

УДК 624.13;628.8

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.2>

Григоровський П.Є.

д.т.н., с.н.с.,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

<https://orcid.org/000-0003-0527-5890>

Чуканова Н.П.

к.т.н.,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

<https://orcid.org/0000200032176824579>

Басанський В.О.

к.т.н.,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

<https://orcid.org/0000-0002-7850-7798>

Наріжний В.В.

аспірант,

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ;

інженер 1 категорії,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

<https://orcid.org/0000-0003-1320-8321>

**ПЕРЕДУМОВИ ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ДИНАМІКИ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ҐРУНТОВИХ МАСИВІВ
НА ПРИКЛАДІ КУПОЛУ ПОЛІГОНУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ
В С. ПІДГІРЦІ ОБУХІВСЬКОГО РАЙОНУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

***Анотація.** Досвід складування твердих побутових відходів під час експлуатації полігонів та сміттєзвалищ свідчить про те, що просідання поверхні куполу не є закономірним та очікуваним процесом, а динаміка осідання, що ускладнюється наявністю фільтрату, не вивчена. Рекомендовані строки рекультивациі закритих полігонів ТПВ для різних кліматичних зон, що становлять 2 роки, в умовах наявності фільтрату, не гарантують стабілізації поверхні полігону за необхідності переміщення важкої техніки при формуванні куполу полігону в процесі виконання робіт з рекультивациі.*

Необхідність зняття соціальної напруги та поліпшення санітарного стану території району розташування полігонів вимагає невідкладного виконання будівельних робіт в наявних умовах, що потребує застосування додаткових компенсаційних заходів для безпеки виконання таких робіт в умовах динамічного полігону у спосіб, не передбачений чинними нормативними документами. Розробка таких компенсаційних заходів можлива за рахунок виконання порівняльного аналізу розрахункових та фактично отриманих даних щодо динаміки деформаційних процесів куполу полігону, а саме його поверхні та тіла, з урахуванням багатокритеріального впливу внутрішніх і зовнішніх факторів техногенного та природнього характеру.

Беручи до уваги недостатність вихідного матеріалу, відсутність вітчизняного досвіду проектування та виконання робіт з рекультивациі полігонів побутових відходів, доцільним є використання цифрового інформаційного моделювання куполу полігону для можливості прогнозування фізичних процесів, що виникають у процесі будівельних робіт з рекультивациі. Це дозволить запровадити попереджувальні компенсаційні організаційно-технологічні та технічні рішення щодо мінімізації негативного впливу фільтрату на стійкість поверхні куполу полігону.

Наведено результати аналізу передумов інформаційного моделювання динаміки деформаційних процесів на прикладі куполу полігону побутових відходів в с. Підгірці Обухівського району

Київської області з метою дослідження багатокритеріального впливу факторів техногенного та природнього характеру для порівняльного аналізу розрахункових та фактично отриманих даних щодо динаміки деформаційних процесів куполу полігону та наукового обґрунтування компенсаційних організаційно-технологічних рішень виконання рекультивациі в умовах динамічного полігону у спосіб, не передбачений чинними нормативними документами.

Ключові слова: *тверді побутові відходи, деформаційні процеси, динамічні полігони, сміттєзвалища, фільтрат, компенсаційні заходи, інформаційне моделювання, організаційно-технологічні рішення.*

Постановка проблеми. У с. Підгірці Обухівського району Київської області розпочато реалізацію проекту «Реконструкція та технічне переоснащення полігону ТПВ № 5 в с. Підгірці Обухівського району Київської області. Рекультивация ділянки № 1». Реалізація розробленого проекту рекультивациі ділянки № 1 повинна забезпечити екологічно безпечне завершення її експлуатації та поліпшення санітарного стану території району розташування полігону. Однак реалізація намірів виявилася вкрай ускладненою внаслідок виявлення проблеми, яка потребує термінового вирішення.

Проблемою реалізації проекту є наявність фільтрату [1; 2] – рідкої фази, що постійно утворюється в тілі полігону при захороненні побутових відходів з вологістю більше 55% та внаслідок атмосферних опадів, обсяг яких перевищує кількість вологи, що випаровується з поверхні полігону. Наявність штучного гідробар'єру в основі полігону є унікальною особливістю саме полігону № 5, оскільки він будувався з врахуванням нормативних вимог до полігонів, а не як стихійне сміттєзвалище. Такий штучний гідробар'єр перешкоджає потраплянню фільтрату в ґрунтову основу і, тим самим, збільшує його кількість в тілі полігону. Локальні, неорганізовані водоупори, що виникли за умови непередбаченого складу твердих побутових відходів (ТПВ), додатково створюють лінзи фільтрату, положення та обсяги яких впевнено визначити неможливо. Ці фактори, у сукупності з процесом дренажування фільтрату для його очищення, частковим поверненням продукту переробки в тіло полігону, а також здійсненням дегазації, призводять до неконтрольованої хиткості та динамічності його тіла, тобто відсутності стабілізації поверхні.

Досвід складування ТПВ та експлуатації полігону свідчить про те, що просідання його поверхні не є закономірним та очікуваним процесом, а динаміка осідання, що ускладнюється наявністю фільтрату, не вивчена. Рекомендо-

вані строки рекультивациі закритих полігонів ТПВ для різних кліматичних зон України згідно з табл. 3.4 ДБН В.2.4-2-2005 [3], що становлять 2 роки, як показав досвід робіт в умовах наявності фільтрату, не гарантують стабілізації поверхні полігону при переміщенні важкої техніки для уположування схилів та при формуванні куполу полігону в процесі виконання робіт з рекультивациі.

