

**Шифр: енергетичні ресурси**

**Дослідження можливостей використання побутових відходів  
Грибовицького полігону на предмет прихованих енергетичних ресурсів**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗВАЛИЩА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК НЕБЕЗПЕЧНИЙ ЧИННИК ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ...	5
1.1. Поняття твердих побутових відходів.....	5
1.2. Проблеми антропогенного забруднення земель полігонами твердих побутових відходів.....	8
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ТЕХНОГЕННИХ ЗАГРОЗ ЛЬВІВСЬКОГО ПОЛІГОНУ ТПВ .....	12
2.1. Характеристика ділянки Львівського полігону захоронення твердих побутових відходів.....	12
2.2. Проблеми еколого-техногенної безпеки сміттєзвалища .....	14
РОЗДІЛ 3. ДОЦІЛЬНІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ НА ПІДСТАВІ РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	17
3.1. Розрахунок орієнтовного обсягу біогазу Львівського полігону ТПВ..	17
3.2. Устаткування з утилізація біогазу та розрахунок уражаючих факторів при можливих аваріях.....	20
3.3. Техніко-економічна ефективність запропонованого рішення.....	26
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

## ВСТУП

Сучасні полігони твердих побутових відходів (ТПВ) це спеціалізовані інженерні споруди, які обладнані захисним протифільтраційним екраном, системами збору та утилізації інфільтратів та біогазу, системою технічної та біологічної рекультивації, системою збору та відведення умовно чистих атмосферних вод. Однак, більш ніж 80% полігонів ТПВ, що експлуатуються сьогодні в Україні не відповідають санітарним та технічним нормам, тобто фактично є звалищами та створюють техногенне навантаження на складові навколишнього середовища [1].

Відходи, що там розміщені, зазнають складних фізико-хімічних та біохімічних змін під впливом атмосферних явищ, специфічних умов, що формуються у товщі відходів, а також в результаті взаємодії між собою. Це призводить до утворення різних токсичних сполук, які, потрапляючи до навколишнього середовища, негативно впливають на його компоненти [3].

Звалища ТПВ несуть також значну санітарну небезпеку, тому що є сприятливим середовищем для розвитку паразитичної фауни та патогенної мікрофлори. Зараження підземних та поверхневих вод, ґрунту продуктами інфільтрації, безконтрольне утворення метану, яке спричиняє самовільне самозаймання полігонів, є лише частиною тих техногенних загроз, з якими борються відповідні органи та служби.

Незважаючи на велику кількість причин (основними з яких є відсутність коштів на рекультивацію полігонів, або впровадження прогресивних технологій поводження з відходами) звалища ТПВ продовжують експлуатуватися. Тому необхідним стає впровадження на полігонах ТПВ інженерних, наглядових та природоохоронних заходів, які дозволять знизити їх техногенне навантаження на довкілля.

*Актуальність дослідження.* У масиві Львівського полігону ТПВ накопичились значні запаси біогазу. В силу досить низької щільності і доброї проникності сміття частина газу вивільнюється у повітря. Однак даний полігон створює значний негативний вплив практично на усі компоненти довкілля і є

однією з найбільших екологічних проблем м. Львова та області. Термін експлуатації полігону перевищив у два рази проектні показники. Також стан навколишнього середовища в районі Львівського полігону ускладнюють розташовані навколо накопичувачі кислих гудронів.

Тому, до актуальних належать дослідження, пов'язані з розрахунком ефективності та продуктивності інноваційних технологій, які повинні закладатися на стадіях проектування сучасних полігонів ТПВ.

*Мета дослідження:* вивчення впливу на навколишнє середовище техногенних загроз Грибовицького полігону твердих побутових відходів, та пропонування інженерно-технічних рішень для мінімізації даної проблеми.

*Об'єкт дослідження:* Грибовицький полігон твердих побутових відходів.

*Предмет дослідження:* техногенні загрози полігону твердих побутових відходів.

*Основні завдання досліджень:*

- визначення загальних понять, які стосуються полігонів ТПВ;
- збір первинної інформації про об'єкт досліджень;
- характеристика основних техногенних загроз які, створює об'єкт дослідження;
- виділення основної проблеми та проведення розрахунків на її основі;
- впровадження заходів щодо мінімізації техногенного впливу від даної загрози.

*Практичне значення результатів досліджень.* На основі одержаних результатів, можна встановити інноваційну технологію, яка постачатиме електроенергію в мережу за «зеленим тарифом» та зменшить виділення звалищного газу в навколишнє середовище до мінімального рівня.

## РОЗДІЛ 1.

### ЗВАЛИЩА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК НЕБЕЗПЕЧНИЙ ЧИННИК ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

#### 1.1. Поняття твердих побутових відходів

Діяльність людини зумовлює утворення твердих відходів. Газоподібні і рідкі відходи швидко поглинаються природним середовищем, на відміну від них, тверді відходи асимілюються десятки і сотні років. Місця складування твердих відходів займають великі території. Щороку в Україні утворюються близько 10 тонн відходів на одного мешканця країни, проти 5 тонн, як це є в країнах Європейського Союзу. Відсоток утилізації та знешкодження відходів практично нульовий. За даними укрстатуобсяг накопичення відходів за період 2010-2017 роки наведено у таблиці 1.1. [27]. Загалом в країні накопичилось близько 12,5 млрд. т відходів (станом на 2017 рік). Об'єм утворення твердих відходів в Україні в 6,5 разів більший ніж в США і в 3,2 рази ніж в країнах ЄС. Проблема відходів - це, в основному, проблема міст, чим більше місто, тим більше відходів [1].

Таблиця 1.1.

Динаміка утворення відходів на території України

	Утворено	Утилізо- вано	Спалено	Видалено у спеціально відведених місцях чи об'єктах	Загальний обсяг відходів, накопичених протягом експлуатації, у спеціально відведених місцях чи об'єктах
2010	425914,2	145710,7	1058,6	336952,2	13267455,0
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	1659,9	642,4	16,5	306,3	16236,3
2011	447641,2	153687,4	1054,5	277106,8	14422372,1
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	1434,5	597,5	15,6	138,5	15157,9
2012	450726,8	143453,5	1215,9	289627,4	14910104,7
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	1368,1	541,4	14,0	146,7	14324,8
2013	448117,6	147177,9	918,7	288121,1	15167368,9
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	919,1	439,0	15,1	103,0	12641,6
2014 <sup>2</sup>	355000,4	109280,1	944,7	203698,0	12205388,8

у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	739,7	327,1	8,2	81,6	11996,0
2015 <sup>2</sup>	312267,6	92463,7	1134,7	152295,0	12505915,8
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	587,3	314,5	5,8	78,6	12055,0
2016 <sup>2</sup>	295870,1	84630,3	1106,1	157379,3	12393923,1
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	621,0	337,9	6,2	111,7	12102,4
2017 <sup>2</sup>	366054,0	100056,3	1064,3	169801,6	12442168,6
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	605,3	305,5	8,7	107,1	12197,6

Згідно Закону України «Про відходи» побутові відходи - це відходи, що утворюються в процесі життя і діяльності людини в житлових та нежитлових будинках (тверді, великогабаритні, ремонтні, рідкі, крім відходів, пов'язаних з виробничою діяльністю підприємств) і не використовуються за місцем їх накопичення [2].

Тверді відходи - залишки речовин, матеріалів, предметів, виробів, товарів, продукції, що не можуть у подальшому використовуватися за призначенням. Тож можна сказати, що компоненти сировини, які не використовуються при виробництві продукції, або речовини і енергія, які виникають під час технологічних процесів, і не піддаються утилізації на даному виробництві, називаються відходи [9].

Вторинні матеріальні ресурси (ВМР) - сукупність всіх видів відходів, які можуть бути використані як основна чи допоміжна сировина для випуску нової продукції. Реальні ВМР - це ті ресурси для яких створені ефективні методи і технологічні схеми для переробки. Потенціальні ВМР - ті ресурси, що не відносяться до реальних [11].

