

УДК 539.3:624.071:624.04

д.т.н., професор Белятинський А.О.,
к.т.н., доцент Прусов Д.Е.,
Національний авіаційний університет, м. Київ

МЕТОДОЛОГІЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ АЕРОПОРТІВ В СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ

Розглядаються основи методології дослідження напружено-деформованого стану підземних об'єктів і захисних споруд аеродромів у складних інженерно-геологічних умовах України, оцінка впливу ґрунтової основи на напружено-деформований стан об'єктів аеропортів та визначення стійкості ґрунтового масиву при наявності слабких прошарків ґрунтів.

Ключові слова: аеродроми, заглиблені об'єкти, напружено-деформований стан.

Постановка проблеми. Новітнє будівництво потребує максимального використання простору не тільки у межах міст та селищ, а й у межах сучасних аеропортів, на території яких необхідно будувати сучасні термінальні комплекси, підземні комплексні споруди та паркінги, ангари, нові злітно-посадкові смуги, місця стоянок надважких широко фюзеляжних повітряних суден, транспортних засобів для їх обслуговування та інші інженерні споруди. Це вимагає влаштування глибоких котлованів поблизу існуючих будівель та споруд.

У процесі будівництва виникають певні труднощі, пов'язані зі збереженням незмінності існуючого напружено-деформованого стану (НДС) вже існуючих будівель та основи під ними. Згідно міжнародної класифікації, зокрема європейських норм і стандартів (єврокодів) будівництво та реконструкція в зонах існуючих забудов у складних геологічних умовах належить до найвищої категорії складності.

Багато з існуючих будівель, поруч з якими споруджуються нові будівлі, мають фундаменти неглибокого (мілкового) закладання, які чутливо реагують на зміну НДС ґрунтової основи. Влаштування котлованів, підземних каналних споруд, використання підземного простору під паркінги, термінові локальні водоймища, які тимчасово акумулюють ґрунтові води, забезпечуючи їх рівень у межах допустимого під злітно-посадковими смугами, та інші інженерні споруди порушують урівноважений напружений стан основи і здебільшого негативно впливають на існуючі конструкції будівель. У цих умовах важливу роль відіграють інженерні захисні споруди та технології їх влаштування, які б

забезпечили мінімальні зміни НДС основи. Розрахунки конструкцій зазначених захисних споруд, а саме – захисних екранів, діафрагм, підпірних стінок різної конфігурації, стінок у ґрунті – суцільних та комбінованих з буро набивних і буроінекційних паль глибиною до 40м і більше, необхідно проводити з урахуванням нелінійної поведінки ґрунту, особливо на етапі улаштування глибоких котлованів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що існуючі норми та емпіричні залежності при оцінці впливу нового будівництва на існуючі конструкції призводять до необґрунтованого запасу, або навпаки до руйнування існуючих конструкцій. Більше того, деякі існуючі технології будівництва, наприклад, улаштування паль без екскавації ґрунту є новими і ще не знайшли відображення у нормативних документах.

Можливість забезпечення надійного та економічного вирішення тієї чи іншої проблеми дає аналіз взаємодії систем: існуюча будівля – захисні конструкції – котлован під нову будівлю; основи та фундаменти існуючих будівель – захисні конструкції – надземні конструкції у цілому, або різні комбінації взаємодії ґрунтового півпростору під існуючими будівлями та захисних споруд між існуючими і новими запроєктованими будівлями.

На сьогоднішній день аналіз зазначених систем можна проводити лише засобами числового моделювання, що вимагає використання сучасної комп'ютерної бази та відповідного математичного апарату. Складність розв'язання відповідних проблемних задач полягає не лише у створенні або використанні відповідного програмного комплексу, а насамперед у прийнятті обґрунтованої фізичної моделі, що найбільш коректно описує нелінійні процеси деформування матеріалу середовища, у тому числі моделі матеріалу ґрунту, а також у виборі розрахункових схем та реалізації спеціальних алгоритмів розрахунку, які забезпечують достовірність результатів (даних) розрахунку. Ситуація ускладнюється ще й тому, що на сьогодні відсутній універсальний метод чи модель, які можна застосовувати до будь-якого геоматеріалу, або середовища.

Кожна постановка задачі повинна включати власний аналіз на достовірність та особливий підхід, що вимагає від сучасного проєктувальника не лише вміння правильно розробити документацію, але й мати відповідні значні навички та знання у питаннях числового моделювання та механіки ґрунтів.