У процесі рекультивациі виникли питання які виходять за рамки дії нормативних документів, перешкоджають розробці проекту та ускладнюють його реалізацію. Також відсутні вітчизняні статистичні дані та досвід виконання робіт з рекультивациі подібних об'єктів. Потреба у знятті соціальної напруги та поліпшення санітарного стану території району розташування полігону вимагає невідкладного виконання будівельних робіт в наявних умовах, що потребує застосування додаткових компенсаційних заходів для забезпечення безпеки виконання таких робіт в умовах динамічного полігону у спосіб, не передбачений чинними нормативними документами. Дозвіл на відхилення від ДБН було отримано в Мінрегіоні. Розробка таких компенсаційних заходів можлива за рахунок виконання порівняльного аналізу розрахункових та фактично отриманих даних щодо динаміки деформаційних процесів куполу полігону, а саме його поверхні та тіла, з врахуванням багатокритеріального впливу внутрішніх і зовнішніх факторів техногенного та природнього характеру.

Метою роботи є аналіз передумов інформаційного моделювання динаміки деформаційних процесів ґрунтових масивів тіла полігону побутових відходів з метою дослідження багатокритеріального впливу факторів техногенного та природнього характеру, призначеного для порівняльного аналізу розрахункових та фактично отриманих даних щодо динаміки таких процесів та наукового обґрунтування компенсаційних організаційно-технологічних рішень виконання

рекультивуації в умовах динамічного полігону у спосіб, не передбачений чинними нормативними документами.

Виклад основного матеріалу.

Беручи до уваги недостатність вихідного матеріалу, відсутність вітчизняного досвіду проектування та виконання робіт з рекультивуації полігонів побутових відходів, доцільним є використання цифрового інформаційного моделювання [4] куполу полігону для можливості прогнозування фізичних процесів, що виникають в процесі будівельних робіт з рекультивуації. Це дозволить впровадити попереджувальні компенсаційні організаційно-технологічні та технічні рішення щодо мінімізації негативного впливу фільтрату на стійкість поверхні куполу полігону.

Для створення інформаційно-цифрової моделі куполу полігону № 5 в умовах невизначеності, тобто недостатності інформації про його внутрішню структуру та фізико-технічні характеристики її складових, необхідно провести ретроспективне дослідження етапів його життєвого циклу з початку будівництва до теперішнього часу. У зв'язку з неповнотою та недостатністю проектною документації стосовно полігону твердих побутових відходів № 5 у с. Підгірці Обухівського району Київської області, в процесі дослідження використано доступну архівну технічну та проектну інформацію, сучасні нормативні документи та такі, що діяли протягом життєвого циклу полігону, експертну оцінку фахівців служби експлуатації, дані теперішніх досліджень та результати випробувань на дослідних ділянках. Наведемо короткий опис типової послідовності організаційно-технологічних заходів створення та експлуатації полігону у відповідності до чинних на той час нормативних документів, а потім, з метою подальшого будівельно-інформаційного моделювання, на підставі наявної інформації спробуємо відтворити етапи життєвого циклу полігону № 5.

Відповідно до [5] для вибору ділянки під влаштування полігону ТПВ на **етапі вибору ділянки будівництва та розвідувальних робіт** необхідно виконувати нижченаведені вимоги.

Полігони розміщують за межами міст та інших населених пунктів. Перед проектуванням замовник із зацікавленими організаціями визначає район, в якому здійснюється вибір ділянки. За гідрогеологічними умовами найкращими є ділянки з глиною або важки-

ми суглинками і ґрунтовими водами на глибині понад 2 м. Виключається використання під полігон заболочених територій глибиною понад 1 м і ділянок з виходами ґрунтових вод у вигляді джерел. Під полігони відводяться відпрацьовані кар'єри глини, ділянки без цінних порід дерев у лісових масивах, яри. При відведенні ділянки видається завдання на подальше її використання після закриття полігону, з врахуванням того, що капітальне будівництво на ділянках складування ТПВ забороняється через виділення отруйних та вибухонебезпечних газів протягом тривалого періоду (понад 40 років). Площа ділянки, що відводиться під полігон, вибирається, як правило, за умови терміну його експлуатації не менше 15 років.

На обраній під полігон ділянці виконуються топографічна зйомка, геологічні та гідрогеологічні дослідження. Геологічні дослідження визначають порядок напластування, потужність і склад порід, що складають основу полігону, коефіцієнт фільтрації ґрунту. Мінімальна глибина розвідки – 4 м. Гідрогеологічні дослідження визначають рівень ґрунтових вод, напрямок та потужність їх потоку. Для розрахунку нагірних каналів, що захищають полігон від потоку поверхневих вод (зливових і талих), збирають відомості про погодні зміни, інтенсивність атмосферних опадів і площу їх водозбору.

На етапі **збору вихідних даних для подальшого проектування полігону ТПВ** виконують вишукувальні роботи та визначають основні розділи у складі проекту. До складу проекту полігону [6] входять: гідрогеологічна записка з обґрунтуванням вибору майданчика будівництва; технологічний розділ (розрахунок обсягу, технологічна схема з урахуванням черговості будівництва, поздовжній і поперечний технологічні розрізи, режим експлуатації, розрахунок потреби в експлуатаційному персоналі, машинах і механізмах, міркування з рекультивуації ділянки після закриття полігону); генеральний план ділянки; вертикальне планування, благоустрій, спеціальні природно-охоронні споруди (нагірні канали, греблі, водостійкі основи, огорожі); архітектурно-будівельний розділ; санітарно-технічний розділ; електротехнічний розділ; основні техніко-економічні показники; зведений кошторис.

Характеристика етапу проектування та будівництва на час проектування базу-

валася на матеріалах «Інструкції по проектуванню...» [7]. У відповідності до якої полігон № 5 відноситься до категорії високонавантажуваних полігонів, які мають загальну висоту (для полігонів у котлованах та ярах – глибину) понад 20 м і навантаження на використовувану площу понад 100000 Па (10 т/м², або 100 тис. т/га).

