

Шилін І.В., канд. техн. наук, Грицук Ю.В., канд. техн. наук

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПІДБОРУ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ НА ТЕХНОГЕННО-ДЕФОРМОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Анотація. В статті розглянуто актуальну проблему підбору конструктивних елементів водопропускних труб при проектуванні автомобільних доріг на техногенно-деформованих територіях. Запропоновано алгоритм аналізу лінійних переміщень при розрахунку елементів системи «навантаження – насип – труба - основа»

Ключові слова: автомобільна дорога, водопропускна труба, зрушення земної поверхні, техногенно-деформовані території, метод скінчених елементів, переміщення, деформація

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема выбора конструктивных элементов водопропускных труб при проектировании автомобильных дорог на техногенно-деформированных территориях. Предложен алгоритм анализа линейных перемещений при расчете элементов системы «нагрузка – насыпь – труба - основание».

Ключевые слова: автомобильная дорога, водопропускная труба, сдвигание земной поверхности, техногенно-деформированные территории, метод конечных элементов, перемещение, деформация.

Abstract. The article deals with the problem of choosing design elements of culverts in the design of roads on techno-deformed areas. The algorithm for the analysis of linear displacement in the calculation of the elements of the system "load - mound - tube - foundation" is shown.

Keywords: road, culvert, land surface displacement, technologically-shaped territory, finite element method, the movement, deformation.

Актуальність питання. Згідно даних Державної служби автомобільних доріг України – Укравтодор, станом на 01.01.2009 року, кількість водопропускних труб на автомобільних дорогах України сягає 129 631 шт, тобто приблизно 0,8 труби на один погонний км автомобільної дороги. Більшість з них розташована на територіях із змінним рельєфом, що є також характерним для східної України.

В місцях розробки корисних копалин підземним способом (Донецька, Луганська обл.) відбувається техногенна деформація земної поверхні, яка призводить до значних змін в формі рельєфу, а відповідно і в умовах функціонування інженерних споруд [1, 2], що, в свою чергу, призводитиме до їх передчасного руйнування. Особливості конструкції водопропускних труб, які розташовані на автомобільних дорогах та підпадають під вплив зрушення товщі гірських порід внаслідок розробок корисних копалин підземним способом, пояснюють значні матеріальні витрати на відновлення робочого стану та досить тривалі терміни виконання цих робіт.

Таким чином, вибір оптимальної конструкції водопропускних труб, що розташовані на автомобільних дорогах на техногенно-деформованих територіях є актуальною задачею, яка потребує вирішення.

Стан питання. Питаннями захисту інженерних споруд на техногенно-деформованих територіях в тій чи іншій мірі займалися багато фахівців суміжних галузей будівництва. Однак, захист інженерних споруд на автомобільних дорогах, в наступний час, практично не має нормативного обґрунтування (виключенням є мостові споруди для яких є методики розрахунку та положення для проектування). Такий стан проблеми характеризується як об'єктивними так і суб'єктивними причинами.

Покращити стан захисту інженерних споруд на автомобільних дорогах, які розташовані на техногенно-деформованих територіях, можливо двома

шляхами: методом паралельного переносу методик, які розроблені в суміжних областях будівництва або адаптацією сучасних математичних методів з використанням просторової схеми вирішення інженерних задач.

Таким чином метою статті є розробка алгоритму підбору конструктивних елементів водопропускної труби на автомобільній дорозі, яка підпадає під негативний вплив розробки корисних копалин підземним способом.

Основний матеріал. Форма процесу зрушення земної поверхні внаслідок розробки корисних копалин підземним способом відбувається за фізичними закономірностями, які описуються, з різним ступенем ймовірності, чисельними математичними рівняннями [3, 4]. Таким чином, прогнозування процесу деформації основи, з достатньою для інженерних розрахунків точністю, нормативно обґрунтоване та не визиває труднощів. Але, при проектуванні будівництва нових водопропускних труб на автомобільних дорогах або при реконструкції існуючих ці данні зазвичай не враховуються.

Також слід відзначити, що якимось чином впливати на процес розробки корисних копалин або на збереження охоронних ціликів під автомобільними дорогами не має можливості, тому єдиним можливим рішенням є розробка запобіжних мір (в тому числі і підбір конструктивних елементів за оптимальними геометричними розмірами), які б зменшили негативний вплив на працездатність споруд протягом всього терміну експлуатації.

До таких запобіжних засобів можливо віднести: підбір раціональних матеріалів; визначення раціонального розташування споруди; підбір найбільш раціональних за геометричними параметрами конструктивних елементів водопропускних труб (з метою зменшення лінійних параметрів деформацій - вертикального осідання ланок або їх горизонтального переміщення - стискання/розтягання тіла труби чи поворот ланок).