За прогнозами Інституту економіки природокористування та сталого розвитку НАН України, норма утворення ТПВ на одиницю населення до 2020 року має зрости до 347 кг/рік, а у 2030 році - до рівня 395 кг/рік [23].

Дуже чітко простежується динаміка утворення ТПВ в ЄС в залежності від індустріального розвитку країни, густоти населення та рівня його життя. Промислово розвинутий та більш багатий захід Європи генерує значно більше

побутових відходів, ніж країни сходу. За останніми даними Євростату, порівнювана з Україною за кількістю населення Іспанія генерує 535 кг ТПВ/особу (Україна - 287 кг/ос). Територіальні сусіди України, Польща та Румунія, генерують 315 кг/особу та 365 кг/особу відповідно (Рис. 1.1.) [13].

В Україні ж найбільшу кількість ТПВ генерують густонаселені регіони сходу та півдня, а також м. Київ. При цьому, послугами з вивезення ТПВ охоплено лише 3/4 населення країни. Зауважимо, що офіційні статистичні дані Мінрегіону є значною мірою приблизними. В зв'язку з тим, що в Україні практично відсутня практика зважування твердих побутових відходів, зазвичай облік ведеться в одиницях об'єму (кубічних метрах). Перерахунок у одиниці маси (т) здійснюється виходячи з густини ТПВ, яка складає близько 0,2-0,3 т/м<sup>3</sup> [15].

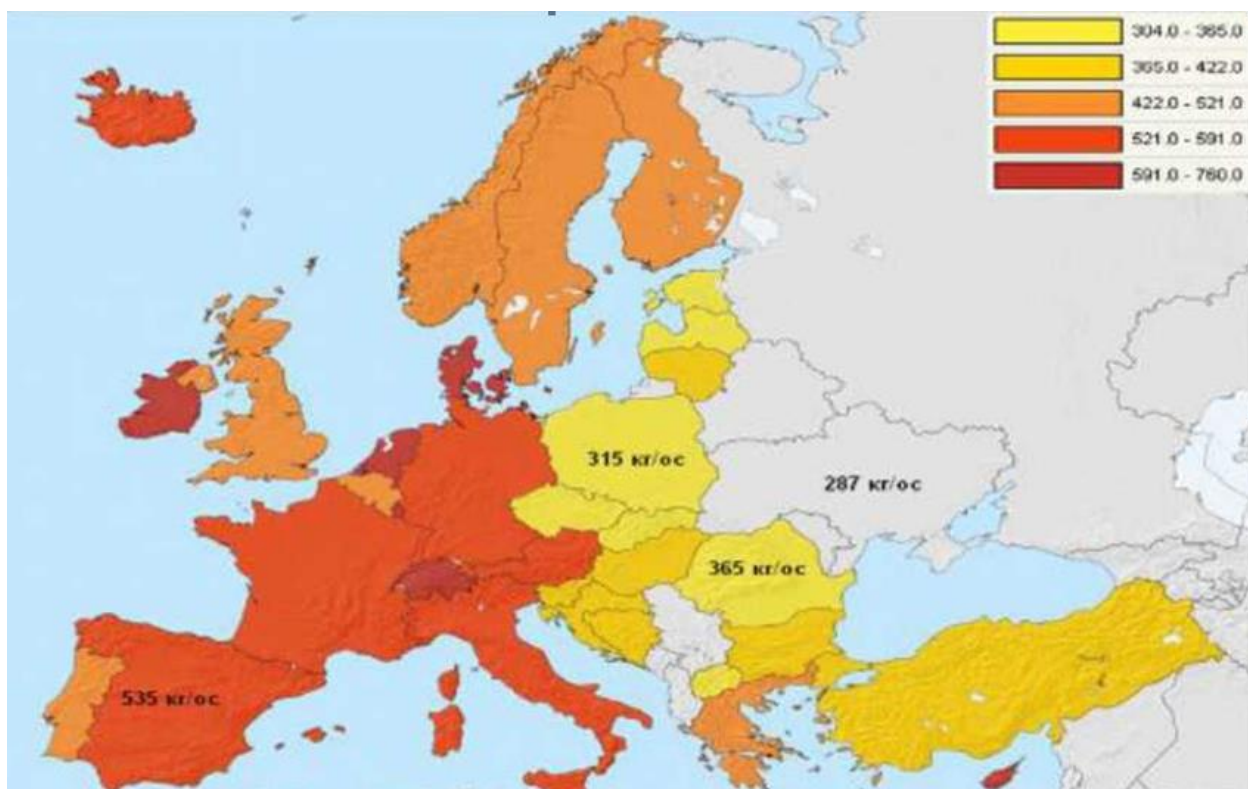


Рис. 1.1. Порівняльна карта-схема кількості утворення відходів у різних країнах Європи, кг/особу

У статистичній звітності подекуди зустрічаються числові невідповідності, коли наприклад обсяг перевезених чи захоронених ТПВ у певному регіоні дещо перевищує обсяг утворених. Скоріше за все це пов'язано з надходженням даних

з різних джерел - від ЖЕКів, перевізників, полігонів та інших учасників. Незначні похибки у локальних підрахунках кожного з підприємств призводять до подібних невідповідностей у масштабах регіону. Також це може бути спричинено віднесенням до ТПВ інших видів відходів, наприклад захороненням на полігонах ТПВ відходів промисловості [9].

## **1.2. Проблеми антропогенного забруднення земель полігонами твердих побутових відходів**

Однією з найбільш гострих екологічних проблем сьогодення, що потребує невідкладного вирішення, є утворення та накопичення великої кількості твердих побутових відходів (ТПВ) (табл. 1.2). Вивезення побутового сміття на звалища означає перекладання непотрібних і небезпечних в санітарному відношенні речовин з одного місця на інше: із міста - за місто. Значною проблемою стає знаходження вільних земель поблизу великих міст [28].

За кордоном щораз більше країн відмовляються від такого застарілого способу вирішення проблеми. В провідних європейських країнах (Данія, Швеція, Бельгія, Нідерланди, Німеччина, Австрія та ін.) захороненню підлягають менше 20% твердих побутових відходів, а залишки в обсязі 45-60% переробляється як вторсировина, спалюється 25-35% відходів. У планах цих країн, через 5-7 років, повністю припинити поховання твердих побутових відходів на полігонах [25].

В приватному секторі, через відсутність належної системи збору твердих побутових відходів утворюються тисячі стихійних звалищ, які не піддаються точному обліку [29]. Слід також зазначити, що кількість звалищ в Україні суттєво перевищує кількість полігонів [27].

При розміщенні твердих побутових відходів на звалищах і полігонах негативний вплив на природне середовище полягає в порушенні ландшафтів, забрудненні ґрунтів, повітряного басейну, поверхневих і підземних вод, що призводить до деградації природних екосистем, зміни умов проживання й стану



здоров'я людей [15-17].

Таблиця 1.2.