Основна споруда полігону – ділянка складування ТПВ займає до 95% площі полігону. Ділянку розбивають на черги експлуатації з урахуванням рельєфу місцевості та забезпечення прийому відходів протягом 3-5 років, у складі першої черги виділяють пусковий комплекс на перші 1-2 роки. У 1-3 чергу складування відходів ведуть на висоту 2-3 яруси (висота ярусу 2,0-2,5 м). Наступна черга експлуатації полягає у збільшенні насипу ТПВ до позначки, що проектується. Ділянки складування мають бути захищені від стоків поверхневих вод із розташованих вище земельних масивів. Для перехоплення дощових та паводкових вод впродовж межі ділянки проектують водовідвідну (нагірну) каналу. На відстані 1-2 м від неї розміщують огорожу навколо полігону, потім – на смузі шириною 5-8 м висаджують дерева, влаштовують інженерні комунікації (водопровід, каналізація), щогли електроосвітлення, відсипають кавальєри ґрунту для ізоляції ТПВ. На ділянці складування проектують улаштування котловану з метою одержання ґрунту для проміжної та остаточної ізоляції. Рівень ґрунтових вод повинен бути на 1 м нижче днища котловану. З котлованів другої черги ґрунт складують в кавальєрах за периметром полігону для ізоляції ТПВ від опадів на картах першої черги. Днище котловану передбачають горизонтальним для рівномірного розподілу фільтрату по площі основи полігону. Ураховуючи рельєф місцевості та черговість складування ТПВ, ділянка розбивається на низку котлованів. На ділянках з нахилом понад 0,5 % проектують каскад котлованів.

Для ґрунтів, що характеризуються коефіцієнтом фільтрації більше 10-5 см/с, необхідно передбачати влаштування штучних непроникних екранів. Найбільш вірогідний варіант для полігону № 5 екран із поліетиленової плівки, стабілізованої сажею, двошаровий. Двошаровий екран складається з підстилаючого шару – глинистого ґрунту завтовшки не менше 0,2 м, двох шарів поліетиленової плівки, стабілізованої сажею, завтовшки 0,2 мм. Між шара-

ми плівки влаштовується дренажний шар із крупнозернистого піску, завтовшки 0,4 м. На верхній шар плівки укладають захисний шар ($h = 0,5$ м) піщаного ґрунту з частинками максимальної крупності до 5 мм. Допускається застосування одношарових штучних екранів без дренажу фільтрату за сприятливих гідрогеологічних умов ділянки складування: рівень ґрунтових вод не менше 6 м від поверхні основи робочих карт; наявність в основі карт суглинків з коефіцієнтом фільтрації не більше 10^{-3} см/с і потужністю не менше 6 м. Дренажний шар передбачається для аварійних ситуацій та контролю виходу фільтрату. При економічному обґрунтуванні можливе створення штучного протифільтраційного екрану із шару глини з коефіцієнтом фільтрації $10^{-8} \dots 10^{-7}$ см/с, завтовшки 0,3-0,4 м.

Відведення земельної ділянки під складування ТПВ на території яру, у випадку для полігону № 5, має включати його верхів'я, що гарантує збирання та видалення талих та дощових вод більш простими методами. Ділянку яру за довжиною розбивають, починаючи з верхів'я, на етапи будівництва. Кожна черга будівництва зі зниженого боку захищається від зсувів земляною греблею. Типова схема високонавантажуваного полігону для ТПВ за багатокаскадною технологією складування в яр наведено на рис. 1. Кожну греблю розраховують на екстремальні умови з урахуванням статичної стійкості утримуваних ТПВ, насичених водою.

Для полігону ТПВ розробляють спеціальний проект моніторингу, що включає розділи [8–11]: контроль стану підземних та поверхневих водних об'єктів, атмосферного повітря, ґрунтів та рослин, шумового забруднення в зоні можливого несприятливого впливу полігону; система управління технологічними процесами на полігоні, що забезпечує запобігання забруднення підземних та поверхневих водних об'єктів, атмосферного повітря, ґрунтів та рослин, шумового забруднення вище допустимих меж у випадках виявлення забруднюючого впливу полігонів. Система моніторингу повинна включати пристрої та споруди щодо контролю стану підземних та поверхневих вод, атмосферного повітря, ґрунту та рослин, а також шумового забруднення в зоні можливого впливу полігону.

Етап експлуатації полігонів передбачає наступну організацію основних робіт: прийом, складування та ізоляція ТПВ. Облік

