

УДК 625.717.02(045)

П.В. Степаненко, асп.

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ ШТУЧНИХ ПОКРИТТІВНАУ, кафедра комп'ютерних технологій будівництва
E-mail: Veruhsy@mbox.com.ua*Запропоновано базовий алгоритм автоматизованого вирішення задач проектування штучних покриттів з використанням методів теорії пружності та будівельної механіки.**The task is put: to offer base algorithm of the automated decision of group of problems on designing artificial coverings, with use a methods of the theory of elasticity and building mechanics.***Постановка проблеми**

Дослідні дані досить точно підтверджують деякі результати розрахунків відомих методів проектування та визначення параметрів напружено-деформованого стану штучних покриттів, а також програмні комплекси, що використовують визначені числові методи. Проте проблема створення програмного комплексу, що використовував би декілька методів одночасно і вирішував би одну задачу не однобічно (з одночасним використанням постановки із різними гіпотезами роботи досліджуваного об'єкта), залишається актуальною.

Аналіз досліджень та публікацій

Відомо декілька основних напрямів розрахунку багат шарових покриттів.

Перший напрям полягає в розробленні математичної моделі роботи аеродромних покриттів у межах уточнених «некласичних» теорій згину пластин на пружній основі, досліджуваних Е.І. Григолоюком [1].

Другий напрям з розробки нормативного методу розрахунку містить в собі частинні реалізації просторових задач теорії пружності.

Ці два напрями дають змогу брати до уваги роботу всіх шарів покриття з урахуванням всіх деформацій здвигу та обтиснення.

Проте на практиці при вирішенні задач роботи конструкції з урахуванням реального розташування швів у шарах покриття виникають труднощі.

Третій напрям розрахунку багат шарових покриттів полягає в спрощенні модельної передумови для описання роботи шарів та врахуванні максимальної кількості конструктивних особливостей та умов роботи.

За цим напрямом розвивають методи Ю.Н. Жомочкін, М.Я. Штаерман [2].

Предмет та мета дослідження

Штучне багат шарове покриття разом із стискаємою товщею ущільненої основи є об'єктом дослідження.

Предметом дослідження є сукупність методів теорії пружності та будівельної механіки, що об'єднуються в єдиний алгоритм розрахунку, який спочатку є базовим для створення повного розгалуженого алгоритму програми.

Мета цієї статті – створення алгоритму розрахунку багат шарового покриття з урахуванням деформаційних швів та використанням у числовому методі однозначної розрахункової схеми.

Основні положення методу вирішення задачі

Для знаходження деформацій і внутрішніх зусиль та побудови графіку їх зміни по площині плити використовується метод функціональних переривників Герсеванова [3] для решітчастих плит або перехресних балок на пружній основі. Для отримання простого та зручного розв'язання загальних формул поставлена умова, що пружна лінія балки, яка прогнулась та поверхня ґрунту, яка просіла, приблизно збіглися. У цьому методі використані рівняння плоскої задачі теорії пружності.

Диференціальне рівняння пружної лінії балки має вигляд

$$EJ \frac{d^4 y}{dx^4} + p_x = \psi_x, \quad (1)$$

де EJ – жорсткість балки; y – вертикальне переміщення нейтральної осі балки; p_x – розподілена реакція з боку основи; ψ_x – задане активне навантаження.

Реакція основи на балку задається у вигляді алгебричної функції:

$$p_x = a_0 + \frac{2a_1}{L} \left(x - \frac{L}{2} \right) + \frac{4a_2}{L^2} \left(x - \frac{L}{2} \right)^2 + \frac{8a_3}{L^3} \left(x - \frac{L}{2} \right)^3,$$

де L – довжина балки; a_1, a_2, a_3 – невідомі параметри, величини яких залежать від жорсткості балки, її довжини, модуля деформації пружної основи, характеру навантаження та його розташування.