Поводження з побутовими та подібними відходами

	2011	2012	2013	2014 <sup>2</sup>	2015 <sup>2</sup>	2016 <sup>2</sup>	2017 <sub>2</sub>
Зібрано ППВ, тис.т	10356,5	13878,0	14501,0	10748,0	11491,8	11562,6	11271,2
Видалено ППВ, тис.т	7030,0	9362,7	9504,4	5893,8	6233,0	6089,5	6469,0
у т.ч. видалено на спеціально обладнані звалища	4321,5	5175,1	5178,5	3397,9	4194,3	4208,1	4417,5
Спалено ППВ з метою отримання енергії, тис.т	154,0	149,9	147,6	149,0	254,3	257,3	244,4
Спалено ППВ без отримання енергії, тис.т	98,5	78,6	2,9	3,8	2,1	2,0	1,2
Утилізовано ППВ, тис.т	74,5	57,4	9,4	3,8	4,0	6,5	16,5
у т.ч. компостовано	...	...	3,7	0,0	0,4	0,0	8,2
<b>У розрахунку на одну особу</b>							
Зібрано ППВ, кг	226,6	304,3	318,7	250,0	268,5	271,0	265,3
Видалено ППВ, кг	153,8	205,3	208,9	137,1	145,6	142,7	152,3
у т.ч. видалено на спеціально обладнані звалища	94,6	113,5	113,8	79,0	98,0	98,6	104,0
Спалено ППВ з метою отримання енергії, кг	3,4	3,3	3,2	3,5	5,9	6,0	5,8
Спалено ППВ без отримання енергії, кг	2,2	1,7	0,1	0,1	0,05	0,05	0,03
Утилізовано ППВ, кг	1,6	1,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4

Практика показала, що звалища твердих побутових відходів виділяють у повітря шкідливі гази, а у воду і ґрунт – безліч шкідливих речовин (від важких металів до вуглеводнів). Назавжди втрачаються матеріали, які ще можна використати повторно. Часто відбувається самозапалення звалищ і отруйний дим тягнеться з них на велику відстань, забруднюючи прилеглі ділянки [24].

ТПВ мають негативну дію на всі компоненти багатоповерхової структури ландшафтів, але особлива небезпека пов'язана із проникненням забруднюючих речовин у ґрунт – геохімічний бар'єр, у якому відбувається накопичення небезпечних забруднювачів [3]. Стан ґрунтового покриву поблизу об'єктів техногенного впливу дає можливість оцінити ступінь забруднення і виділити найбільш небезпечні ділянки, адже саме через ґрунт можлива транслокація

забруднюючих елементів у рослини і ґрунтові води та подальша їх міграція трофічним ланцюгом в організм людини [9].

Міністерством екології та природних ресурсів була розроблена інтерактивна мапа сміттєзвалищ, за допомогою якої можна у будь-який час визначити кількість зареєстрованих сміттєзвалищ а території України, та подати заяву громадян про виявлення незаконних стихійних звалищ (рис. 1.2.) [29].

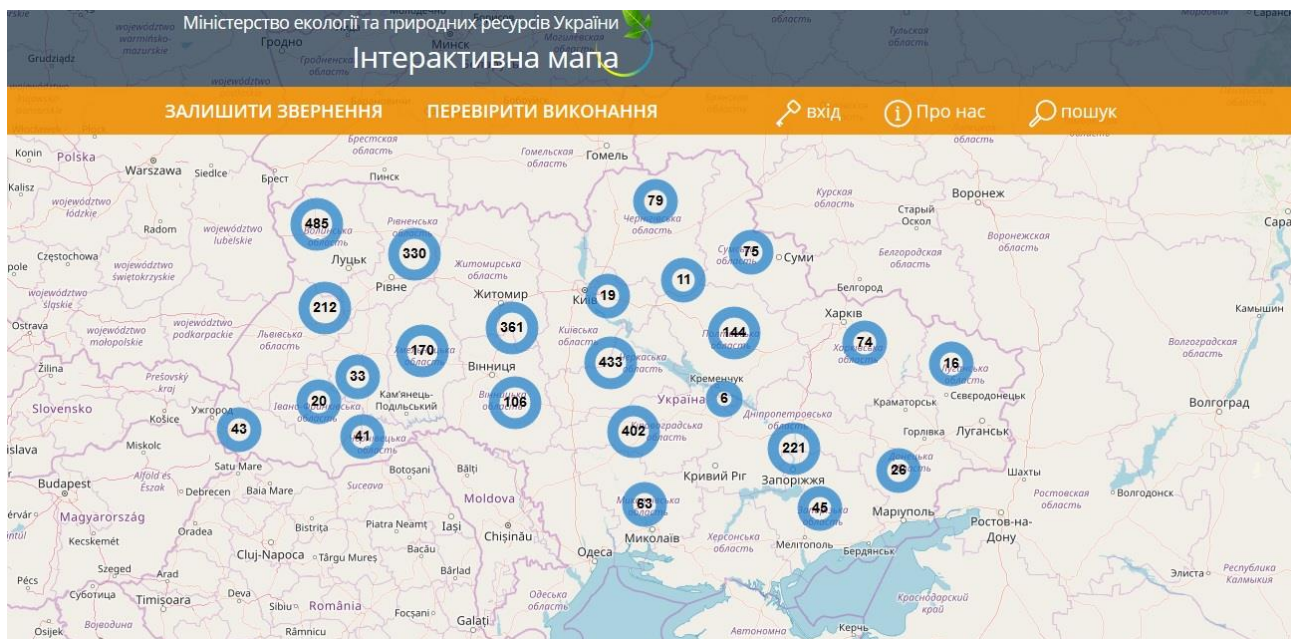


Рис. 1.2. Кількість зареєстрованих сміттєзвалищ на території України

Аналіз забруднення підземних вод на ділянках звалищ ТПВ показує, що вміст забруднюючих компонентів в підземних водах може значно (в десятки і сотні разів) перевищувати ГДК; фільтраційна неоднорідність і тріщинуватість підстилаючих порід обумовлює нерівномірне переміщення забруднюючих компонентів в підземних водах і тривале їх збереження у водоносному горизонті [24].

Небезпека звалищ ТПВ для життя людей викликана також наявністю і розвитком в них патогенних мікроорганізмів, а саме: збудників гепатиту, туберкульозу, дизентерії, аскаридозу, респіраторних, алергічних та інших захворювань. У фільтраті, який у значних кількостях накопичується на полігонах ТПВ, нараховується більше десяти шкідливих для людей сполук [19].

Найточнішим показником рівня організованості й цивілізованості країни стає її ставлення до проблеми сміття. Найвищим досягненням у цій проблемі є створення спеціалізованих підприємств для переробки і повторного використання побутових та інших міських відходів [14].

У Європі на сьогодні діють більше 400 таких підприємств, які за рахунок твердих побутових відходів забезпечують теплом і електроенергією понад 25 млн. мешканців. Деякі країни світу (наприклад, у США, Ізраїлі) створюють великі спеціальні полігони-реактори, де збирається і використовується біогаз.) Зараз спостерігається активна робота зі створення сміттєпереробних підприємств, обладнаних сортувальними лініями з ручним сортуванням побутових відходів. Роздільна система збору окремих складових ТПВ забезпечує отримання відносно чистих вторинних ресурсів і зменшує кількість вивізних відходів. Це надзвичайно трудомісткий, непродуктивний і санітарно небезпечний процес [13].

Із методів промислової переробки ТПВ в світовій практиці найбільш поширеним є спалювання відходів на спеціальних заводах. Слід зазначити, що сміттєспалювання – один із найбільш дорогих методів знезаражування відходів [25].

## РОЗДІЛ 2.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ТЕХНОГЕННИХ ЗАГРОЗ ЛЬВІВСЬКОГО ПОЛІГОНУ ТПВ

#### 2.1. Характеристика ділянки Львівського полігону захоронення твердих побутових відходів

Досліджувана територія характеризується складними гідрогеологічними умовами. У відповідності до геологічної будови тут виділяється три водоносні комплекси: четвертинний, неогеновий і верхньокрейдовий. Практично всі вони використовуються для водопостачання прилеглих населених пунктів. Основним джерелом децентралізованого водопостачання сіл Великі Грибовичі, Малехів та Дубляни є четвертинний водоносний горизонт еолово-делювіальних лесів та пісків. У с. Малі Грибовичі для цього використовуються води переважно алювіально-делювіальних відкладів, меншою мірою (на схилах) лесів [4].

Важливою особливістю вод цього горизонту є достатньо близьке від поверхні залягання, легка доступність для використання, непогана якість води і, у той же час, висока вразливість до антропогенного забруднення через абсолютну природну незахищеність. Територія с. Збиранка завдяки надзвичайно високій дренажності території глибокими ярами по суті є безводною.