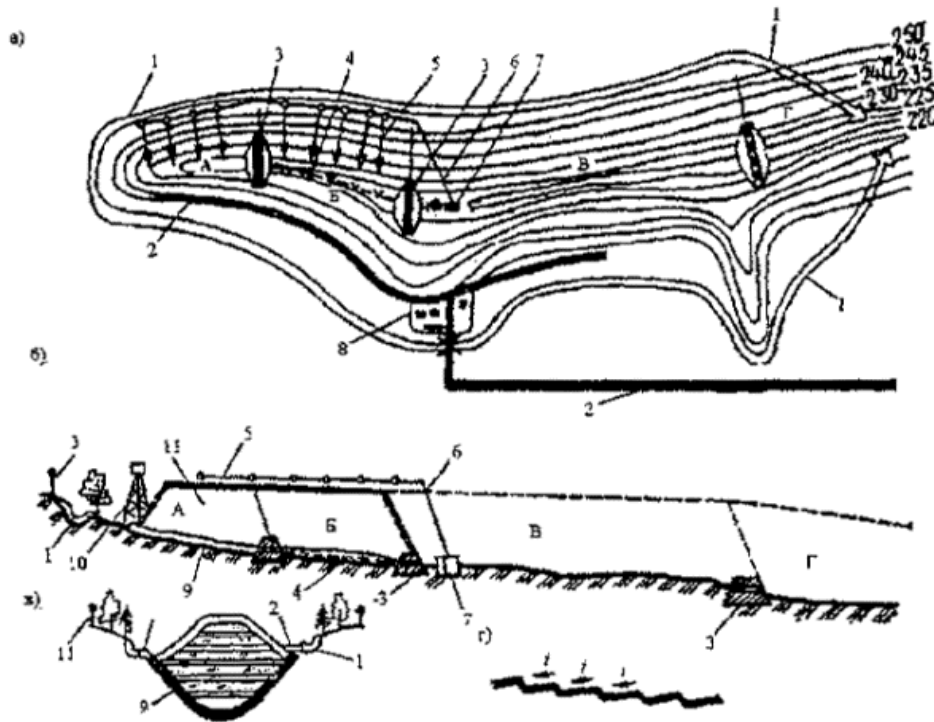


Рис. 1. Високонвантажуваний полігон для твердих побутових відходів за багатокаскадною технологічною схемою

а – схематичний план; б – схематичні поздовжній і поперечний розрізи, г – уступи на підставі із зворотним ухилом; 1 – нагірна канава; 2 – підїзна дорога; 3 – земляна гребля; 4 – самопливна каналізація фільтрату; 5 – збірно-розбірний розподільний фільтратопровід; 6 – магістральний напірний фільтратопровід; 7 – насосна станція фільтрату; 8 – господарська зона; 9 – протифільтраційний екран; 10 – огорожа; А – перший каскад I черги складування твердих побутових відходів, Б – другий каскад I черги; В – ділянка складування у II чергу; Г – ділянка складування відходів на перспективу; 220-250 – умовні позначки горизонталей

прийнятих ТПВ ведуть за обсягом у ущільненому стані. Організацію робіт проєктують відповідно до технологічної схеми експлуатації полігону. Річним графіком експлуатації помісячно планують: кількість прийнятих ТПВ із зазначенням № карт складування відходів та обсяги розробки ґрунту для ізоляції ТПВ.

Сміттєвози, що безперерійно прибувають на полігон, розвантажують біля робочої карти. Майданчик розвантаження сміттєвозів розбивають на дві ділянки. На одній – розвантажують сміттєвози, на іншій працюють бульдозери або катки-ущільнювачі. Розміщення сміттєвозів на майданчику розвантаження забезпечує безперешкодний виїзд кожної машини, що розвантажилася. Вивантажені з машин ТПВ складають на робочій карті методом «насуву» та методом «зіштовхування» (рис. 2-3).

Ущільнений шар ТПВ висотою 2 м ізолюють шаром ґрунту 0,25 м, або 0,15 м при забезпеченні ущільнення в 3,5 рази і більше. Розвантаження сміттєвозів здійснюють на шарі ТПВ, з часу укладання та ізоляції якого пройшло більше 3 міс. Зсув розвантажених ТПВ на робочу карту здійснюють бульдозерами всіх типів. Ущільнення укладених ТПВ шарами по 0,5 м здійснюють важкими бульдозерами масою 14 т. Ущільнення здійснюють 2-4-кратним проходом бульдозера по одному місцю. При 2-кратному проході бульдозера ущільнення ТПВ становить 570-670 кг/м³, при 4-кратному - 670-800 кг/м³. Для забезпечення рівномірного просідання тіла полігону двічі на рік виконують контрольне визначення ступеню ущільнення ТПВ.

Проміжну та остаточну ізоляцію ущільненого шару ТПВ здійснюють ґрунтом. При складуванні ТПВ на відкритих, незаглиблених

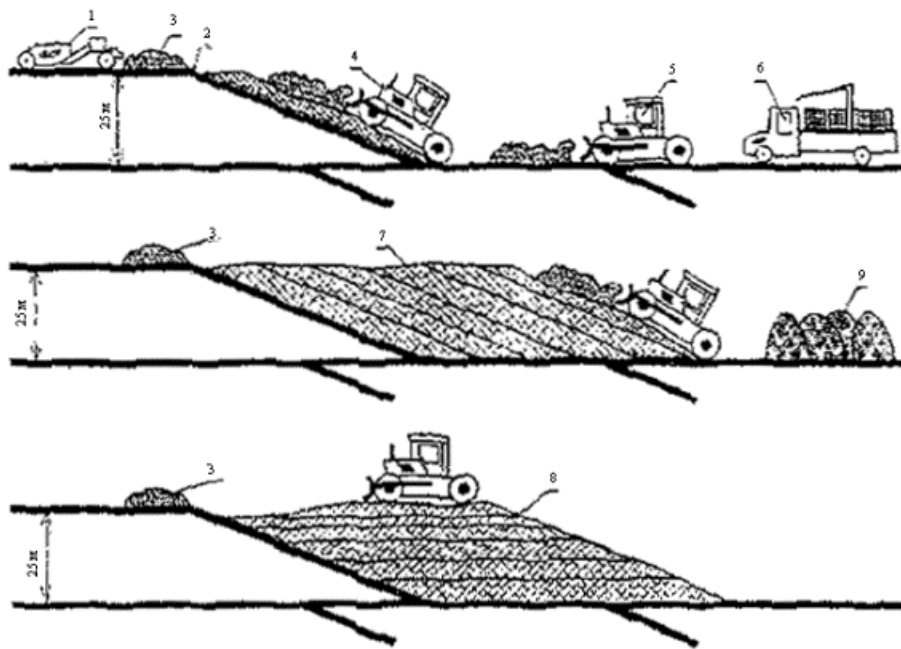


Рис. 2 Схема укладання відходів методом «насуву» (знизу вгору).
 1 – скрепер, що доставляє ґрунт; 2 – ізолюючий шар; 3 – ґрунт для ізоляції;
 4 – бульдозер, що ущільнює ТПВ; 5 – бульдозер, що транспортує ТПВ
 від місця вивантаження зі сміттєвозу до робочої карти; 6 – сміттєвоз на
 місці розвантаження; 7 – укладання похилих шарів; 8 – укладання тонких
 горизонтальних шарів; 9 – вивантажені ТПВ