Для знаходження рівняння прогину осі балки рівняння (1) інтегрується чотири рази. У результаті, якщо взяти загальний випадок, коли на балку діють всі види навантаження і загальна функція зовнішнього завантаження має вигляд

$$\psi_x = \sum \Gamma_{l_{Hi}}^{l_{ki}} f(z) + \sum \Gamma_{l_{2i}}'' M_i + \sum \Gamma_{l_{3i}}' P_i,$$

де ψ_x – функція повного навантаження; $\Gamma_{l_{Hi}}^{l_{ki}}$ – двобічний переривник; l_{Hi} – відстань від лівого кінця балки до початку розподіленого навантаження; $f(z)$ – будь-яке розподілене навантаження; $\Gamma_{l_{2i}}''$ – миттєвий переривник другого порядку; M_i – згинальний момент; $\Gamma_{l_{3i}}'$ – миттєвий переривник першого порядку; P_i – зосереджена сила. Тоді вкінці інтегрування отримаємо вісім невідомих – чотири параметри a_1, a_2, a_3, a_4 та чотири вільні константи інтегрування D_0, D_1, D_2, D_3 , для визначення яких необхідно скласти вісім додаткових рівнянь: два рівняння із умови рівняння балки ($\sum Y = 0, \sum M_c = 0$), два рівняння на основі граничних умов та останні чотири на основі таких припущень, що під час деформування балка під навантаженням по всій довжині знаходиться в контакт з основою. Проте для отримання більш простого та зручного розв’язання використовуємо такі умови:

- 1) рівність прогинів балки та ґрунту на лівому кінці балки;
- 2) рівність ординат обох кривих у середині балки;
- 3) рівність площ, утворених ординатами обох ліній деформацій;
- 4) рівність трьох похідних обох функцій прогинів у середині балки.

Якщо в будь-якій точці балка відстане від ґрунту, тобто порушиться контакт балки із основою та з’являться від’ємні ординати реакцій ґрунту, то для усунення цього результату необхідно змінити або розрахункову схему, або показник гнучкості α та по-новому визначити параметри a_1, a_2, a_3, a_4 , при яких не буде відбуватися відставання балки від ґрунту.

Розрахунок штучного покриття виконується в декілька етапів залежно від кількості жорстких (бетонних) та нежорстких шарів. Спочатку розглядається робота всього покриття (всі жорсткі шари розглядаються не окремо, а як одна суцільна плита) як плити на пружній основі для знаходження стискаємої товщі ґрунту. Потім розглядається окремо кожний i -й жорсткий шар покриття, причому шар штучної основи, що лежить на природній основі, розглядається як плита на пружній основі. Навантаження передається від верхніх шарів покриття на нижні як розподілене по площині плити, за законом, що визначається залежно від реакції стискаємої товщі на верхній шар $p_i(x)$.

У зазначеному методі, як і при розрахунку перекриття, плита розбивається на характерні балки, що перетинаються між собою у декартовій системі координат (рис. 1).

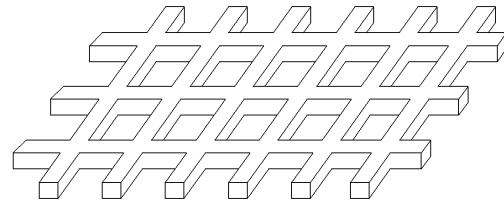


Рис. 1. Розбиття плити на балки

Нехай на цю систему балок діє зосереджене навантаження (кількість точок прикладання та значення навантаження залежить від кількості шасі та тиску на основній опорі літака), що прикладене до вузлів перетину балок. Тоді задане навантаження зумовлює реактивний опір ґрунту.

Одночасно перехресні балки тиснуть одна на іншу у вузлах їх перетину $11, 21, \dots, mn$.

Вузлові сили $N_{11}, N_{21}, \dots, N_{mn}$ (навантаження) в цих самих вузлах спричиняють в балках, паралельних осі Ox , невідомі сили $Y_{11}, Y_{21}, \dots, Y_{mn}$, а на балках, паралельних осі Oz – невідомі сили $Y'_{11}, Y'_{21}, \dots, Y'_{mn}$.

При розрахунку спочатку необхідно знайти невідомі сили $Y_{11}, Y_{21}, \dots, Y_{mn}$. Щоб отримати зручне для практики рішення, припускається, що перехресні балки у вузлах їх перетину не мають жорстких з’єднань. Тому, нехтуючи крученням балок, залишається стільки рівнянь сумісності лінійних деформацій, скільки маємо вузлів перетину балок:

$$\left\{ \begin{aligned} \lambda_{1n} \sum_{i=1}^{i=m-(1n)} y_{3(in)X_n} Y_{in} + \sum_{j=1}^{j=n-(1n)} y_{3(j)Z_2} (Y_{1j} - N_{1j}) &= 0; \\ \lambda_{2n} \sum_{i=1}^{i=m-(2n)} y_{3(in)X_n} Y_{in} + \sum_{j=1}^{j=n-(2n)} y_{3(j)Z_2} (Y_{2j} - N_{2j}) &= 0; \\ &\dots\dots\dots \\ \lambda_{mn} \sum_{i=1}^{i=m-(mn)} y_{3(in)X_n} Y_{in} + \sum_{j=1}^{j=n-(mn)} y_{3(j)Z_m} (Y_{mj} - N_{mj}) &= 0, \end{aligned} \right.$$

де λ – величина, яка залежить від жорсткості балки та її геометричних характеристик; $\bar{y}_{3(in)}^{(mn)}$ – величина, що залежить від геометричних характеристик перерізів балок та є табличною величиною.