Згідно із вимогами [5] рекомендовано застосовувати фундаментну конструкцію під оголовками та ланками водопропускних труб на автомобільних дорогах.

Розрахункова схема деформації водопропускної труби на автомобільній дорозі, яка розташована на техногенно-деформованих територіях, наведена на рис. 1.

Розв'язання задачі здійснюватиметься в програмного комплексу SCAD з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) у просторовому вигляді.

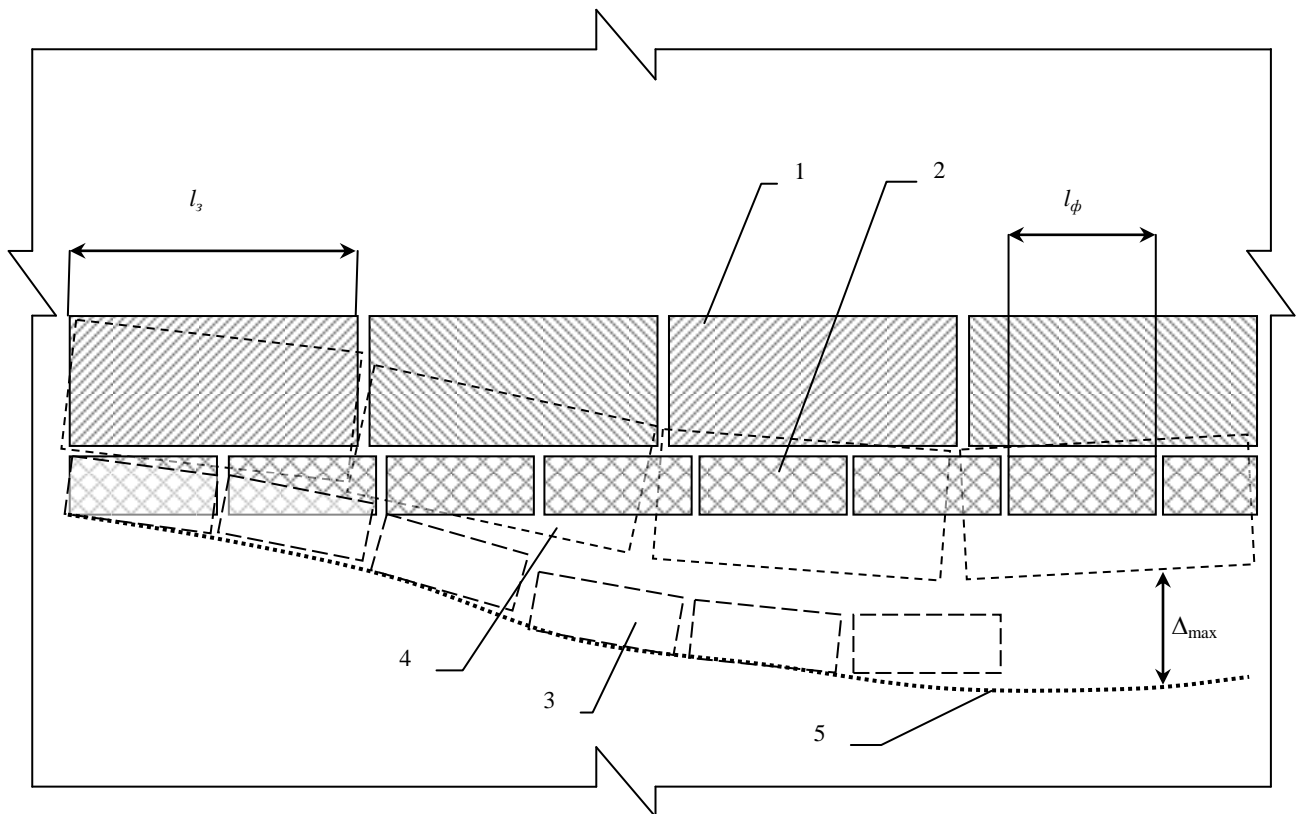


Рисунок 1 – Розрахункова схема деформації водопропускної труби внаслідок переміщення (зрушення) основи: 1 – проектне положення ланки труби; 2 – проектне положення блоку фундаменту; 3 – положення блоку фундаменту після переміщення; 4 – положення ланки труби після переміщення; 5 – очікувана лінія опису переміщення основи; l_s – довжина ланки труби; l_ϕ – довжина блоку фундаменту; Δ_{\max} – максимальне значення вертикального переміщення на ділянці.