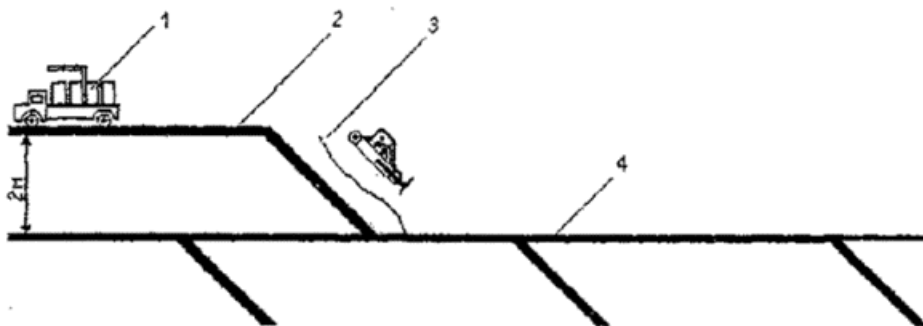



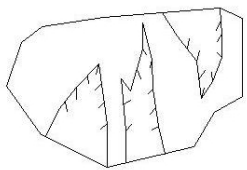
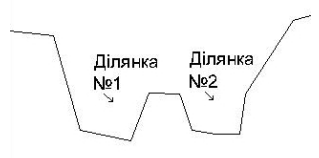
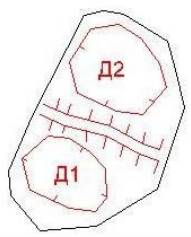
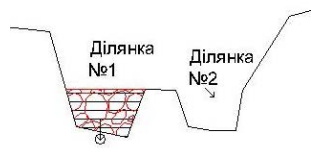

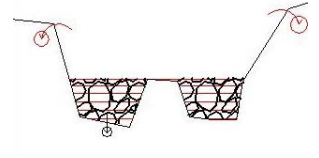
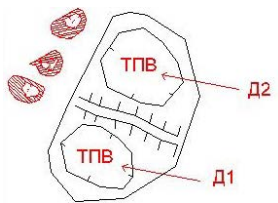
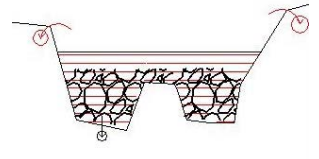
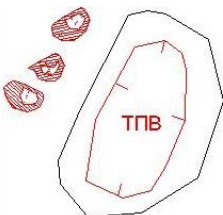
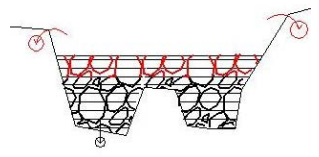
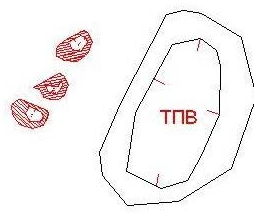
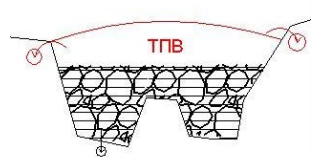
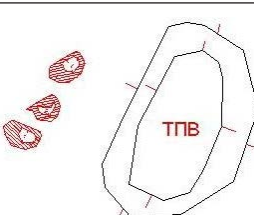
Рис. 3 Схема укладання відходів методом «зіштовхування» (зверху вниз)
 1 – сміттєвоз на місці розвантаження; 2 – ізоляція, нанесена у попередній день;
 3 – ущільнення відходів на робочій карті; 4 – ізоляція, нанесена 0,5-1 рік тому.

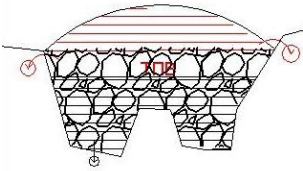
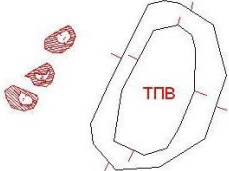
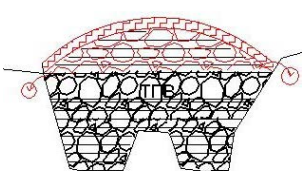
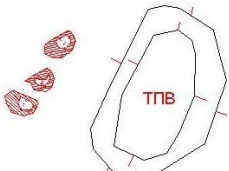
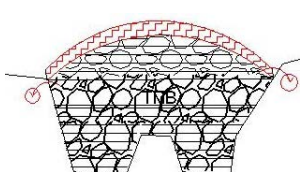
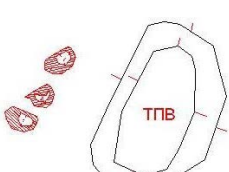
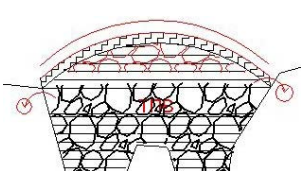

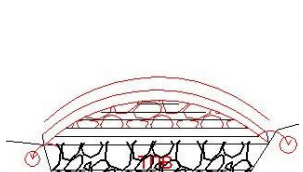
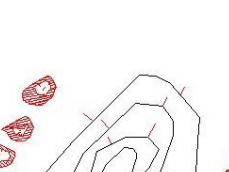
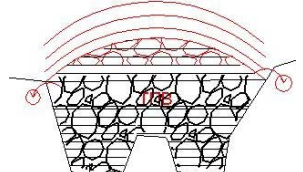

картах проміжну ізоляцію у теплу пору року здійснюють щодобово, у холодну пору року – з інтервалом не більше трьох діб. Шар проміжної ізоляції становить 0,25 м., при ущільненні ТПВ котками КМ – 305-0,15 м. У зимовий період як ізолюючий матеріал дозволяється використовувати шлаки ТЕЦ, будівельні відходи, відходи виробництва, допускається застосовувати для ізоляції сніг. У весняний період, із встановленням

температури понад 5°, майданчики, де була застосована ізоляція снігом, покривають шаром ґрунту.