Після знаходження невідомих сил, використовуючи метод функціональних переривників Герсванова, розглядають окремо кожну балку, для якої будують епюри внутрішніх зусиль та переміщень.

Після побудови епюр для кожної балки за необхідності робиться просторова апроксимація для побудови просторової епюри (рис. 2).

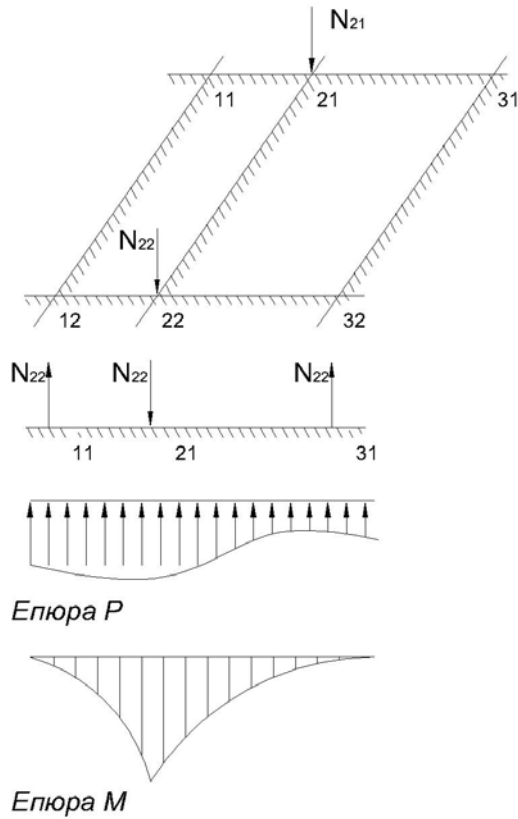


Рис. 2. Приклад застосування методу функціональних переривників Герсеванова

Головною перевагою методу функціональних переривників Герсеванова є те, що він дозволяє враховувати зміну жорсткості природної основи та неоднорідну жорсткість плити покриття, що зумовлено можливим ремонтом чи руйнуванням бетону, який локально змінює жорсткість, та однозначність вибору розрахункової схеми, що моделює роботу покриття.

У разі зображення несучої здатності за допомогою методу PCN-ACN, навантаження на яке розраховується, покриття (подвійне еквівалентне навантаження) переводиться за допомогою приведенного радіуса відбитку шасі на покриття у вузлове навантаження.

Розрахункове навантаження F_d на колесо основної опори літака (рис. 3) і радіус кола R_e , який дорівнює площі відбитку пневматика колеса на покриття, визначаються зі співвідношень [4]:

$$F_d = \frac{F_n}{n_k} k_d \gamma_f ;$$

$$R_e = \sqrt{\frac{F_d}{\pi p_\alpha}} ,$$

де n_k – кількість коліс на основній опорі тиск у пневматику розрахункового типу літака; k_d, γ_f – коефіцієнти, що залежать від ділянок покриття, на яких проводиться розрахунок.

Після знаходження переміщень в кожному i -му шарі застосовуємо принцип суперпозиції.

Таким чином, є можливість врахування однобічного зв'язку, тобто врахування неоднотимчасного переміщення сусідніх шарів.

Якщо завантажений деформаційний (технологічний) шов, що не збігається зі швом нижче лежачого шару, використовується випадок спирання решітчастої плити на нерухомі опори [3].

У цьому випадку, крім сил, що діють між балками із-за їх взаємного тиску, необхідно враховувати реакції на кінцях балок, де знаходяться опори. Врахування цих сил (реакцій) необхідне для врахування відсутності на стику зусиль між сусідніми плитами, що призводить до зосередженого тиску. Тим самим враховується наявність швів.

Цей метод в результатуючому розрахунку оперує системою лінійних алгебричних рівнянь, що дає змогу автоматизувати вирішення поставленої задачі.