Наведені дані свідчать про те, що підземні води у районі сміттєзвалища захищені недостатньо. Розглядаючи питання захищеності вод цього горизонту слід враховувати також глибину його залягання, товщину зони аерації та ступінь тріщинуватості верхньої частини мергелистої товщі.

Львівський полігон твердих побутових відходів, знаходиться в районі села Грибовичі Жовківського району Львівської області [31]. Підприємство займається збиранням та захороненням відходів. Земельна ділянка загальною площею 38,8 га розташована на віддалі 5-7 км від межі м. Львів у напрямку м. Жовква. Найближчі населені пункти в районі полігону твердих побутових відходів (ТПВ): с. Збиранка (1,5 км на захід), с. Грибовичі (2,5 км на північний захід), с. Малехів (2 км на південний схід) [35].

Існуючий полігон твердих побутових відходів включає:

1. Полігон ТПВ;
2. Споруди збору та очистки фільтрату в складі: ємкості збору фільтрату з полігону (3шт), установка очистки фільтрату, залізобетонний резервуар-накопичувач фільтрату (86 м<sup>3</sup>), відкритий резервуар-накопичувач стічних вод (600 м<sup>3</sup>), система подачі фільтрату на полігон [36];
3. Господарську зону: побутовий корпус, механічна майстерня, бокс для автомобілів, склад;
4. Об'єкти контролю та перепуску транспорту: контрольно-пропускний пункт, вагові (2 шт), яма для миття коліс;
5. Систему дегазації (власність фірми ТзОВ «Гафса», знаходиться в незадовільному стані) в складі: свердловини, колодязь центральної газозбірної гребінки, установка осушки біогазу, свіча, блок енергозабезпечення, повітка;
6. Сховища кислих гудронів №1, №2, №3, №4.

Рельєф майданчика полігону ТПВ і прилеглих територій характеризується значною строкатістю. Абсолютні позначки горбистої частини полігону становлять 350,0-360,0м, долинно-балочні низи лежать на висотах 260,0-267,0м [7].

Основний масив звалища розташований в межах ділянки, площа якої становить 26,5га. На даний час поверхня полігону ТПВ це терасований схил, на якому фіксуються три основні техногенні тераси, схили яких лежать під кутами 25-45°. У нижній частині полігону ТПВ розташовані існуючі та збудовані резервуари-накопичувачі стічних вод та витоків фільтрату [4].

На ділянці полігону ТПВ в її північній та південно-західній частині розташовано п'ять земляних збірників кислих гудронів. Один із збірників засипаний сміттям. Мають місце витокі із сховищ, що зафіксовано в роботі ВАТ «Геотехнічний інститут» «Звіт про дослідження з оцінки екологічного та санітарно-гігієнічного стану територій, прилеглих до Львівського полігону твердих побутових відходів» виконаному у 2005 році [6].

Звалище характеризується складною формою. Воно було закладено в днищі природної балки на рівні абсолютних відміток 274-280 метрів. В північно-західному напрямку балка розгалужується на два окремих яри, що „врізаються” в східний схил Малехівської гряди, яка в привододільній частині лежить на висотах 350-360 метрів. На південний схід від звалища рельєф місцевості перетворюється в інтенсивно обводнену рівнину. Таким чином, підосва звалищного масиву має вигляд кривої площини, із загальним напрямом нахилу на південний схід [37].

Поверхня полігону - терасований схил, на якому чітко фіксуються три основні техногенні тераси (блоки), площини яких характеризуються горбисто-похилими поверхнями а схили лежать під кутами 25-45°. Найнижча серед терас була сформована на першому етапі заповнення полігону. Її поверхня лежить на відмітках 293-300 м, а підніжжя спускається до висот 274-280 м. Товщина відходів становить 5-13 м. [33] Середня техногенна тераса утворена на стадії інтенсивної експлуатації полігону. Вона охоплює територію 11-13 га і розташовується в його центральній частині. Її поверхня знаходиться ,головним чином, на абсолютних відмітках 332-334 м. Товщина відходів змінюється від 20-40 м. Верхня техногенна тераса займає північно-західну частину полігону. Поверхня тераси, практично по всій площі, лежить на абсолютних відмітках 347-350 м, і лише в південно-східній частині полого знижується до висот 345 м. Загальна товщина шарів сміття в її межах змінюється від 7 до 30 м [35].

## **2.2. Проблеми еколого-техногенної безпеки сміттєзвалища**

Львівський полігон захоронення твердих побутових відходів (ТПВ) експлуатується з 1959 року. Площа полігону на даний час становить понад 38 га. Товщина звалищного тіла змінюється від 8-12 до 40-45 м (рис. 2.1.).

Беспосередньо сміттєзвалище розташоване в межах порівняно крутосхилої ерозійної розчленованої місцевості. В морфологічному відношенні звалищний масив це система техногенних терас складної конфігурації, поверхні яких лежать на різних абсолютних відмітках. На територіях, що прилягають до

звалища, розміщені різноманітні об'єкти з підвищеним рівнем техногенного впливу на довкілля [22].



Рис. 2.1. Просторове розташування сміттевого тіла Львівського полігону ТПВ на космознімку GoogleEarth

Тривалий час захоронення сміття на полігоні проводилось без дотримання технологічних та санітарних норм, що призвело до виникнення цілої низки проблем техногенного характеру, які створюють небезпеку для довкілля і здоров'я людини.

### ***Загрози виникнення пожеж***

Полігон побутових відходів особливий об'єкт, це місце де зосереджений великий обсяг горючих матеріалів: папір, поліетилен, пластик (останній при горінні виділяє велику кількість канцерогенів, особливо небезпечних для життєдіяльності людини) [41].

Пожежа виникає з кількох причин:

- привозять палаюче сміття;
- підпал (частий випадок).

Ще є ймовірність попадання блискавки на територію полігону, але головною причиною вважається так зване самозаймання звалищ. З органічної складової сміття (харчових відходів, паперу, листя та гілок) з часом утворюється звалищний газ - метан. Кожне звалище це величезний біореактор, в надрах якого, внаслідок анаеробного розкладу відходів органічного

походження утворюється цей біогаз. Генерація біогазу відбувається не тільки під час експлуатації полігонів ТПВ, а й упродовж десятиріч після їх закриття [39]. Безконтрольне поширення звалищного газу в довкілля викликає негативні ефекти як локального, так і глобального характеру, а саме:

- виникнення пожеж внаслідок стихійного вивільнення звалищного газу;
- насичення біогазом порового простору ґрунтового середовища, що спричиняє асфікцію кореневої системи рослин;
- загазованість споруд і підземних комунікацій
- отруєння людей і тварин;
- посилення парникового ефекту внаслідок емісії біогазу.

Найбільш уразливим місцем полігону є схили полігону, їх легше підпалювати і надзвичайно важко гасити, а укуси часто досягають 10-15 метрів у висоту [40].

#### ***Система утилізації біогазу на полігоні.***

Звалищні гази є парниковими і їх знешкодження стимулювалось механізмом Кіотського протоколу. Завдяки цьому на Львівському звалищі в 2008 році фірмою ТЗОВ «Гафса» була побудована система дегазації. За даними ТЗОВ «Гафса» було пробурено 160 свердловин, розташованих серповидними та радіально-променевими кущами відповідно з морфологією окремих блоків звалища [38].

Свердловини пробурені шнеками діаметром 300 мм до основи тіла полігону, після чого обладнувались обсадними колонами діаметром 150 мм з фільтром у нижній частині, затрубний простір засипався пористим матеріалом. Свердловини обв'язані гребінкою. Газ відсмоктувався вакуумним пластинчато-роторним насосом. Відділення парів води виконувалось на фільтрато-відділювачі. Охолоджений газ через лічильник поступав на вузол збору, де спалювався [37].

На даний час газозбірні свердловини та газові колектора, в основному, засипані 5 м шаром відходів. Установка утилізації біогазу знаходиться в незадовільному стані [12].