Проєктування захисних конструкцій під нову забудову в умовах прибудови слід проводити з урахуванням впливу на існуючі конструкції та прилеглий ґрунтовий масив різних етапів будівництва, таких як улаштування

захисних конструкцій; розробка котловану з урахуванням ефекту розвантаження основи, послідовності зведення інженерних конструкцій.

Отримання надійних результатів моделювання системи, у більшості випадків зводиться до використання нелінійних пружно-пластичних моделей, що базуються на теорії пластичної течії, таких як Кулона-Мора, Мізеса-Шлейхера-Боткіна, Друккера-Прагера, Ніколаєвського та інших. При цьому необхідним фактором залишається урахування конструктивності та неоднорідності – технологічної послідовності процесу будівництва згідно до прийнятої системи [1,2].

Забезпечення надійності будівель і споруд, зниження фінансових та матеріальних затрат є нагальним питанням сьогодення. Ці вимоги відносяться до основ і фундаментів як до самої відповідальної частини інженерних споруд. Кошторисні витрати робіт по реконструкції (підсиленню) фундаментів, або виправленню помилок, що допущені при проектуванні, в багато разів перевищують початкову вартість улаштування фундаментів, а деколи і всієї споруди. Завдяки цьому уточненим розрахункам основ та фундаментів у сучасних умовах приділяється значна увага. Одним з раціональних видів фундаментів є палі, що забезпечують високу несучу здатність та мінімальну величину осадок фундаментів. Об'єктивними причинами впровадження пальових фундаментів в Україні є наявність просідаючих ґрунтів (більше 75% території), гостра необхідність будівництва багаторівневих промислових та цивільних будівель та споруд з метою раціонального збереження земель під сільськогосподарські угіддя. Незважаючи на давнє і широке застосування пальових фундаментів у житловому, промисловому та цивільному будівництві особливості їх взаємодії з основами вивчені недостатньо і зараз існує дуже багато проблемних задач, достовірне розв'язання яких не реалізоване у повній мірі.

Мета роботи та постановка завдання. Створення достовірної розрахункової моделі ґрунтової основи, яка б забезпечувала достатню відповідність між результатами розрахунку і дійсністю – все ще є однією з найважливіших проблем будівництва. Сучасні методи розрахунку основ у механіці ґрунтів дозволяють оцінити лише їх порядок. Використання як розрахункового тиску граничної величини, що відповідає кінцю (зламу) лінійної ділянки графіка “навантаження-осідання” призводить, як правило, до прийняття не завжди економічних розв'язків. За межами класичної (лінійної) механіки ґрунтів залишається неврахованою велика область досліджень пластичних деформацій. Виникає необхідність розробки більш досконалих методів розрахунку, що враховують дійсну схему роботи фундаментів та реальні нелінійні властивості ґрунтових основ. Актуальною залишається

задача розроблення математичної моделі розрахунку опору паль з метою підвищення достовірності та надійності проектних розв'язків шляхом урахування геометричної і фізичної не лінійності роботи основ, дилатансійних явищ у них та уточнення критеріїв граничного стану ґрунтів за розширеним критерієм Мізеса-Губера-Боткіна.

У зв'язку зі збільшенням підйомної маси сучасних і перспективних на найближчі 10-20 років надважких широко фюзеляжних повітряних суден, таких як В747-400, В747-8, А-320, В-737-900ER, В-737-800, А380-800, А380-800F, АН-225 «Мрія» та інших, діючі норми проектування аеродромних покриттів не забезпечують необхідну надійність за міцністю та деформативністю, а також технічні вимоги за довговічністю при їх експлуатації. Діючі норми взагалі не ураховують дійсну взаємодію плит скінчених розмірів жорстких покриттів, а також змінність величини коефіцієнта постелі ґрунтових основ при наявності слабких прошарків.

Виконаний детальний аналіз напружено-деформованого стану гнучких плит скінчених розмірів на пружній основі з використанням величини коефіцієнта постелі як функції координат точок у площині плити. На основі моментної схеми скінчених елементів (МССЕ) розроблена чисельна методика дослідження напружено-деформованого стану гнучких тонких пластинок (плит) із міцних матеріалів – бетону, армобетону, фібробетону, залізобетону, металопрокату та інших композитних матеріалів, які працюють сумісно з лінійно-пружною неоднорідною основою.

