In generally, the application and calculation of inclined piles, should be based on extensive theoretical and experimental investigations, which require further study of the issue.

1. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты/Минстрой России. —М.: ГП ЦПП, 1995. — 48 с..
2. A.Z. Elwakil , W.R. Azzam . "Experimental and numerical study of piled raft system". Alexandria Engineering Journal. Egypt. December 2016.
3. Sadiyev R.B. “Maili qazma doldurma svay özüllərin qrunt şəraitinə görə yükgötürmə qabiliyyətinin təyin olunmasının bəzi xüsusiyyətləri”. Bakı, AzMİU. Respublika Elmi-praktik Konfransı. 2017 , 153 p.

ЗАКОНОМІРНОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕЗАКРІПЛЕНОЇ ВИРОБКИ ЯК ФУНКЦІЇ SCALING-ПАРАМЕТРІВ

Бондаренко Н.К. асп., Тютькін О.Л. д.т.н.
Кафедра «Мости та тунелі», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Задача визначення напружено-деформованого стану системи «незакріплена виробка – шаруватий масив» не дуже освітлена в літературі і потребує ширшого дослідження і розглядання всіх основних її положень. Безсумнівно, що вже існує визначний масив розв’язаних задач для отворів в площинах або просторах (півпросторах), який є класичним для методів механіки суцільного тіла. Також слід відмітити, що значний прорив у вирішенні задач шаруватих середовищ отримано в теорії розрахунку ламінатів та багатошарових конструкцій. Однак для випадку ґрунтового (породного) шаруватого масиву, знеміцненого пройденою виробкою, застосування вже отриманих рішень можливе лише частково, частіш усього на рівні деяких принципів.

В останні десятиріччя розвиток чисельних методів механіки суцільного середовища дозволяє приступити до вирішення задачі визначення напружено-деформованого стану системи «незакріплена виробка – шаруватий масив». Проте загальновідомо, що найбільш поширені чисельні методи рішення подібного класу складних геомеханічних задач, незважаючи на високу їх точність, не володіють загальністю рішення. Тому необхідний новий методологічний підхід до вирішення даного завдання, метою якого є пошук поєднання умови найбільш широкої області застосування результатів досліджень з умовою мінімально допустимого обсягу обчислень по підбору різних варіантів поєднання геометричних (радіус виробки, положення шару у просторі ґрунтової (породної) матриці тощо) та деформаційних властивостей (модуль пружності та коефіцієнт Пуассона усіх частин системи), а також особливостей формування напружено-деформованого стану системи «незакріплена виробка – шаруватий масив».

Слід зазначити, що спроба відтворення геомеханічних систем, що мають істотну неоднорідність геометричних і деформаційних параметрів її елементів, призводить до надзвичайної громіздкості кінцевих рівнянь і необхідності чисельних методів їх вирішення. Тому, з розвитком обчислювальної техніки все більш перспективними представляються чисельні методи дослідження геомеханічних систем (методи скінченних, граничних, дискретних елементів тощо) зі складною просторовою геометрією і суттєвої деформаційною неоднорідністю елементів. Різноманіття одержуваних рішень свідчить про практичну універсальність методу скінченних елементів для задач геомеханіки і перспективності розвитку даного методу досліджень.

Проте слід підкреслити і той факт, який усестороннє аналізувався прихильниками аналітичних рішень (наприклад, представниками Тульської школи), що метод скінченних елементів по своїй сутності є тим інструментом, що дозволяє отримувати конкретні рішення. Таким чином, його застосування для вказаної геомеханічної задачі потребує узагальнення конкретних результатів та їх класифікації з метою систематизування.

Ідеєю, що дозволяє провести таке узагальнення, є застосування деяких аналітичних принципів в чисельному методі скінченних елементів. Представники вже згаданої Тульської школи (М.С. Буличов, Н.Н. Фотієва, А.М. Саммаль та інші) базують свої рішення на аналітичних закономірностей теорії функцій комплексного змінного Колосова – Мусхелішвілі. Тактично ця теорія реалізується за допомогою конформних відображень, сутність яких наступна. Реальна виробка із визначеним конкретним радіусом R за допомогою прямого відображення перетворюється на колову виробку із одиничним радіусом, до якого застосовуються закономірності теорії Колосова – Мусхелішвілі. Потім, після отриманого рішення на коловій виробці із одиничним радіусом, воно, шляхом зворотного конформного відображення, переноситься на реальну виробку із визначеним конкретним радіусом R.

Така аналітична стратегія неможлива для методу скінченних елементів, але її принцип (розрахунок на коловій виробці із одиничним радіусом) є плідним для чисельних методів взагалі. Авторська ідея полягає в тому, що напружено-деформований стан на коловій виробці із одиничним радіусом за допомогою особливих scaling-параметрів (скейлінг, масштабування) можна екстраполювати на виробки будь-якого радіусу.

Для реалізації цієї авторської ідеї були проведені розрахунки двох геомеханічних систем: «незакріплена виробка – шаруватий масив» та «незакріплена виробка – однорідний масив». Спочатку розраховувалися системи з реальними геометричними параметрами (радіус незакріпленої виробки приймався рівним радіусу перегінного та станційного тунелю метрополітену, комунального тунелю тощо), а потім для скейлінгу (зміни масштабу геометричних параметру) розраховувалися системи з одиничним геометричним параметром – радіусом (R=1).

Після комплексу проведених розрахунків визначено закономірність зміни напружень та переміщень двох геомеханічних систем («незакріплена виробка – шаруватий масив» та «незакріплена виробка – однорідний масив»). Можна свідчити, що для того, щоб визначити напруження та переміщень в реальних геомеханічних системах достатньо виконати розрахунки на коловій виробці із одиничним радіусом, а потім виконати скейлінг напружень та переміщень (при постійному значенні деформаційних параметрів обох систем). Під час скейлінгу системи з одиничним геометричним параметром слід збільшити напруження в n разів (scaling-параметр для напружень), а переміщення в n^2 (scaling-параметр для переміщень), де n – безрозмірне відношення радіусів реальної системи та системи з одиничним геометричним параметром (в загальному випадку скейлінг можна проводити не тільки на системі з одиничним геометричним параметром).

Таким чином, застосовуючи аналітичний принцип в чисельному методі, побудовано частину системи визначення напружено-деформованого стану системи «незакріплена виробка – шаруватий масив», яка розпочинає процес класифікації випадків шаруватості для реальних розрахункових випадків.