## РОЗДІЛ 3.

### ДОЦІЛЬНІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ НА ПІДСТАВІ РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Розрахунок орієнтовного обсягу біогазу Львівського полігону ТПВ

Полігон ТПВ це своєрідний біохімічний реактор, в надрах якого, в певних умовах, розвиваються процеси анаеробного розкладання компонентів органічного походження, в результаті чого генерується біогаз (БГЗ). Створення звалищного газу (метанове бродіння) протікає при температурах від 10°C до 50°C. При цьому вологість, супроводжуюча процеси газоутворення, може мінятися від 8% до 90% (оптимальна вологість відходів для генерації газу складає 40-50%). Необхідною умовою утворення біогазу є відсутність кисню в масиві звалища [8].

Склад біогазу обумовлює ряд його специфічних властивостей. Перш за все, він горючий. Середня калорійність згоряння біогазу становить 5530 ккал/м<sup>3</sup>. У певних концентраціях біогаз токсичний. Конкретні показники його токсичності визначаються наявністю мікроелементів, таких як сірководень (H<sub>2</sub>S). Як правило, газ звалища характеризується різким, неприємним запахом. Приблизний склад біогазу: метан – 40-60 %, діоксид вуглецю – 30-45 %, азот, сірководень, кисень, водень та інші гази – 5-10 %. Теплотворна здатність біогазу – 18-25 МДж/м<sup>3</sup>. Межі вибухонебезпечності суміші біогазу з повітрям становлять 5-15 % [18].

Суміш біогазу з повітрям вибухонебезпечна. Поріг вибухонебезпечних концентрацій метану в повітрі коливається в межах 5-18%. Біогаз також відноситься до числа так званих парникових газів, що надає йому категорію глобального значення і робить газ звалища об'єктом пильної уваги світової спільноти [32].

Для скорочення потрапляння біогазу з полігону ТПВ (ПТПВ) в атмосферу ДБН В.2.4-2- 2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення

проектування» [5] вводить обов'язковим здійснення заходів щодо дегазації ПТПВ, спрямованих на максимальний збір і утилізацію біогазу за рахунок примусового відкачування його з тіла ПТПВ і подальшої утилізації як паливо для двигун-генераторів з метою отримання теплової та електричної енергії. Збір звалищного (полігонного) біогазу дозволяє також скоротити кількість небезпечних токсичних, у тому числі канцерогенних, органічних сполук (ароматичних вуглеводнів, формальдегіду, діоксинів і т.д.), що надходять в атмосферне повітря з поверхні полігону [38].

Хоча визначення ефективності такого проекту потребує проведення додаткових досліджень для отримання об'єктивних даних на місці, існує декілька методик, що дозволяють оцінити прогнозу кількість газу, що виділяється з тіла полігону (п.3.76 ДБН В.2.4-2-2005) [5].

Прогнозування кількості біогазу, що виділяється, робиться з урахуванням складу і властивостей ТПВ, місткості і терміну експлуатації полігону ТПВ, схеми і максимальної висоти складування ТПВ, гідрогеологічних умов ділянки складування ТПВ, рН водної витяжки з ТПВ.

Розрахунок очікуваної кількості біогазу, що виділяється при анаеробному розкладанні ТПВ, рекомендується виконувати за формулою /4, п.3.76/ [5]:

$$V_{p.б} = P_{ТПВ} \times K_{л.о} \times (1-Z) \times K_p, (4.1)$$

$$V_{p.б} = 8\,500\,000\,000 \times 0,5(1-0,5) \times 0,45 = 956\,250\,000 \text{ м}^3$$

де  $V_{p.б}$  - розрахункова кількість біогазу,  $\text{м}^3$ ;

$P_{ТПВ}$  - загальна маса ТПВ, які складуються на полігоні, кг;

$K_{л.о}$  - вміст органіки, що легко розкладається, в 1 т відходів ( $K_{л.о} = 0,4-0,7$ );

$Z$  - зольність органічної речовини ( $Z = 0,2-0,3$ );

$K_p$  - максимально можливий ступінь анаеробного розкладання органічної речовини зарозрахунковий період ( $K_p = 0,4-0,5$ ).

З урахуванням непередбачених обставин питомий об'єм біогазу, що можна зібрати з 1 т твердих побутових відходів за весь період експлуатації системи збирання біогазу, визначається за формулою:

$$V'_{p.б} = V_{p.б} \times K_c \times K, (4.2)$$

де  $V'_{p.б}$ - об'єм біогазу, що можна зібрати з 1 т ТПВ, м<sup>3</sup>;

$K_c$ - коефіцієнт ефективності системи збору біогазу ( $K_c = 0,5$ );

$K$ - коефіцієнт поправки на непередбачені обставини ( $K = 0,65-0,70$ ).

При цьому слід прийняти до уваги такі величини:

- вагова кількість біогазу, одержуваного при анаеробному розкладанні, 1 г біогазу з 1 г розкладеної беззольної речовини ТПВ;

- об'ємна маса біогазу - 1 кг/м<sup>3</sup>;

- теплотворна здатність біогазу 5000 ккал/м<sup>3</sup> (~21 МДж/м<sup>3</sup>).

Таким чином вводимо додатковий коефіцієнт  $\beta$  в розмірності  $0,806 \times 10^{-5}$ :

$$V'_{p.б} = 956\,250\,000 \times 0,5 \times 0,7 \times 0,806 \times 10^{-5}$$

$$V'_{p.б} = 270 \text{ з 1 т ТПВ, м}^3$$

Оскільки цей розрахунок згідно ДБН очікуваної кількості біогазу, що виділяється при анаеробному розкладанні однієї тонни ТПВ, не враховує тривалість утворення біогазу в тілі полігону ТПВ, для визначення кількості біогазу, що утворюється на полігоні, використана емпірична залежність утворення метану за числом зберігання ТПВ, яка широко використовується в моделі розрахунку Агентства захисту довкілля (США) [44]:

$$Q = L_0 \times R \times (e^{-k \times c} - e^{-k \times t}), \quad (4.3)$$

$$Q = 270 \times 324000(e^{-(1/62) \times 2} - e^{-(1/62) \times 59})$$

$$Q \sim 10\,950\,000 \text{ м}^3/\text{рік} = 10\,950\,000/365/24 = 1250 \text{ м}^3/\text{год}$$

де:

$Q$  - кількість метану, що утворюється протягом року, м<sup>3</sup>/рік;

$L_0$  - потенціал утворення метану, м<sup>3</sup>/т ТПВ

$R$  - середня кількість ТПВ, що вивозяться на полігон, т/рік;

$k$ - постійна величина утворення метану, 1/рік;

$c$  - час з моменту закриття полігону, років;

$t$  - час з моменту відкриття полігону, років.

За розрахунком згідно з формулою (4.3) кількість біометану, що утворюється на Грибовицькому полігоні ТПВ, складає приблизно 1250 м<sup>3</sup>/год.

Після закриття полігону ТПВ органічна частина ТПВ продовжує

розкладатися, виробляючи біогаз. Базові вихідні дані, які були використані для розрахунку [4]:

- Початок завезення ТПВ - 1959 р.
- Завезено в 2016 р. – 302,4 тис. тонн ТПВ.
- Нагромаджена кількість ТПВ (дані 2016 р.) – 8,51 млн. тонн ТПВ.
- Середня глибина полігону - 40 м.
- Очікуваний термін на рекультивацію полігону - 2020 р.

На підставі результатів розрахунків, в основу яких покладені наведені дані полігону ТПВ та кількість можливого утилізованого біогазу, розрахована встановлена потужність генеруючого обладнання з використанням біогазу дегазації полігону ТПВ.