Теоретичні основи запропонованої методології дослідження взаємодії огорожуючих та захисних конструкцій з ґрунтовим півпростором у надграничному стані з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності у постановці задачі, при реалізації еволюції складного завантаження з урахуванням активного і пасивного навантаження та ефекту розвантаження ґрунтового півпростору, розроблені із застосуванням теорії нелінійної механіки ґрунтів, нелінійної теорії пружності та пластичності, методів нелінійного програмування і методу скінчених елементів, а також нових модифікованих моделях урахування неоднорідності та впливу анізотропних властивостей багат шарового півпростору при відсутності тертя між окремими шарами, та використані при вирішенні плоских задач дослідження напружено-деформованого стану (НДС) півпростору при взаємодії покриття з ґрунтовою основою [3,4].

Розроблення уточнених методів розрахунку аеродромних покриттів на основі наступних критеріїв: граничного стану плит покриття за міцністю, допустимих пружних прогинів, граничного опору ґрунту зсуву і допустимих розтягуючих напружень при згині для монолітних шарів покриття обумовлює

необхідність розглянути комбінований багатошаровий масив із власне покриття, штучної та ґрунтової основи при зведенні розв'язання задачі у просторовій постановці до задачі у плоскій постановці. Для вирішення поставленої задачі на основі числового методу виконано моделювання багатоколісного впливу від шасі сучасних важких повітряних суден з адекватним зведенням до еквівалентного смугового навантаження, що має місце при вирішенні плоскої задачі. З метою визначення граничних деформацій всього багатошарового розрахункового фрагменту півпростору з урахуванням граничного опору ґрунту зсуву і допустимих розтягуючих напружень у шарах штучної основи враховується розвиток локальних пластичних деформацій. На основі чисельних експериментів, виконаних за допомогою моментної схеми скінченних елементів, дано рекомендації щодо уточнення коефіцієнтів умов роботи, які дають можливість використовувати існуючі інженерні аналітичні методи розрахунку [5,6].

Гранична рівновага ґрунту в елементарному околі, що розглядається (скінченному елементі) адекватна такому напруженому стану, за якого навіть невеликий додатковий вплив може порушити цю рівновагу. Такий напружений стан характеризується ще й тим, що опір зсуву в елементарній області (скінченному елементі) повинен бути рівним граничному для даного типу ґрунту. Вказаний стан відноситься до другої фази граничного стану ґрунтів при обширному розвитку зсувних деформацій у масиві ґрунту. Числовий розв'язок задачі стійкості ґрунтових масивів у цьому випадку здійснюється на основі запропонованої в методикі з деякими уточненнями критерію текучості для ґрунтового півпростору.

Варіаційне рівняння відповідно до енергетичних методів описує рівновагу елементарного об'єму будь-якого суцільного середовища незалежно від його фізико-механічних характеристик. У запропонованій методиці реалізується прикладний підхід варіаційних принципів і теорії граничного напруженого стану деформованого тіла, коли отримані рішення пов'язані з розподілом спочатку пружних областей на пружні та непружні з зонами, що розвиваються, пружно-пластичних (зсувних для ґрунтів) деформацій. Вихідна розрахункова скінченноелементна модель у процесі деформування трансформується відповідно до критерію текучості (руйнування) ґрунтового масиву і поділяється на дві області визначення напружено-деформованого стану: пружну і пружно-пластичну.

У даній роботі критерій стійкості, або текучості ґрунтового півпростору для окремої локальної однорідної ізотропної області представлений в універсальній формі на основі розширеного критерію текучості Мізеса (за рахунок включення до нього залежностей від шарового тензора напружень -

гідростатичних напружень) з використанням поверхні навантаження за критерієм Кулона-Мора і з урахуванням не тільки другого, а й третього інваріанта тензора-девіатора функції напружень через інваріант Лоде-Надаї.

Числові дослідження як приклад практичного застосування методу скінченних елементів (МСЕ) і демонстрації достовірності отриманих рішень в задачах дослідження стійкості ґрунтового масиву було проведено числове дослідження комбінованого багат шарового півпростору, який містить шари залізобетонного покриття, штучної основи і активної зони ґрунтової основи. Також були розглянуті декілька тестово-контрольних задач, серед яких дослідження напружено-деформованого стану ізотропного однорідного ґрунтового півпростору з порожниною у плоскій постановці; та визначення напружено-деформованого стану нежорсткого аеродромного покриття від впливу смугового навантаження на активний півпростір.

