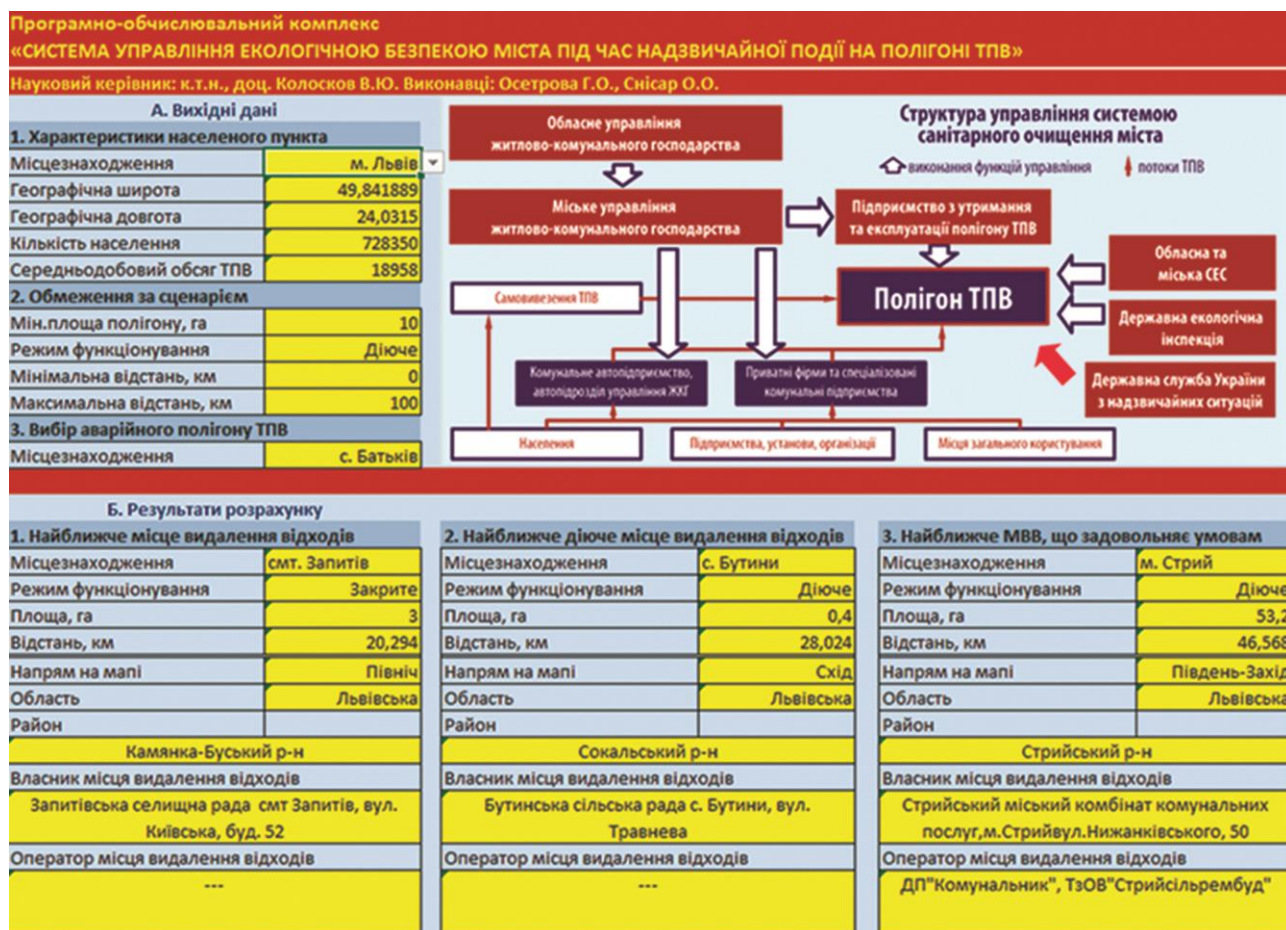


Рисунок 3.1 – Інтерфейс програмно-обчислювального комплексу

Практичне відпрацювання програмно-обчислювального комплексу проводилося на основі даних стосовно місць видалення відходів, отриманих з бази даних Міністерства екології та природних ресурсів України [9]. В якості базового регіону було обрано Львівську область.

В результаті відпрацювання сценарію, пов'язаного з виходом з ладу Львівського полігону ТПВ було встановлено наступні причини погіршення стану з надмірним накопиченням ТПВ у м. Львів:

1. Для вивезення відходів використовувалися [8] Дрогобицький полігон ТПВ, розташований поблизу с. Брониця Дрогобицького району (202 км від м. Львів) та Бориславський полігон ТПВ, розташований поблизу м. Борислав (196 км від м. Львів). Обидва полігони було закрито у 2018 році.