Аналізуючи розрахункові дані можна зробити висновок, що на даному полігоні ТПВ можна гарантовано реалізувати проект з будівництва комплексу по збору та утилізації звалищного газу з сумарною встановленою потужністю від 2000 кВт (продуктивність у 2018 році) до 2400 кВт (продуктивність у 2020 році). Модульне виконання генераторних блоків дозволяє нарощувати вироблену потужність пропорційно кількості і потужності одиничних блоків. У подальшому залежно виснаження потоку біогазу з тіла полігону ТПВ частину генеруючих модулів можна демонтувати і встановити на інших полігонах ТПВ.

### **3.2. Устаткування з утилізація біогазу та розрахунок уражаючих факторів при можливих аваріях**

Для збору та утилізації звалищного газу, на нашу думку, найбільш доцільно використати Когенераційну установку.

Когенерація представляє собою високоефективне використання первинного джерела енергії – в даному проекті біогазу, для одержання двох форм корисної енергії - теплової та електричної [34].

Головна перевага когенератора перед звичайними теплоелектростанціями полягає у тому, що перетворення енергії тут відбувається з великою ефективністю. Іншими словами, система когенерації дозволяє використовувати

тепло, яке зазвичай втрачається. При цьому знижується потреба в енергії на величину вироблених теплової і електричної енергії, що сприяє зменшенню виробничих відходів. Найбільшою ефективністю, надійністю і універсальністю відрізняються установки на основі газових (газопоршневих) двигунів. Це викликано, передусім, сучасними вимогами до екологічної чистоти довкілля, а також до зниження експлуатаційних витрат на органічне паливо і доступністю його використання. Газові двигуни використовуються для роботи у складі генераторних установок, призначених для постійної та періодичної роботи (зняття пікових навантажень) з комбінованим виробленням електроенергії і тепла.

Когенераційну установку доцільно використовувати в контейнерному виконанні (Рис. 3.1.). Біогаз, що зібраний з полігону ТПВ, використовуватиметься як паливо для газопоршневих двигунів, які передають механічну енергію на електрогенератори когенераційних установок.



Рисунок 3.1. Когенераційна установка в контейнерному виконанні

Встановлено, що найбільш ефективною з точки зору експлуатації є установка чотирьох КГУ загальною встановленою електричною потужністю 2МВт (4x500 кВт). Потужності двигунів КГУ, що працюють на метані і біогазі практично однакові.

Схема енергосистеми Львівського полігону ТПВ передбачає використання двох трансформаторних підстанцій. Підстанція 1 (існуюча) працює на отримання з електромережі електроенергії призначеної для живлення енергоустановок полігону ТПВ в разі відключення всіх електроагрегатів когенераційної установки, а так само при їх пуску та обслуговуванні. Підстанція 2 (Рис. 3.2.) проектною потужністю 2МВт працюватиме на передачу електроенергії, що генерується електроагрегатами КГУ в енергомережу.

Рис. 3.2.

Електрична підстанція на  
полігоні ТПВ



Теплова потужність  
що віддається сорочками  
охолодження двигунів  
працюючих на метані і на

біогазі не однакова, і становить відповідно 525 і 560 кВт. Теплоу можна використовувати для гарячого водопостачання та опалення виробничих потужностей полігону ТПВ. Надлишок тепла в літній період розсіюватиметься в навколишнє середовище за допомогою аварійних охолоджувачів, що знаходяться на даху контейнера.

При пошкодженні герметичності технологічних систем запропонованої газової когенераційної установки, існує ймовірність виникнення вибуху та пожежі. З метою визначення зони ураження та встановлення доцільності використання цієї установки, в даній роботі було проведено ряд розрахунків.

Енергетичними показниками вибухонебезпечності газових когенераційних установок є наступні критерії:

- Загальний енергетичний потенціал установки - (E), що характеризується сумою енергій адіабатичного розширення парогазової фази, повного згоряння

наявних і новоутворених з рідини парів за рахунок внутрішньої і зовнішньої енергії при аварійному розкритті обладнання, кДж.

- Загальна маса горючих парів вибухонебезпечної парогазової хмари ( $m$ ) приведена до єдиної питомої енергії згорання, кг.

- Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки ( $Q_v$ ) технологічного блоку.

*Розрахунки:*

Маса метану, що міститься в корпусі та технічних збірниках газу в когенераційній установці за даними технічних характеристик [30]:

$$V (\text{газу}) = 2 \text{ м}^3;$$

$$1 \text{ м}^3 (\text{газу}) = 2 \text{ кг};$$

$$G_{\text{теоретичне}} (\text{газу}) = 2 \text{ кг};$$

$$G_{\text{практичне}} (\text{газу}) = 2 \cdot 0,85 = 1,7 \text{ кг}.$$

Знаходимо загальний енергетичний потенціал вибухонебезпеки ( $E$ ) когенераційної установки [42-43]:

$$E = \Sigma G \cdot q_i;$$

де:  $G$  – маса метану в корпусі та технічних збірниках газу,  $q_i$  – питома теплота згорання газу, кДж/кг;

$$q = 49800 (\text{кДж});$$

$$E = 1,7 \cdot 46300;$$

$$E = 78\,710 (\text{кДж/кг}).$$

Знаходимо загальну масу горючих газів вибухонебезпечної парогазової хмари ( $m$ ), приведеної до єдиної питомої енергії згорання, яка дорівнює 46000 кДж/кг:

$$m = E / 4,6 \cdot 10^4 (\text{кг});$$

$$m = 78\,710 / 46000;$$

$$m = 1,711 (\text{кг}).$$

Знаходимо відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки ( $Q_v$ ) когенераційної установки за формулою:

$$Q_v = (1 / 16,534) \cdot \sqrt[3]{E};$$

$$Q_B = (1 / 16,534) \cdot \sqrt[3]{78\,710};$$

$$Q_B = 2,592$$

За значеннями відносного енергетичного потенціалу ( $Q_B$ ) і приведеної маси метану ( $m$ ) газова когенераційна установка відноситься до III класу вибухонебезпеки.

Розрахунок зон дії вражаючих факторів вибухів проводять з розрахунку тротилового еквіваленту вибуху парогазового середовища.

Тротильовий еквівалент вибуху парогазового середовища ( $W_T$ ), який визначається за умовами адекватності характеру і ступеня руйнування при вибухах парових хмар і концентрованих ВР, розраховуємо за формулою:

$$W_T = \frac{0,4q'}{0,9q_T} \cdot z \cdot m,$$

де:  $W_T$  - тротильовий еквівалент, кг; 0,9 - частка енергії вибуху тринітротолуолу (ТНТ), що витрачається на формування ударної хвилі; 0,4 - частка енергії вибуху парогазового середовища, що витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі;  $q'$  - питома теплота згорання парогазового середовища, кДж/кг;  $q_T$  - питома енергія вибуху ТНТ, кДж/кг. Для розрахунку тротильових еквівалентів приймається теплота детонації тротилу, що дорівнює 4520 кДж/кг.  $z$  - частка приведеної маси пари, що бере участь у вибуху,  $m$  - приведена маса ПГС, кг (з розрахунку енергетичного потенціалу).