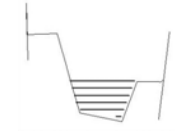


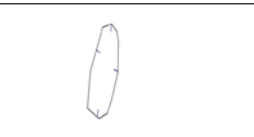
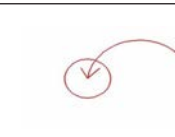
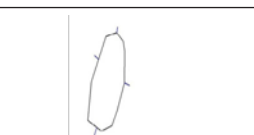

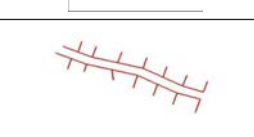
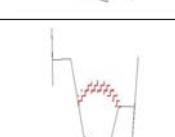
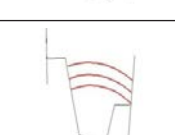
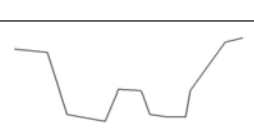
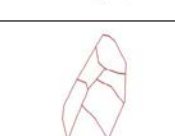

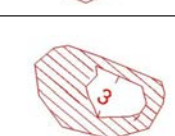
У табл. 1-2 конкретизовано основні етапи життєвого циклу та їх склад для полігону ТПВ № 5, в тому числі **етап рекультивації 2021–2022 рр.**, що корелюється з нормативними даними щодо етапів життєвого циклу полігонів ТПВ та переліку технологічних операцій кожного етапу наведеними вище.

Таблиця 1. Результати ретроспективного аналізу етапів життєвого циклу полігону ТПВ № 5

№ етапу	Етап	Характеристика рельєфу за відповідним етапом	Ситуацій план місцевості відповідним етапом	Опис подій відповідного етапу
1	1986 рік			Вибір ділянки для можливості влаштування полігону ТПВ
2	1986–1987			Період збору вихідних, вишукувань та розроблення проектної документації на будівництво полігону ТПВ № 5. Будівництво та введення в експлуатацію
3	1987–1992			Період експлуатації. Захоронення ТПВ з пошаровим пересипанням його технологічним ґрунтом
4	1992			Розробка проектної документації на реконструкцію полігону. Реконструкція полігону передбачала збільшення потужності ділянки складування
5	1992–2001			Період експлуатації. Захоронення ТПВ з пошаровим пересипанням його технологічним ґрунтом
6	2000			Розробка проектної документації з очищення та переробки фільтрату. Побудова очисних споруд та ставків для зберігання фільтрату та концентрату після очистки фільтрату
7	2001–2016			Період експлуатації. Захоронення ТПВ з без влаштування пошарового пересипанням технологічним ґрунтом

8	2016–2018			Період експлуатації. Захоронення ТПВ з відновленням пошарового пересипання технологічним ґрунтом
9	2018–2019			Збір вихідних даних для розробки проекту рекультивації 1 ділянки складування. Розробка проекту Рекультивації 1 ділянки складування полігону ТПВ № 5
10	2019–2020			Підготовка 1 ділянки складування для подальшої рекультивації. Формування початкових відміток у відповідності до розробленого проекту рекультивації 1 ділянки складування
11	2020			Вибір генпідрядної організації та початок рекультивації 1 ділянки складування полігону ТПВ
12	2020–2021			Коригування проекту рекультивації 2019 року у зв'язку із обставинами, які виходять за рамки дії нормативних документів та унеможливають виконання робіт з рекультивації. Розробка компенсаційних заходів та затвердження їх на вченій раді Мінрегіону
13	2021–2022			Реалізація відкоригованого проекту з рекультивації полігону з врахуванням ускладнюючих факторів

Таблиця 2. Умовні позначення до таблиці 1

	Природний рельєф вибраної ділянки під полігон ТПВ		Нещодавно захороненні ТПВ
	Позначення природного рельєфу до початку облаштування полігону ТПВ		Пошарове пересипання ТПВ технологічним ґрунтом
	Межі ділянки складування ТПВ		Дренажна система в днищі тіла полігону для відведення фільтрату
	Впадина(зменшення висоти)		Дренажна система по периметру полігону для відведення фільтрату
	Пагорб(зростання висоти)		Позначення технологічного рекультиваційного шару
	Ґрунтова дамба		Позначення шару технологічного екрану укладеного на ТПВ
Д2, Ділянка №2	Номер ділянки складування ТПВ		Позначення рекультиваційних шарів у відповідності до проекту
	Сформована ділянка для влаштування ТПВ		Поділ полігону на сектори
	Давно захороненні ТПВ		Позначення озер фільтрату з порядковим номером

Побудова розрахункової моделі [11; 12] полігону передбачає певну послідовність розрахунку його зсувонебезпечних схилів та куполу в програмно-розрахунковому комплексі PLAXIS 3D з врахуванням гідростатичного впливу фільтрату, що розташований на різних висотних відмітках, а саме: моделювання на підставі топографічних даних геометрії рельєфу території; доповнення геометрії рельєфу геологічною будовою масиву ґрунту території, на підставі даних геологічних вишукувань; роз-

бивання моделі на кінцеві (розрахункові) елементи; внесення даних про гідрологічну ситуацію території; встановлення динамічності та хиткості поверхні та тіла куполу; встановлення шляхом розрахунку ймовірної поверхні ковзання; встановлення ймовірної поверхні ковзання з використанням мережі кінцевих елементів. Таким чином, складання математичної моделі передбачає поступове її поетапне ускладнення за рахунок використання додаткової інформації про об'єкт моделювання (табл. 1).