Розглядалась тестова задача визначення напружено-деформованого стану (НДС) ізотропного однорідного ґрунтового півпростору з порожниною у плоскій постановці з урахуванням розвитку пружно-пластичних деформацій, визначення меж областей пластичних і пружних зон розповсюдження деформацій, а також визначення зміщень у зоні утворення поверхні ковзання призми обвалення. Для отримання числових розв'язків розглядалась дискретна модель частини ґрунтового півпростору з вертикальним схилом (рис.1). Розміри півпростору 30×21 м ($3000 \times 2100 \times 1$ см) зі змінною площею в процесі нелінійного деформування за рахунок введення порожнини (модель котловану) з розмірами 1000×950 см (ширина постійна – 1000 см, глибина змінюється – від 100 до 950 см). Сіткова область розрахункової схеми задачі мала розміри $2 \times 27 \times 27$, що відповідало 676 скінченним елементам (СЕ), включаючи порожнину з границями. Прийнято відповідні граничні умови розрахункового фрагменту, а також фізико-механічні характеристики однорідного ізотропного ґрунтового півпростору.

Результати дослідження показали, що першими у критичний стан — за наявності пластичних деформацій, коли функція навантаження стає більшою від нуля, — переходили скінченні елементи, які локалізувались у околі нижньої точки укосу (вертикальної стінки), при цьому спостерігалась тенденція розвитку критичного стану в напрямку від кута виїмки вліво і вправо уздовж границь порожнини і по діагоналі. При досягненні глибини виїмки 9,5 м характер концентрації пластичних деформацій в області нижнього кута виїмки практично збігався за двома варіантами схеми навантаження, тобто це свідчить про те, що основним чинником утворення границь призми обвалення на укосах ґрунтових масивів є глибина виїмки (висота укосу). Завдяки наявності невеликого локального смугового навантаження вдалося отримати і виявити

вузли на лінії ковзання призми обвалення, коли напружений стан у примикаючих СЕ наближається до критичного. Таким чином, з певним наближенням можна отримати циліндричну поверхню ковзання призми обвалення ґрунтового масиву, що проходить нижче кута виїмки на 1,5 м (складає 0,15 від глибини виїмки), орієнтовний радіус якої становить $R_c=28m$.

За результатами нелінійного деформування дискретних моделей задачі, можна представити зміну форми ґрунтового масиву в критичному стані, з відповідними векторами переміщення вузлів СЕ-моделі по обмежуючим поверхням укусу та у характерних перерізах по поверхнях ковзання та випору ґрунту по дну котловану, значеннями компонент вузлових векторів зазначених поверхонь, що дозволяє отримувати реальну картину взаємодії призми обвалення укусу і випору ґрунту по дну котловану.