2. Визначено наявні полігони ТПВ, розташовані вдвічі-втричі ближче за використовувані, а саме полігони у м. Стрий, Стрийський район (64,7 км від м. Львів), м. Жидачів, Жидачівський район (52,8 км від м. Львів) та м. Броди, Бродівський район (87,1 км від м. Львів).

Таким чином створений симуляційний комплекс, оснащений програмно-обчислювальним комплексом підтримки прийняття рішень «Система управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної події на полігоні ТПВ» є придатним для імітаційного моделювання функціонування систем управління екологічною безпекою за напрямом поводження з відходами. Результати моделювання з використанням розробленого комплексу можуть бути використані для підвищення ефективності управління екологічною безпекою у системах поводження з відходами місцевих громад за рахунок підвищення рівня взаємодії місцевої влади, комунальних підприємств у сфері поводження з відходами, а також підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

1. У представленій роботі проведено аналіз сучасного стану системи поводження з ТПВ в Україні. В результаті аналізу встановлено, що сучасна система поводження з ТПВ є уразливою до надзвичайних подій у місцях накопичення ТПВ, які призводять до призупинення функціонування таких об'єктів на досить тривалий час. Наслідками таких подій стають неконтрольоване накопичення великих обсягів ТПВ на території населених пунктів у місцях, для цього не призначених, та, як наслідок, підвищення рівня негативного впливу на довкілля.

2. Розроблено симуляційний комплекс системи управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної події у місці накопичення ТПВ на основі методу імітаційного моделювання. Комплекс розроблено на базі принципу забезпечення мобільності та оперативності роботи, а також з урахуванням того, що для багатоцільових систем, що працюють в умовах необхідності врахування комплексу суперечливих критеріїв, практично відсутня можливість описати об'єкт точною математичною моделлю. Метою його використання є формування стиля та навичок управління екологічною безпекою в системі поводження з відходами в умовах, коли об'єкт замінено імітаційною моделлю.

3. Для використання у симуляційному комплексі розроблено модель системи управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної події у місці накопичення ТПВ, завданням якої є знаходження найближчого до обраного населеного пункту місця накопичення ТПВ з подібних об'єктів регіону за заданих обмежень. Розроблена модель покладена в основу реалізації програмно-обчислювального комплексу підтримки прийняття рішень у системі управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної ситуації на полігоні ТПВ, який дозволяє зберігати базу даних місць накопичення ТПВ регіону, обирати обмеження щодо системи поводження з відходами регіону та в автоматизованому режимі визначити місця накопичення ТПВ, що відповідають умовам.

4. Розроблений симуляційний комплекс, оснащений програмно-обчислювальним комплексом підтримки прийняття рішень «Система управління екологічною безпекою міста під час надзвичайної події на полігоні ТПВ» є придатним для імітаційного моделювання функціонування систем управління екологічною безпекою за напрямом поводження з відходами. Результати моделювання з використанням розробленого комплексу можуть бути використані для підвищення ефективності управління екологічною безпекою у системах поводження з відходами місцевих громад за рахунок підвищення рівня взаємодії місцевої влади, комунальних підприємств у сфері поводження з відходами, а також підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Управління та поводження з відходами: підручник / Т.П. Шаніна, О.Р. Губанова, М.О. Клименко та ін. – Одеса, 2012. – 270 с.
2. Єремєєв, І. С., Марчук С. В. Дослідження впливу полігонів ТПВ на землі сільськогосподарського призначення / І. С. Єремєєв, С. В. Марчук // Агросвіт. – 2015. – № 15. – С. 3-8.
3. ДБН В.2.4-2-2005. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування. – К., Держбуд України, 2005. – 31 с.
4. Лаврентьев, А. А. Загрязнение атмосферы в районе полигонов по переработке отходов / А. А. Лаврентьев // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2008. – № 1. – С. 84-85.
5. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p>
6. Звіт за результатами дослідження ринків послуг у сфері поводження з побутовими відходами. Схвалено АМК України 11.01.2018 р., протокол № 2. – Режим доступу: <http://www.amc.gov.ua/amku/doccatalog/document?id=139186>
7. Львов на пороге мусорной катастрофы: отходы некуда вывозить. // Медіа-холдинг «Західна інформаційна корпорація». – Режим доступу: https://zik.ua/ru/news/2016/06/01/lvov_na_poroge_musornoy_katastrofi_othodi_nekuda_vivozyt_704545
8. Кто і куди вивозить сміття зі Львова. // Агенція інформації та аналітики galinfo. – Режим доступу: https://galinfo.com.ua/news/hto_i_kudy_vyvozyt_smittya_zi_lvova_280169.html
9. Інтерактивна мапа / Міністерство екології та природних ресурсів України. – Режим доступу: <https://ecomapa.gov.ua/?layer=mvv>
10. Полевой, Д.В. Методы поиска ближайших соседей в задаче анализа графического образа структурированного документа / Д.В. Полевой, В.В. Постников // Труды ИСА РАН, 2007. Т. 29. – С. 302-319.