Для неорганізованих парових хмар в незамкненому просторі з великою масою горючих речовин, частка участі речовини у вибуху  $z$  може прийматися рівною 0,1.

$$W_T = \frac{0,4 \cdot 78\,710}{0,9 \cdot 4520} \cdot 0,1 \cdot 1,711$$

$$W_T = 1,324 \text{ кг.}$$

Радіуси зон руйнування визначаємо за формулою:

$$R = K \cdot R_0;$$

де: при  $m < 5000$  кг



$$R_0 = \frac{\sqrt[3]{W_T}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_T}\right)^2\right]^{1/6}};$$

$$R_0 = \frac{\sqrt[3]{1,324}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{1,324}\right)^2\right]^{1/6}};$$

$$R_0 = 0,09 \text{ м.}$$

Тоді:

- радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей:

$R_1 = K_1 \cdot R_0 = 3,8 \cdot 0,09 = 0,342 \text{ м}$  – радіус зони з надлишковим тиском в передбачуваному епіцентрі вибуху  $\Delta P \geq 100 \text{ кПа}$ ;

- радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей:

$R_2 = K_2 \cdot R_0 = 5,6 \cdot 0,09 = 0,504 \text{ м}$  – радіус зони, за межами якої надлишковий тиск на фронті передбачуваної ударної хвилі  $100 \text{ кПа} < \Delta P < 70 \text{ кПа}$ ;

- радіус зони середніх руйнувань будівельних конструкцій і смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості:

$R_3 = K_3 \cdot R_0 = 9,6 \cdot 0,09 = 0,864 \text{ м}$  - радіус зони, за межами якої надлишковий тиск на фронті передбачуваної ударної хвилі  $70 \text{ кПа} < \Delta P < 28 \text{ кПа}$ ;

- радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних проїомів, легко скидних крівель) і тяжкого травмування людей на відкритій місцевості:

$R_4 = K_4 \cdot R_0 = 28 \cdot 0,09 = 2,52 \text{ м}$  - радіус зони, за межами якої надлишковий тиск на фронті передбачуваної ударної хвилі  $28 \text{ кПа} < \Delta P < 14 \text{ кПа}$ ;

- радіус зони часткового руйнування застелення, безпечної для людей на відкритій місцевості:

$R_5 = K_5 \cdot R_0 = 56 \cdot 0,09 = 5,04 \text{ м}$  - радіус зони, за межами якої надлишковий тиск на фронті передбачуваної ударної хвилі  $14 \text{ кПа} < \Delta P < 2 \text{ кПа}$ .

За даними розрахунків видно, що радіуси зон руйнування будуть

настільки малими, що в зону ураження потраплятиме лише обладнання самої установки. Таким чином, можна зробити висновок, що дана модель установки є досить безпечною в плані вибухо- та пожежонебезпеки.

### **3.3. Техніко-економічна ефективність запропонованого рішення**

Реалізовувати електроенергію з полігонного біогазу передбачається за "зеленим" тарифом 401,85 коп/кВт/год. (згідно з Законами України: «Про електроенергетику» від 16.10.1997 № 575/97-ВР зі змінами та доповненнями, «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії» від 4 червня 2015 року № 514-УШ), Постанови НКРЕКУ від 29.12.2017 № 1617 «Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію для суб'єктів господарювання та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва», а теплову енергію в перспективі доцільно використати для місцевих потреб, наприклад в технологічному процесі сортування відходів, високотемпературне знищення небезпечних відходів, для опалення господарських будівель полігону ТПВ.

Результати попереднього розрахунку ефективності встановлення КГУ з утилізацією звалищного газу Львівського полігону ТПВ [20] наведені у таблиці 3.1. з використанням даних, що наведені у технічному паспорті обладнання яке використовуватиметься та основних характеристик роботи біогазової установки [30]. При цьому був використаний курс обміну НБУ за 20.11.2018 (1 долар США = 27,764829 грн.).

При розрахунку кількості електроенергії, що вироблена за рік – розраховувався добуток 90% рекомендованої встановленої потужності КГУ (2000 кВт) до кількості відпрацьованих годин в році [21]:

$$1800 \times 24 \times 365 = 15768000 \text{ кВт год/рік};$$

Вартість виробленої за "зеленим" тарифом електроенергії за рік обчислюється добутком кількісного значення "зеленого" тарифу (401,85 коп/кВт/год) та кількості електроенергії що вироблена за рік (15768000

кВт год/рік):

$$401,85 \times 15768000 = 63363708 \text{ грн/рік};$$

Величина сумарних капітальних витрат складається з капітальних витрат на устаткування та капітальних витрат на будівництво і становить:

$$65110380 + 80\ 390020 = 145500400, \text{ грн.};$$

Таким чином простий терм ін. окупності буде розрахований відношенням сумарних капітальних витрат до вартості виробленої за "зеленим" тарифом електроенергії за рік:

$$145500400 \div 63363708 = 2,3 \text{ року.}$$

Таблиця 3.1.

Результати попереднього розрахунку ефективності встановлення електроенергетичної установки з утилізацією звалищного газу полігону ТПВ

Найменування величини	Значення	Розмірність
Вихідні дані		
Інтенсивність збору біогазу	1250	м <sup>3</sup> /год
Рекомендована встановлена потужність КГУ	2000	кВт(е)
Експлуатаційні витрати за рік		
Капітальних витрат на устаткування КГУ	65110380	грн
Капітальних витрат на будівництво та додаткові матеріали	80 390020	грн
Техніко-економічні показники ефективності впровадження заходу		
Кількість електроенергії, що вироблена за рік	15768	МВт год/рік
Вартість виробленої за "зеленим" тарифом електроенергії за рік	63363708	грн./рік
Сумарні капітальні витрати	145500400	грн
Простий термін окупності	2,3	року

При розрахунках не враховувалися екологічні платежі (за забруднення навколишнього середовища відходами), інвестиційні витрати на створення тепличного господарства та потенційні доходи від його функціонування [26]. Вироблення електроенергії з утилізацією теплоти дозволяє поліпшити економічні показники проекту в порівнянні з виробництвом тільки електроенергії.

## ВИСНОВКИ

1. Однією з найбільш гострих екологічних проблем сьогодення, що потребує невідкладного вирішення, є утворення та накопичення великої кількості твердих побутових відходів.

2. Загалом в нашій країні знаходиться близько 12,5 млрд. т відходів (станом на 2017 рік). Об'єм утворення твердих відходів в Україні в 6,5 разів більший ніж в США і в 3,2 рази ніж в країнах ЄС.

3. В нашій державі основним способом утилізації відходів (80%) є захоронення їх на полігонах ТПВ. За кордоном щораз більше держав відмовляються від такого застарілого способу вирішення проблеми. В провідних європейських країнах (Данія, Швеція, Бельгія, Нідерланди, Німеччина, Австрія та ін.) захороненню підлягають менше 20% твердих побутових відходів, а залишки в обсязі 45-60% переробляється як вторсировина, спалюється 25-35% відходів.

4. Заповнення Грибовицького полігону ТПВ практично упродовж усього терміну його експлуатації проводилося тільки з частковою поверхневою герметизацією шарів сміття. Внаслідок цього звалищний масив став легкодоступним для потрапляння атмосферних опадів і вод поверхневого змиву. В результаті цього звалищне тіло інтенсивно насичується інфільтраційними водами (фільтратами), які в процесі міграції забруднюються різноманітними шкідливими речовинами.

5. Грибовицький полігон побутових відходів – це об'єкт, де зосереджено великий обсяг горючих матеріалів: папір, поліетилен, пластик (останній при горінні виділяє велику кількість канцерогенів, особливо небезпечних для життєдіяльності людини). З органічної складової сміття (харчових відходів, паперу, листя та гілок) з часом утворюється звалищний газ - метан. Безконтрольне поширення біогазу в тілі полігону може спричинити його самозаймання, прикладом якого стала пожежа у 2016 році.

6. На Грибовицький полігоні ТПВ можна гарантовано реалізувати проект з будівництва комплексу по збору та утилізації звалищного газу з сумарною

встановленою потужністю від 2000 кВт (продуктивність у 2018 році) до 2400 кВт (продуктивність у 2020 році). Модульне виконання генераторних блоків дозволяє нарощувати вироблену потужність пропорційно кількості і потужності одиничних блоків.

7. З точки зору експлуатації пропонується встановлення чотирьох когенераційних установок (модель PG620B1, виробник FG Wilson (Великобританія), двигун PERKINS) загальною потужністю 2 МВт (4x500 кВт).

8. За даними розрахунків видно, що радіуси зон руйнування під час аварії установки будуть настільки малими, що в зону ураження потраплятиме лише обладнання самої установки. Таким чином, можна зробити висновок, що дана модель установки є досить безпечною в плані вибухо- та пожежонебезпеки.