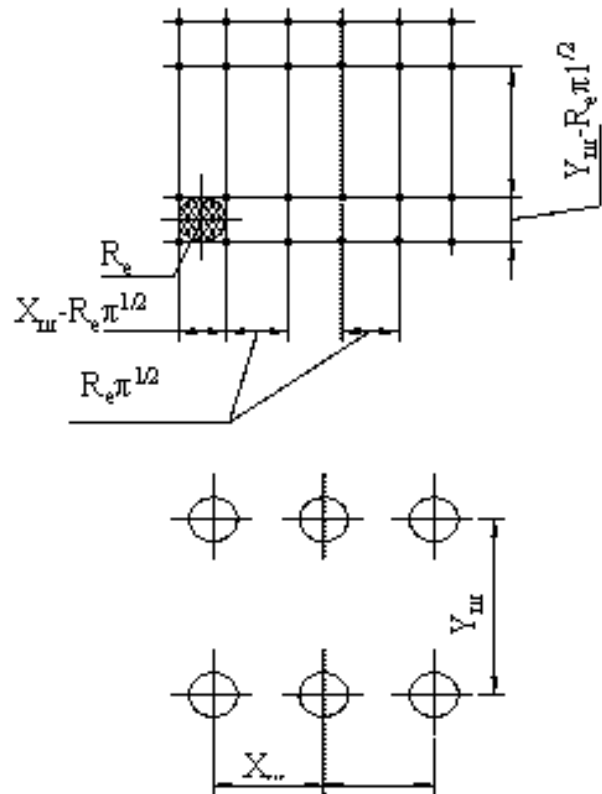


Рис. 3. Приклад збирання навантаження від шасі на покриття

В основу програми, що використовує цей метод, можна запропонувати алгоритм, показаний на рис. 4.

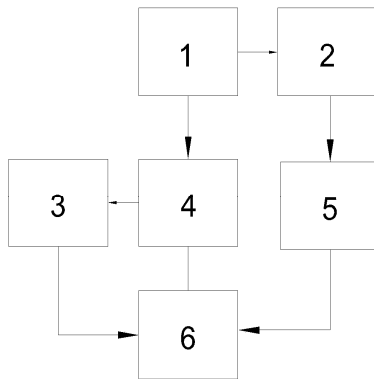


Рис. 4. Загальний вигляд базового алгоритму:
 1 – стадія введення до програмного комплексу вхідних даних – параметрів і характеристик покриття, моделі та класу літака; 2 – база даних літаків та їх розрахункових параметрів; 3 – база зведених значень параметрів розрахункової матриці рівнянь; 4 – складання розрахункової схеми верхнього та підстиляючих шарів; 5 – визначення розрахункового навантаження від літака та складання ACN-коду літака та подальшого порівняння з PCN, що буде отримано в кінці; 6 – розв’язок системи лінійних алгебричних рівнянь та знаходження перерізів з максимальними переміщеннями, та складання коду PCN

Аналізуючи розрахункову схему запропонованого методу, можна помітити деяку схожість із методом скінченних елементів, що лежить в основі багатьох програмних комплексів.

Це дає змогу використати метод скінченних елементів для тестової задачі, а також для знаходження деформаційної границі, в межах якої для того чи іншого випадку поширюються та існують деформації.

Висновки

Запропоновано використовувати відомий метод переривників Герсванова для розрахунку штучного покриття. При цьому кожний шар всього покриття розглядається окремо. А за розрахункову схему взято решітчасту плиту на пружній основі у вигляді балок, що перетинаються. Наведено базовий алгоритм автоматизованого рішення групи задач з проектування штучних покриттів з використанням методів теорії пружності та будівельної механіки.

Робота виконана під керівництвом доктора технічних наук Ю.В. Верюжського.

Література

1. *Аэродромные покрытия. Современный взгляд* / В.А. Кульчицкий, В.А. Макагонов, Н.Б. Васильев и др. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 32 с.
2. *Кузнецов В.Н.* Упругое основание. – Л.: Высш. шк., 1983. – 368 с.
3. *Симвулиди И.А.* Расчет инженерных конструкций на упругом основании. – 3-е изд. испр. и доп.: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1973. – 24 с.
4. *СНиП 2.05.08-85.* Аэродромы / Госстрой СССР. – М.: ЦНТП Госстроя СССР, 1985. – 59 с.

Стаття надійшла до редакції 03.07.06.