Етап 1. Моделювання ґрунтового масиву в межах задачі за дослідженням інженерно-геологічних свердловин та іншої доступної інформації про геологічну структуру полігону, з введенням в базу даних моделі фізико-механічних показників твердих побутових відходів та ґрунтів основи (далі ґрунтів) передбачає схематичну візуалізацію ґрунтового масиву із свердловинами з введенням даних, щодо фізико-механічних показників ґрунтів.

Етап 2. Моделювання структур, що являють собою геометричні та фізичні характеристики об'єкту моделювання. На цьому етапі вводяться геометричні дані поверхні масиву, конфігурація будівель і споруд (інженерна інфраструктура дренажу газу та фільтрації); задаються та присвоюються конструкціям параметри жорсткості та міцності. Для прийнятої до подальших досліджень ідеалізованої моделі моделюванню підлягають: геометрія рельєфу; навантаження у вигляді впливу будівельної техніки, штучних вібрацій, розподілених та концентрованих навантажень забудови інженерних мереж та споруд; моделювання виробничих навантажень під час рекультивациі, а саме поетапне улаштування рекультивацийного шару у вигляді технологічних прошарків покриття куполу, тощо.

Етап 3. Формування сітки кінцевих елементів для розрахункової моделі, що моделюється автоматично і для ґрунтового масиву і для структур, сформованих на етапі 2.

Етап 4. Моделювання гідрологічних умов виконується автоматично, виходячи з даних про рівень ґрунтових вод, визначених за даними інженерно-геологічних свердловин на етапі 1. Гідрогеологічні умови є чинником управління параметрами ідеалізованої моделі. Їх характеристики у складі ідеалізованої моделі штучно змінюють для моделювання можливого перебігу подій при експлуатації та забудові зсувонебезпечних територій.

Етап 5. Задання всіх розрахункових стадій моделі передбачає ретроспективний, поточний та прогнозний аналіз розвитку зсувного процесу. Дана стадія передуює розрахунку і в ній моделюються всі фактичні (історичні) та прогнозовані ситуації на ділянці для якої розробляється модель, а саме: початкова стадія існування рельєфу під майбутній полігон; розрахункова стадія з врахуванням етапів життєвого циклу полігону в період його будівництва та завантаження; розрахункова стадія із врахуванням етапу рекультивациі;

розрахункова стадія експлуатації рекультивованого полігону з корисним навантаженням та функціонуванням систем відбору газу та дренажу фільтрату.

Кількість етапів ускладнення будівельної інформаційно-математичної моделі динамічного полігону не обмежена наведеним переліком і залежить від черговості та обсягів накопичення нової інформації, достатньої для внесення змін в розрахункову модель. Наприклад в табл. 1 наведено 13 етапів визначених на даний час організаційно-технологічних змін, що призводять до ускладнення моделі. У випадку відсутності якоїсь інформації на етапі створення базової моделі і виявлення її на поточний період доцільність ускладнення моделі може бути підтверджена ретроспективним аналізом. Інформаційна цифрова модель надає можливість враховувати поточну вимірювальну інформацію про динаміку змін тіла та куполу полігону і вносити уточнення в її алгоритм, тим самим підвищити вірогідність прогнозних розрахункових даних. Фактично така модель поступово наближатиметься до рівня цифрового близнюка реального об'єкта [13], що забезпечує зв'язок між об'єктом реального світу та його цифровим поданням, який безперервно використовує вимірювальні дані про поточний стан об'єкту. У подальшому цифрове подання може використовуватися для візуалізації, моделювання, аналізу та оперативного планування організаційно-технологічних рішень відповідного етапу життєвого циклу полігону.

Висновки. Незважаючи на недостатність досліджень експлуатаційних характеристик полігонів твердих побутових відходів, існують передумови інформаційного моделювання динаміки деформаційних процесів ґрунтових масивів тіла таких полігонів.

Інформаційне моделювання дозволить дослідити багатокритеріальний вплив факторів техногенного та природного характеру, а також виконати порівняльний аналіз розрахункових і фактично отриманих даних щодо динаміки таких процесів з метою наукового обґрунтування компенсаційних організаційно-технологічних рішень рекультивациі в умовах динамічного полігону у спосіб, не передбачений чинними нормативними документами.

Будівельна інформаційно-математична модель, що передбачає її поетапне ускладнення за рахунок використання додаткової інформації, дозволить досліджувати техніко-економічну

ефективність організаційно-технологічних рішень компенсаційних заходів в процесі рекультивації та поточного управління експлуатацією в процесі подальшого використання території полігону № 5 з урахуванням множини внутрішніх та зовнішніх факторів впливу.

Література

1. Рекомендации по сбору, очистке и отвердению сточных вод полигона захоронения твердых бытовых отходов: Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. ФГУП Федеральный центр благоустройства и обращения с отходами. Москва, 2003.
2. Местный норматив градостроительного проектирования «Проектирование, строительство и рекультивация полигонов твердых бытовых отходов в Бутурлиновском городском поселении Бутурлиновского муниципального района Воронежской области». Совет народных депутатов Бутурлиновского городского поселения Бутурлиновского муниципального района Воронежской области: Проект решения.
3. ДБН В.2.4-2-2005 «Проектування. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» (в редакції зміни № 1).
4. BIM Технології інформаційного моделювання в будівництві (timb.org.ua).
5. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов, министерство строительства российской федерации академия коммунального хозяйства (МЖКФ РСФСР) Ордена Трудового Красного Знамени им. Памфилова, Москва : Стройиздат, 1983 г.
7. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов, министерство строительства российской федерации академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. Москва, 1996 г.
8. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов, министерство строительства российской федерации академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. Москва, 1998 г.
9. Григоровський П.Є., Грубська Л.М., Басанський В.О. Необхідність моніторингу зсувонебезпечних схилів на прикладі схилу у прибережній зоні в районі 9-го мкр. м. Чорноморськ (Іллічівськ). *Нові технології в будівництві* : наук.-техн. зб. 2019. № 36. С. 9-14.
10. Лозинський В.А. Геоінформаційний моніторинг полігонів твердих побутових відходів : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – «Геодезія, фотограмметрія та картографія» ; Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2019.
11. Басанський В.О. Удосконалення організаційно-технологічних рішень інструментального моніторингу забудови зсувонебезпечних територій : дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.08 – «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» (19 – Архітектура та будівництво) ; ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С. Балицького», Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, 2021.
12. Григоровський П.Є., Червяков Ю.М., Басанський В.О. Інформаційне моделювання організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань при створенні та утриманні будівельних об'єктів. *Будівельне виробництво : наук.-техн. зб.* Київ : Вид-во «Ліра-К». 2019. № 67. С. 7–16.
13. Навіщо використовувати цифрових близнюків у будівництві – Geofumadas.