Для спрощення розрахунку приймаємо декілька припущень:

- в якості моделі зрушення земної поверхні прийнята симетрична мульда осідання;
- в розрахунках розглядаються деформації, що пов'язані із руйнуванням конструкцій труби та її цілісністю (зміна форми ланок труби, поздовжні та поперечні тріщини в ланках труби, руйнування захисного шару та оголення

арматури в тілі труби, деформація або руйнування оголовків, випадки повного руйнування ланок труби, розтягнення ланок труби уздовж осі, просідання тіла труби відносно оголовків, просідання окремих кілець в тілі труби, просідання насипу над трубою);

в розрахунках розглядаються тільки «жорсткі» труби (залізобетонні) – тобто для яких виконують розрахунки без урахування деформацій конструктивних елементів самої споруди;

- розрахунок виконується за другою групою граничного стану споруди – за деформаціями основ і фундаментів;

- в якості моделі основи прийнята модель реальної ґрунтової споруди або основи – це модель, що базується на чисельних методах, які дозволяють отримувати достатньо близькі до аналітичних рішення розподілу напружень під дією розподілених і зосереджених сил без розробки аналітичної залежності, в нашому випадку за допомогою МСЕ.

Факторами, які будять піддаватися варіюванню прийняті:

- висота засипки над трубою;
- довжина ланки труби;
- діаметр отвору ланки труби;
- форма оголовків ланки труби;
- довжина лекального блоку фундаменту труби;
- ширина лекального блоку фундаменту труби;
- товщина лекального блоку фундаменту труби;
- товщина щебеневої «подушки» під фундаментом ланок труби

та оголовків.

Відомо [6], що розрахункова модель конструкції МСЕ складається з двох частин: розрахункової схеми і набору апроксимуючих функцій. За розрахункову схему можна вважати графічне або зорове представлення конструкції, складене з набору скінченних елементів (СЕ), зв'язків між ними, і граничних умов закріплення.

Напружений і деформований стан розрахункової моделі водопропускної труби розглядається як лінійна комбінація станів окремих елементів системи «навантаження – насип – труба – основа», що задовольняє умовам спільності деформації і рівноваги.

Загальний алгоритм складання розрахункової моделі системи для вирішення запропонованої задачі за допомогою МСЕ складається із конструктивного рішення у вигляді розрахункової схеми, кодування всієї інформації про розрахункову модель і одержання ряду числових масивів, кожен з яких має певний смисловий зміст:

1. загальний опис системи і задачі в цілому;
2. структура системи;
3. геометрія системи;
4. граничні умови;
5. характеристики матеріалів;
6. дані про навантаження;
7. дані для обробки результатів.

Для моделювання роботи підсистеми «основа – труба» застосовується модель пружного напівпростору, тобто, ґрунт є лінійно-деформованим середовищем, а конструктивні елементи водопропускної труби володіють властивостями залізобетону.

Алгоритм задавання лінійних переміщень для розрахунку підсистеми «основа - труба» виконується в наступній послідовності (рис. 2).

Класична задача із використанням МСЕ основана на обмежені переміщень та кутів повороту вузлів, тобто забезпечується стабільність основи (її недеформативність). В постановці, що розглядається основною задачею є навпаки, відома деформативність основи (лінійні параметри зрушення в горизонтальній та вертикальній площині), що викликає певні труднощі при накладанні граничних умов при розрахунку ґрунтового напівпростору.

Таким чином, виникла необхідність використання МСЕ за відомими значеннями переміщень вузлів. Для розрахунку на задані зміщення зв'язків в

SCAD передбачено використання нуль-елементів. Вони є комбінацією послідовно сполучених один з одним пружин додатної (С) та від'ємної (-С) жорсткості. Оскільки для послідовно сполучених елементів піддатливості $1/C$ і $1/(-C)$ підсумовуються, то отриманий елемент сумарної нульової піддатливості є абсолютно жорстким зв'язком по відношенню до взаємного зсуву його крайніх вузлів. Якщо в якості зовнішньої дії на систему необхідно прикласти примусове переміщення пари зовнішніх вузлів на величину Δ , відповідно буде достатньо прикласти до внутрішнього вузла нуль-елемента силу $P = C\Delta$ і зрівноважити її в іншому вузлі.