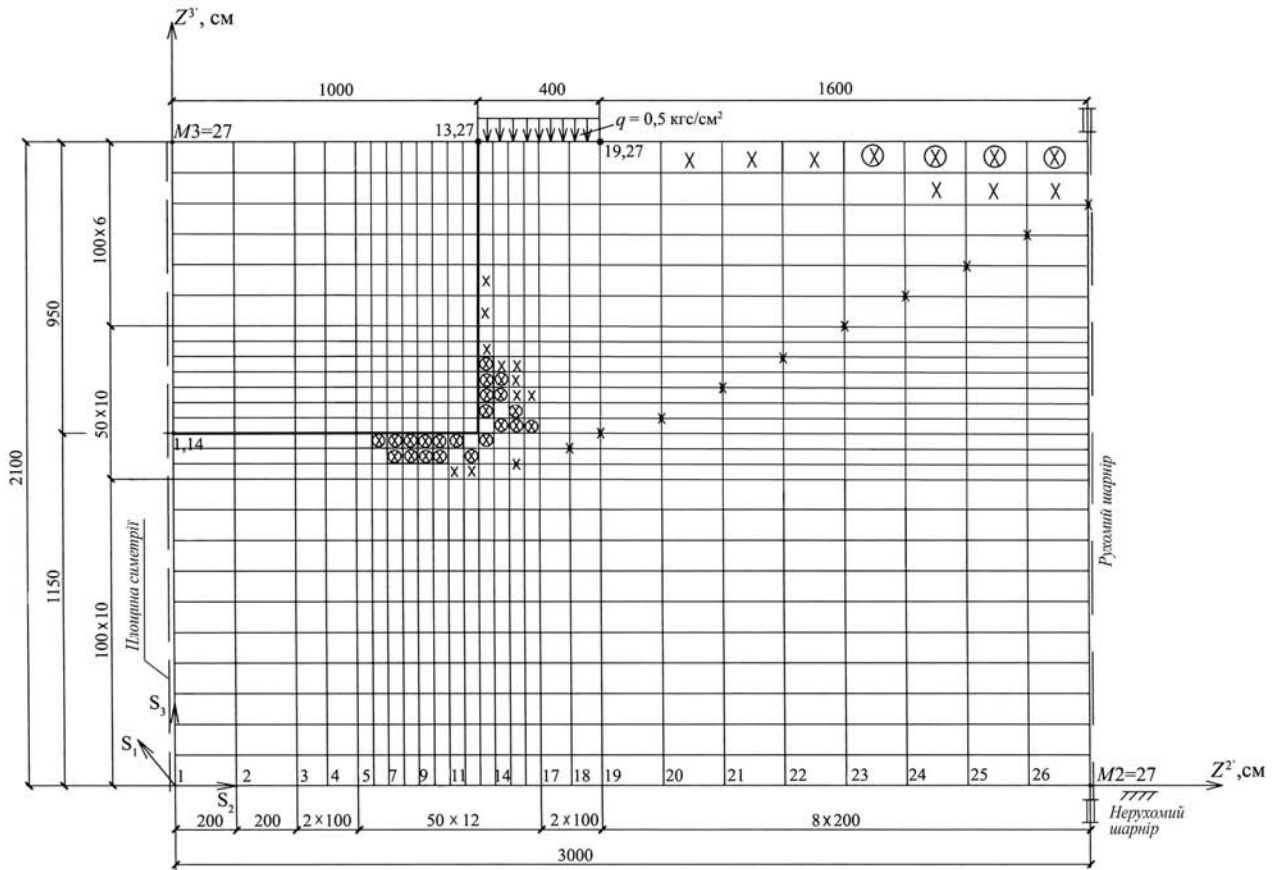


Рис.1. Розрахункова схема задачі на стійкість вертикального земляного укусу в однорідному ґрунтовому півпросторі та зони поширення пластичних деформацій: × – тільки від власної ваги ґрунту; ⊗- від власної ваги ґрунту і смугового навантаження

У якості другої тестово-контрольної задачі визначення напружено-деформованого стану нежорсткого аеродромного покриття від впливу смугового навантаження на активний півпростір для оцінки впливу розвитку пружно-пластичних деформацій на напружено-деформований стан аеродромних покриттів розглядався розрахунок нежорсткого аеродромного

покриття та порівняльний аналіз його НДС при використанні інженерного та чисельного розрахунків. Використаний приклад розрахунку нежорсткого аеродромного покриття полегшеного типу для аеропорту IV класу. Виходячи з техніко-економічних обґрунтувань відповідного проекту аеродрому враховані специфіка економічних, кліматичних, гідрологічних та інших умов будівництва. Достовірність надійності проекту конструкції полегшеного покриття злітно-посадкової смуги аеродрому підтверджується інженерним розрахунком на міцність і додатковим науково-дослідним розрахунком з використанням розробленої методології.

У конструкції полегшеного нежорсткого покриття передбачалось штучна основа — власне покриття з ґрунтоцементу, захисний шар з гранітного відсіву, та активна зоні ґрунтової основи, яка складена з глини пилуватої, глини жорсткої, піску середньозернистого, та глини піщаної, із відповідними фізико-механічними характеристиками (рис.2).

Було визначено розрахункове значення колісного навантаження для розрахункового повітряного судна, яке має найбільшу нормативне навантаження на основну опору.

Відповідно до вихідних даних проведений інженерний розрахунок на міцність нежорсткого аеродромного покриття, який показав, що допустимий (граничний) прогин покриття по відносній деформації при колісній дії літака не задовольняє нормативним умовам. Проаналізувавши напружено-деформований стан розглянутої конструкції полегшеного нежорсткого покриття при дії смугового навантаження (з урахуванням коефіцієнта приведення до еквівалентного кругового відбитку) можна зробити остаточні висновки.