References

1. Recommendations for the collection, treatment and solidification of wastewater from the landfill for solid waste.: State Committee of the Russian Federation for Construction and Housing. Federal State Unitary Enterprise Federal Center for Landscaping and Waste Management, Moscow 2003.
2. Local standard of town-planning designing "Design, construction and reclamation of landfills of solid household waste in Buturlinovsky city settlement of Buturlinovsky municipal region of the Voronezh region". Council of People's Deputies of the Buturlinovsky city settlement of the Buturlinovsky municipal region of the Voronezh region: Draft decision.
3. DBN V.2.4-2-2005 "Design. Landfills for solid household waste. Basic design provisions "(as amended зміни 1)
4. BIM Technologies of information modeling in construction (timb.org.ua)
5. Instruction on the design, operation and reclamation of landfills for solid waste, the Ministry of Construction of the Russian Federation Academy of Public Utilities (MZhKF RSFSR) Order of the Red Banner of Labor. Pamfilova, Moscow Stroyizdat, 1983
7. Instruction on the design, operation and reclamation of landfills for solid waste, Ministry of Construction of the Russian Federation Academy of Public Utilities. K.D. Pamfilova, Moscow 1996
8. Instruction on the design, operation and reclamation of landfills for solid waste, Ministry of Construction of the Russian Federation Academy of Public Utilities. K.D. Pamfilova, Moscow 1998
9. Grigorovsky PE, Grubskaya LM, Basansky VO The need to monitor landslide-prone slopes on the example of a slope in the coastal zone in the area of the 9th microdistrict. Chernomorsk (Illichivsk). New technologies in construction: scientific and technical. coll. 2019. №36. Pp. 9-14.
10. Lozynsky VA, Geoinformation monitoring of solid waste landfills, Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.24.01 - "Geodesy, photogrammetry and cartography". - Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2019.
11. Basansky VO, Improving organizational and technological solutions for instrumental monitoring of landslide-hazardous areas, Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.23.08 - "Technology and organization of industrial and civil construction" (19 - Architecture and Construction) - SE "Research Institute of Construction Production. V.S. Balytsky », Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, 2021.
12. Grigorovsky PE, Chervyakov YM, Basansky VO, Kroshka YV, Murasyova OV, Chukanova NP Information modeling of organizational and technological solutions of instrumental measurements in the creation and maintenance of construction projects. Construction production: scientific and technical. coll. Kyiv: Lira-K Publishing House. 2019. № 67. S. 7–16.
13. Why use digital twins in construction – Geofumadas.

PREREQUISITES FOR INFORMATION MODELING OF THE DYNAMICS OF DEFORMATION PROCESSES OF SOIL MASSIFS ON THE EXAMPLE OF THE DOME OF THE LANDFILL IN THE VILLAGE PIDHIRTSI, OBUKHIV DISTRICT, KYIV REGION

Abstract. *The experience of solid waste storage in the operation of landfills and dumps shows that the subsidence of the dome surface is not a natural and expected process, and the dynamics of sedimentation, complicated by the presence of filtrate, has not been studied. The recommended terms of reclamation of closed landfills for different climatic zones of 2 years, in the presence of filtrate, do not guarantee stabilization of the landfill surface if necessary to move heavy equipment during the formation of the landfill dome in the process of reclamation.*

The need to relieve social tensions and improve the sanitary condition of the landfill area requires immediate construction work in the existing conditions, which requires additional compensatory measures to ensure the safety of such work in a dynamic landfill in a way not provided by current regulations. The development of such compensatory measures is possible through a comparative analysis of calculated and actually obtained data on the dynamics of deformation processes of the dome of the landfill, namely its surface and body, taking into account the multicriteria influence of internal and external factors of man-made and natural nature.

Given the lack of source material, lack of domestic experience in the design and implementation of land reclamation, it is advisable to use digital information modeling of the dome of the landfill to predict the physical processes that occur during construction work on reclamation. This will allow the introduction of preventive compensation organizational, technological and technical solutions to minimize the negative impact of the filtrate on the stability of the surface of the dome of the landfill.

The results of the analysis of the preconditions of information modeling of the dynamics of deformation processes on the example of the dome of the landfill in the village of Pidhirtsi, Obukhiv district, Kyiv region, in order to study the multicriteria influence of man-made and natural factors for comparative analysis of calculated and actually obtained data on the dynamics of deformation processes of the landfill dome and scientific substantiation of compensatory organizational and technological solutions for reclamation in dynamic documents.

Key words: *solid household waste, deformation processes, dynamic landfills, landfills, filtrate, compensatory measures, information modeling, organizational and technological solutions.*

Hryhorovskiy P.Ye.

Doctor of Technical Sciences, Senior Research Officer,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Chukanova N.P.

Candidate of Technical Sciences,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Basanskyi V.O.

Candidate of Technical Sciences,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv

Narizhnyi V.V.

Graduate Student,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv
engineer of the 1st category,
State Enterprise “Scientific Research Institute of Building Production”, Kyiv