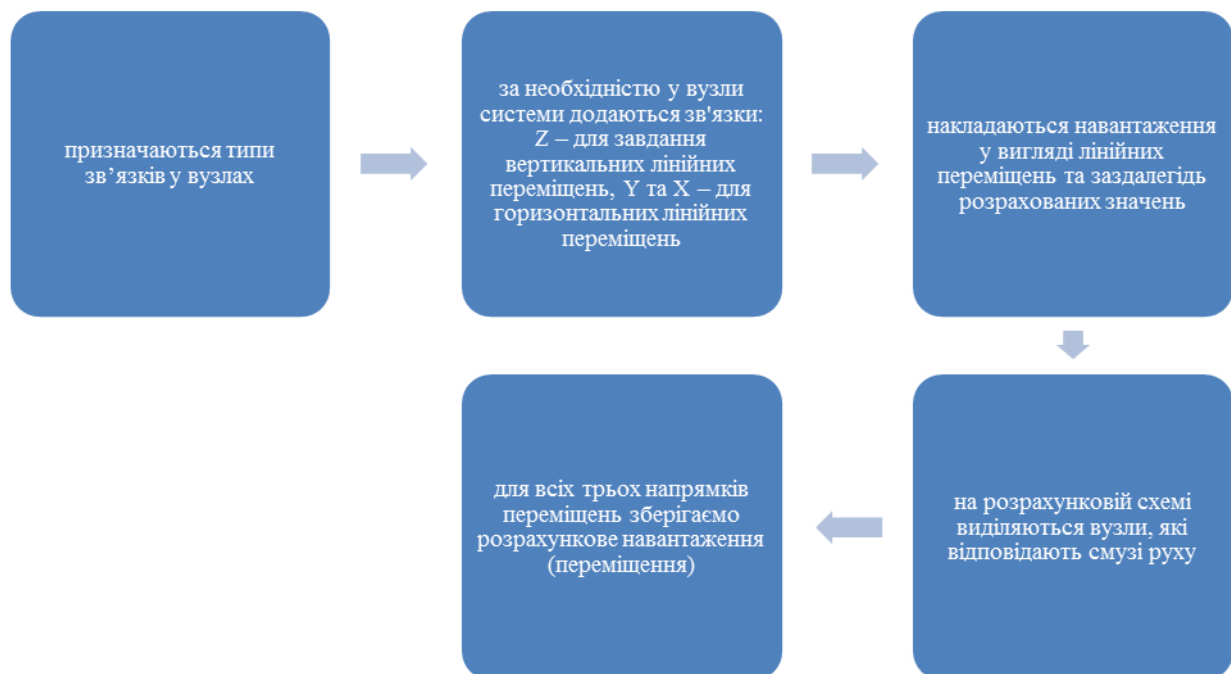


Рисунок 2 – Схема задавання лінійних переміщень для підсистеми «основа-труба».

Отже, розрахунок на задане переміщення еквівалентний розрахунку на силу P , прикладену у вузлі, за напрямком, співпадаючим з переміщенням Δ .

Ґрунтуючись на результатах досліджень [7] системи «основа-труба» за допомогою МСЕ, для подальшого розрахунку були прийняті прямокутні елементи з розміром сторін $10 \times 10 \times 10$ см.

Після виконання наведеного алгоритму з'являється можливість виконання лінійного розрахунку та отримання ізолінії напружень.

В результаті варіантного підбору конструктивних елементів водопропускної труби (з урахуванням варіативних факторів) є можливість отримання оптимальної (за геометричною ознакою) конструкції, яка б враховувала параметри зрушення земної поверхні (деформативність основи) та містила мінімальні вертикальні та горизонтальні деформації.

Висновки. Запропонований алгоритм підбору конструктивних елементів водопропускних труб на автомобільних дорогах, розташованих на техногенно-деформованих територіях дозволить більш раціонально використовувати існуючі типові розміри елементів конструкції для зменшення негативних наслідків зрушення земної поверхні внаслідок підземних гірничих робіт, а в деяких випадках і повністю їх компенсувати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Иофис М.А. Сдвигение земной поверхности и охрана сооружений во Львовско-Волынском бассейне/ М.А. Иофис// Уголь Украины.–Л.: 1962. – №12. – С.22-24.
2. Исследование сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности для рекомендаций по проектированию и строительству автомобильных дорог на подрабатываемых территориях.: Отчёт по НИР./ ГФ ДПИ -№ГР 75064881. –г. Горловка, 1980. – 203с.
3. Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003. – [Чинний від 2003–11–22] – К. :Мінпаливенерго України, 2003. – 126 с.– табл. – (Національні стандарти України). – Текст: рос., укр.
4. Колбенков С.П. Аналитическое выражение типовых кривых сдвижения поверхности / С.П. Колбенков– Л.: сб. трудов ВНИМИ., 1961г. – вып. №43 – С.46-49.
5. Мости та труби. Основні вимоги проектування ДБН В.2.3-22:2009 – [Чинний від 2009-11-11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с– (Державний стандарт України)
6. Городецкий А.С. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений / А.С. Городецкий, В.И. Заворицкий, А.И. Лантух-Лященко, А.О.Рассказов. – М.: Транспорт, 1981. – 144 с.
7. Попов А. Н. Характерні деформації водопропускних труб автомобільних доріг / А.Н.Попов, Б.І. Злочевський, А.Б. Ліневич – тр. СоюздорНДІ, 1972. – Вип. 59. – 180 с.