З метою отримання чисельних результатів розглянутої задачі розрахунку нежорсткого аеродромного покриття з урахуванням взаємодії з ґрунтовою основою виконані відповідні процедури моделювання вихідних параметрів: геометричних, навантаження та фізико-механічних для отримання адекватної дискретної моделі у плоскій постановці задачі плоскої деформації.

Враховуючи параметри еквівалентного перерізу покриття, штучної основи і ґрунтового багат шарового півпростору, побудовано розрахункову схему для розглянутої задачі з урахуванням площині симетрії, що проходить через центральну вісь еквівалентного колісного відбитка (рис.2). Розрахунковий фрагмент півпростору мав розміри: ширина - 300см, глибина - 674см, товщина - 1см, а сіткова область розрахункової схеми мала розміри $2 \times 19 \times 23$, що відповідає 396 скінченним елементам (СЕ), кількості вузлів СЕ - 874 і кількості розв'язуючих рівнянь 2622. Також були прийняті відповідні граничні умови розрахункового фрагменту та зовнішнє у вигляді півсмугового навантаження.

Результати дослідження напружено-деформованого стану розглянутого півпростору конструкції покриття нежорсткого типу у взаємодії з штучною і ґрунтовою основою на глибину 6,74м були представлені у вигляді зон розповсюдження пластичних (зсувних) деформацій; таблиць значень переміщень і внутрішніх зусиль у характерних перерізах (по площині симетрії і обмежувчій верхній поверхні півпростору) від додаткового зовнішнього навантаження; та графіків-епюр переміщень, ізоліній стискаючих напружень (ізобар) і ізоліній зсувних напружень (розпір).