9. При визначенні економічної ефективності встановлено, що дана установка може окупитися за 2,3 року, а вироблення електроенергії з утилізацією теплоти дозволяє поліпшити економічні показники проекту в порівнянні з виробництвом тільки електроенергії.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тверді побутові відходи в Україні: Потенціал розвитку. Сценарії розвитку галузі поводження з твердими побутовими відходами [Текст] // Міжнародною фінансовою корпорацією (ШС, Група Світового банку). - Київ. - 2015. - 114 с.
2. Закон України «Про відходи» (м. Київ, 04.10.2018 р., № 187/98-ВР). [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/187/98-вр>
3. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: Навчальний посібник / За ред. В.К. Хільчевського. - К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. - 152 с.
4. Мальований М. С. Тверді побутові відходи м. Львова та їх вплив на довкілля / М. С. Мальований, О. Я. Голодовська, М. І. Пастернак.
5. ДБН В.2.4.-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів, Основні положення проектування».
6. Концепція комплексного вирішення проблеми твердих побутових відходів // Звіт ВАТ «Гірхімпром» та ВГХС АГНУ, Автори: Зозуля І.І., Гайдін А.М., Дяків В.О. Львів. - 2007.
7. Про дослідження з оцінки екологічного та санітарно-гігієнічного стану територій, прилеглих до Львівського полігону твердих побутових відходів // Звіт ВАТ «Геотехнічний інститут». Автори: Волошин П.К., Цегелик Р.О., Бірук С.В. - Львів. - 2005.
8. Матвеев Ю.Б. Потенциал снижения эмиссии парниковых газов на полигонах ТБО Украины // Матер. III Междунар. Конф. "Сотрудничество для решения проблемы отходов", Харьков. - 2006.
9. Черп О. М., Вініченко В.Н. Проблема твердих побутових відходів: комплексний підхід. – <http://www.ecologia.nier.org>.
10. Кучерявий В. П. Фітомеліорація : підручник [для студ. ВНЗ] – Львів : Світ, 2003. – 540 с.
11. Мислюк Є.В. До питання про утилізацію твердих побутових відходів / Є.В. Мислюк, О.О. Мислюк // Хімічні технології і екологія: Вісник ЧДТУ. – 2008. – №3. – С.177-182.

12. Оцінка впливу на навколишнє середовище полігону по захороненню твердих побутових відходів МКП "Збиранка". Львів, 2001р.
13. Обращение с отходами мусоросжигания в Европе. (Електронний ресурс) / Режим доступу :<http://www.solidwaste.ru/publ/view/524.html>
14. Екологія [Текст] :Підручник / С.І. Дорогунцов, К.Ф. Коценко, М.А. Хвесиктаін. — К.:КНЕУ, 2005. — 371 с.
15. Тверді побутові відходи: джерела утворення та екологічний аспект проблеми [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://osvita.ua/vnz-reports/ecology/21366>.
16. Радовенчик, В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування: навчальний посібник / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. —К: Кондор, 2010. — 549с.
17. Твердые бытовые отходы / А.М. Касимов, В.Т. Семенов, А.М. Коваленко, А.М. Александров. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 301с.
18. Получение свалочного газа – экономия первичных природных энергоресурсов / А.М. Шаимова, Л.А. Насырова, Г.Г. Ягафарова, Р.Р. Фасхутдинов // Сб. тезисов Междунар. научно – практ. конф. «Нефтегазопереработка и нефтехимия». – 2006, –Уфа, 2006.- С. 246-248.
19. Моніторингдовкілля: підручник / В.М. Боголюбов, М.О. Клименко, В.Б. Мокінтаін. – Херсон, 2012. – 530 с.
20. Данилишин Б.М. Економіка природокористування: Підручник. / Б.М. Данилишин, М.А. Хвесик, В.А. Голян. – К.: Кондор, 2010. – 465 с.
21. Макарова Н.С. Економіка природокористування: Навч. посібник. / Н.С. Макарова, Л.Д. Гармидер, Л.В. Михальчук. – К.: Цент учбової літератури, 2007. – 322 с.
22. Висновки за результатами досліджень впливу сміттєзвалища м. Львова на забруднення ґрунтів прилеглих територій. Інститут геології і геохімії горючих копалин НКН України. Львів, 1998.
23. ЗУ від 2010.12.21, №2818-VI «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року»

24. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: Навчальний посібник / За ред. В.К. Хільчевського. - К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. - 152 с.
25. Обращение с отходами мусоросжигания в Европе. (Електронний ресурс) / Режим доступу: <http://www.solidwaste.ru/publ/view/524.html>
26. Податковий кодекс України (Електронний ресурс) / Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>
27. Утворення та поводження з відходами в Україні / [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
28. Экология города: Учебник. / Ф.В. Стольберг, В.Я. Шевчук, И.Е. Черванёв — К.: Либра, 2000. — 464 с.
29. Інтерактивна мапа сміттєзвалищ України / [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://есomара.gov.ua/>
30. Технічні характеристики когенераційної установки / [Електронний ресурс] — Режим доступу: [https://madek.ua/content\\_files/products/-cogeneration/Gas/PG620B1.pdf](https://madek.ua/content_files/products/-cogeneration/Gas/PG620B1.pdf)
31. Топографічна зйомка території М 1:500. Топографічні планшети виконані ДП «Проектний центр» ТДВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ», грудень 2011р.
32. Біогаз із осадів стічних вод муніципальних каналізаційних очисних споруд в Україні. Перспективи виробництва/ Мальований М.С. та ін. *Хімічна промисловість України*. 2015. № 6(13). С. 34-39.
33. Аналіз екологічної небезпеки існуючих сміттєзвалищ та стратегія її мінімізації (на прикладі Грибовицького сміттєзвалища) / Мальований Мирослав, Слюсар Віра, Серєда Андрій, Стокалюк Олег. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2017. № 1 (15). С.5-11.
34. Malovanyu M., Sereda A., Sliusar V. Ways to Minimize Environmental Hazards From Pollution of the Environment in the Zone of Influence of the Hrybovychi Landfill. *Environmentalproblems*. 2017. V 2, N 2.P. 65-70.
35. Волошин П. Аналіз впливу Львівського сміттєзвалища на природне середовище / *Вісник Львівського університету. Серія геологічна*. Випуск 26.



2012. С. 139-147.

36. Голець Н.Ю., Мальований М.С., Малик Ю.О. Розрахунок класу небезпеки фільтрату Грибовицького полігону твердих побутових відходів / Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2013. №7. С. 219-224.

37. Звіт про дослідження екологічного та санітарно-гігієнічного стану територій, прилеглих до львівського полігону твердих побутових відходів // ВАТ «Геотехнічний інститут». Львів, 2006. 155 с.

38. Система утилізації біогазу та тепла з масиву полігону твердих побутових відходів / Гвоздевич О. В., Стефаник Ю. В., Гронський Я. Й., Горбаль Б. М. // Деклараційний патент України №58244 А МПК 7 E21C 41/00 F23G 5/34. – Опубл. 15.07.2003 р. Бюл. Пром. Власн. – 2003, №7.

39. Попович В. В. Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту / В. В. Попович, В. П. Кучерявий // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2012. – № 20. – С. 60-66.

40. Попович В. В. Горіння полігонів твердих побутових відходів як загроза здоров'ю людини та фактор техногенного навантаження на довкілля / В. В. Попович, В. П. Кучерявий // Науково-теоретичний, науково-практичний журнал : «Вісник ДДАУ». – 2012. - № 1. – С. 162-166.

41. Попович В. В. Пожежна небезпека стихійних сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів / В. В. Попович // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2012. – № 21. – С. 140-147.

42. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ.изд.: В 2-х кн./А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др.- М.:“Химия”, 1990.Кн. 1-496 с.Кн. 2 - 384 с.

43. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

44. United States Environmental Protection Agency. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.epa.gov>