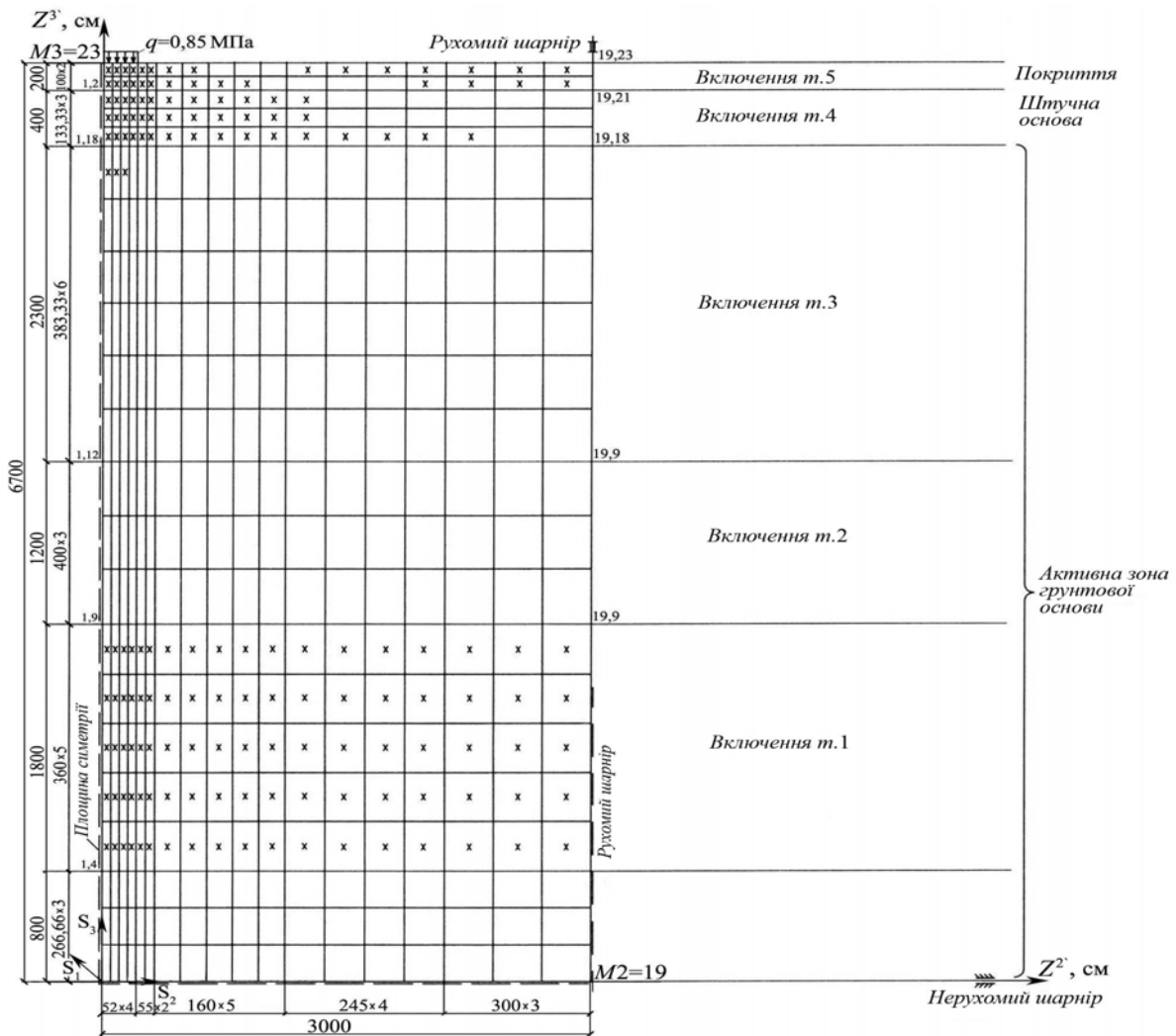


Рис.2. Розрахункова схема задачі дослідження НДС багат шарового півпростору з урахуванням включень (штучне покриття) та області розвитку зон пружно-пластичних деформацій

На рис. 2 також представлені області (набір скінченних елементів), в яких мають місце тільки пружні і пружно-пластичне деформації. Зсувні деформації незначної величини (близько $2,6 \cdot 10^{-4} \dots 6,3 \cdot 10^{-4}$), спостерігаються у піщаному шарі практично при нульовому питомому зчепленні $c = 0,02$ кгс/ м2. У

нижньому шарі (піщана глина, сіро-зелена) при $c = 0,42$ кгс/см² пластичні деформації не спостерігаються. Пластичні деформації в шарах полегшеного покриття і штучної основи носять характер початкового критичного стану, про що свідчать і їх значення: $1,8 \cdot 10^{-3} \dots 1,5 \cdot 10^{-6}$, зменшення відбувається за напрямом Z^2 - розширення зсувної області від площини симетрії до бічної границі півпростору.

Порівняння результатів числових досліджень у характерних перерізах при розрахунку з урахуванням розвитку пластичних деформацій і без урахування останніх показало невелику різницю за максимальними переміщеннями — близько 11%, а за максимальними напруженнями — близько 8%, при цьому с урахуванням пластичних деформацій спостерігається деяка концентрація в СЕ, що примикають до поверхні навантаження.

Характер розподілу напружень свідчить про неоднорідність ґрунтового багат шару, але загальний характер ізоліній, отриманих у розглянутій задачі, відповідає відомим класичним прикладам [7].

Для використання формул інженерного розрахунку за деформаціями, прийнятими в нормативних документах, запропоновано уточнити формули визначення абсолютних прогинів, ввівши уточнений коефіцієнт умов роботи нежорсткого покриття з урахуванням деяких деформацій зсуву в граничному стані, таким чином, щоб нежорстке покриття у граничному стані за показниками відносного прогину задовольняло нормативним вимогам.

Висновки. Аналіз отриманих результатів досліджень рівноважного граничного стану багат шарового ґрунтового півпростору при його взаємодії з огорожувальними і захисними спорудами при будівництві запроектованих будівель у прилеглих міських або промислових зонах близько розміщених існуючих будівель та споруд дозволяє зробити наступні висновки:

розроблені нові співвідношення моделі рівнянь стану ґрунтів при врахуванні впливу поперечної анізотропії і неоднорідності гнучких багат шарових систем на основі нелінійної теорії пружності і пластичності з урахуванням критерію текучості на основі розширеного критерію текучості Мізеса дозволяють отримати достатньо достовірний характер взаємодії ґрунтів з огорожувальними конструкціями глибоких котлованів і уточнити величину внутрішніх зусиль в елементах огорожувальних та захисних конструкцій при наявності стабілізуючих елементів, допоміжних екранів та інших жорстких включень у ґрунтовий простір;

розроблені спеціальні алгоритми, що побудовані на методах нелінійного програмування, нелінійної теорії пружності і пластичності, співвідношеннях нелінійної механіки ґрунтів, дозволяють побудувати розрахункові моделі достатньо адекватні реальним фізичним процесам взаємодії ґрунтових насипів,

ухилів, масивів з огорожувальними комбінованими конструкціями, що допускають кінематичну рухомість – великі переміщення і великі кути повороту;

чисельна реалізація співвідношень і алгоритмів нелінійного деформування дозволяє розв'язувати задачі оптимального проектування огорожувальних конструкцій за узагальненими параметрами проектування: товщині, глибині занурення у півпростір, жорсткості стабілізуючих елементів та іншим;

розроблена методологія забезпечує уточнений розрахунок елементів огорожувальних конструкцій глибоких котлованів, підпірних стінок в умовах активного і пасивного тиску ґрунтів, реалізації еволюційних технологій зовнішнього впливу на ґрунтовий півпростір, насипних дамб та транспортних земляних полотен з урахуванням їх багатошарового армування, а також споруд каналів для визначення стійкості днища в умовах розвитку граничних пластичних деформацій.

з метою уточнення амплітуд сплайнової функції коефіцієнта постелі розроблені адекватні моделі пружного півпростору з описанням багатошарових включень з реальними фізико-механічними характеристиками ґрунтів на основі інженерно-геологічних розрізів.

Отримані результати розрахунку на міцність конкретних прикладів конструкцій жорсткого покриття з використанням різних дискретних моделей і типів ґрунтових основ свідчать про універсальність запропонованої методики дослідження НДС тонких плит на пружній неоднорідній основі, що у перспективі дозволить враховувати адекватність впливу наскрізних швів і стикових з'єднань плит на розподіл внутрішніх зусиль, концентрацію нормальних і зсувних напружень у плиті, довільну схему впливів колісних навантажень для будь-якого типу повітряного судна.

Література

1. Баженов В.А., Цихановський В.К., Кислоокій В.М. Метод скінчених елементів у задачах нелінійного деформування тонких та м'яких оболонки / В.А. Баженов, В.К. Цихановський, В.М. Кислоокій – К.: КНУБА, 2000. – 386с.
2. Шимановський А.В., Цыхановский В.К. Теория и расчет сильно нелинейных конструкций / А.В. Шимановский, В.К. Цыхановский – К.: Сталь, 2005. – 432с.
3. Цихановський В.К., Прусов Д.Е. Метод скінчених елементів у задачах дослідження неоднорідного півпростору з урахуванням геометричної і фізичної нелінійності // Сб., „Опір матеріалів і теорія споруд”. – К.: КНУБА, 2004. – С.87-98.
4. Цихановський В.К., Прусов Д.Е. Метод скінчених елементів в задачах рівноваги півпростору при взаємодії ґрунтового масиву з огорожуючими

конструкціями / В.К. Цихановський, Д.Е. Прусов // Промислове будівництво та інженерні споруди. Київ, УкрНДІПСК, № 4, 2009. – С.38-44.

5. Прусов Д.Е., Хріптулова О.В. Проблеми уточнених методів розрахунку конструкцій укріплень ґрунтових масивів, огорожі котлованів та їх вплив на оточуючу забудову при наявності слабких прошарків ґрунтів / Д.Е. Прусов, О.В. Хріптулова // Будівництво України. – 2008.– №1. – С.34-36.

6. Прусов Д.Е. Аналіз рівнянь рівноваги дискретної розрахункової моделі ґрунтового півпростору / Д.Е. Прусов // Вісник НАУ, №3, 2009. - С.125-130.

7. Цытович Н.А., Тер-Мартirosян З.Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве/Н.А. Цытович, З.Г. Тер-Мартirosян–М.: Высш.шк., 1981. – 317с.

Аннотация

Рассматриваются основы методологии исследования напряженно-деформированного состояния подземных объектов и защитных сооружений аэродромов в сложных инженерно-геологических условиях Украины. Оценка влияния грунтовой основы на напряженно-деформированное состояние объектов аэропортов и проблемы уточненных методов определения устойчивости грунтового массива при наличии слабых слоев грунтов.

Ключевые слова: аэродромы, заглубленные объекты, напряженно-деформированное состояние.

Annotation

The Impact Assessing of the Soil Beddings on the Stress-Strain State of Airports Facilities and Problems of Refined Determining Methods of the Soil Mass Stability in the Presence of Weak Soil Layers.

The basis of the research methodology of the stress-strain state of underground facilities and defense airfields structures are considered in difficult geological conditions of Ukraine.

Keywords: airfields, underground objects, the stress-strain state.