

Література

1. ISO 14001:2004. Системи менеджменту навколишнього середовища. Вимоги і настанови із застосування.
2. Горідько Н.М., Боціон А.П. До оцінювання ефективності проектів екологічного управління. Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2009. – Випуск 18. – с. 230-234.
3. Кобзиста О.П, Боціон А.П, Горідько Н.М. Особливості системи екологічного менеджменту для вищого навчального закладу / Збірник тез доповідей Дев'ятої щорічної Всеукраїнської наукової конференції. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Частина 1. – 188 с. – С. 113-114.

УДК 621.879.44

ЧИСЕЛЬНИЙ АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ДВОХ ПЛОСКИХ ШТАМПІВ З СЕРЕДОВИЩЕМ ПІД ЧАС ОБТИСКУВАННЯ ГРУНТУ ПІД ТРУБОПРОВОДОМ

Кузьмінець М. П., кандидат технічних наук

Постановка проблеми. Для забезпечення незмінного положення трубопроводу на лінії вихідного залягання, під час реалізації нової технології капітального ремонту магістральних трубопроводів – «без підйому труби та зупинки перекачування нафти» [1], виникає необхідність у засипанні ґрунту під тіло відремонтованої труби. Засипаний ґрунт під трубопровід є розпушеним і не має достатньої несучої здатності, тому його необхідно ущільнити до необхідного ступеню з метою виключення порожнин під трубою і її осідання в процесі експлуатації. Адаже не належне забезпечення несучої спроможності насипних фундаментів трубопроводів може призвести до руйнування труби та серйозних технологічних і екологічних наслідків.

Аналіз досліджень. Останнім часом на кафедрі дорожніх машин у рамках держбюджетної теми № 64 «Дослідження раціональних параметрів та створення робочого обладнання для ущільнення ґрунту під промисловими трубопроводами під час їхнього капітального ремонту», виконувалася низка теоретичних та експериментальних досліджень пов'язаних з: обґрунтуванням факторів, що впливають на процес ущільнення ґрунту під трубопроводом; розробкою методики побудови математичних моделей визначення напруженого стану ґрунту під трубопроводом на основі чисельних експериментів з використанням методу скінченних елементів. Подібна задача ставиться вперше, оскільки вона зумовлена новими, специфічними умовами виконання земляних робіт [1].

Мета дослідження. Розробити чисельний алгоритм моделювання процесу взаємодії двох плоских штампів з середовищем під час обтискування ґрунту під трубопроводом для оцінки стійкості насипних ґрунтових фундаментів промислових трубопроводів.

Задачі дослідження: - скласти розрахункову схему для оцінки напружено-деформованого стану (НДС) ґрунту під трубопроводом у процесі його ущільнення двома плоскими поверхнями;
- розробити методику визначення НДС ґрунтового фундаменту трубопроводу;
- навести приклад розв'язку задачі.

Основна частина. *Опис розрахункової схеми.* Для оцінки НДС ґрунту під трубопроводом у процесі його ущільнення двома плоскими поверхнями, що рухаються одна проти одної, розроблено розрахункову схему (рис. 1). При цьому масив ґрунту, що ущільнюють, обмежений зверху твірною труби діаметром D_{mp} та знизу дном траншеї на глибині H від трубопроводу. Оскільки стінки трубопроводу та траншеї мають значно більші модулі пружності, ніж масив ґрунту, що ущільнюють, вони вважаються недеформованими поверхнями. На підставі цього визначено граничні умови переміщення ґрунту перпендикулярно до недеформованих поверхонь труби та стінок траншеї. Для діаметра трубопроводу $D_{mp} = 1220$ мм висота ґрунтового масиву становитиме $H = 820$ мм; геометричні розміри траншеї $h = 3000$ мм, $b_s = 4400$ мм, $b_n = 2620$ мм; рівень засипання ґрунту $h_3 \leq H + 0,5D_{mp}$. Розв'язок буде виконано у плоскій постановці через визначення напружень $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ в ґрунтовому фундаменті під трубою методом скінченних елементів [2]. *Методика визначення НДС ґрунтового фундаменту.* Розглянемо методику визначення переміщень, деформацій та напружень, що базується на засадах теорії пружності на прикладі одного із скінченних елементів, на які розбитий ґрунтовий фундамент (див. рис. 1). Для вирішення задачі у плоскій постановці застосуємо трикутний симплекс-елемент з шістьма компонентами вузлових переміщень (рис. 2).

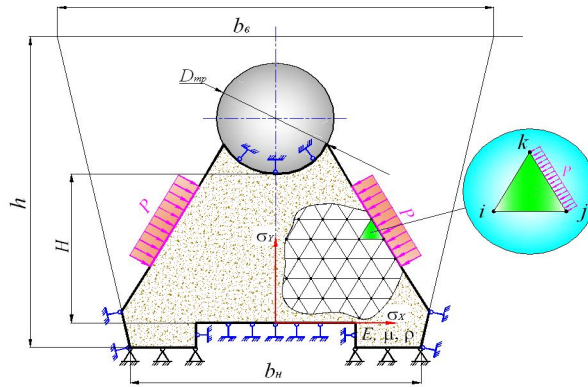


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення НДС ґрунтового масиву під трубопроводом

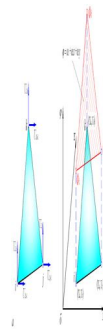


Рис. 2. Компоненти переміщення та форми для вузлів плоского скінченного елемента

Переміщення u та v в середині елемента описуються залежністю:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 & N_j & 0 & N_k & 0 \\ 0 & N_i & 0 & N_j & 0 & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{2i-1} \\ U_{2i} \\ U_{2j-1} \\ U_{2j} \\ U_{2k-1} \\ U_{2k} \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

де N_i , N_j та N_k – функції форми відповідно точок i , j та k (рис. 2 б).

Оскільки розв'язуємо задачу у переміщеннях, то невідомі значення переміщень апроксимуються вузловими значеннями та функціями форми. Якщо функції форми збігатимуться з функціями, введеними для описування геометрії елементарно такі елементи є ізопараметричними.

Вузлові значення скалярної величини φ (рис. 2 б) позначимо через Φ_i , Φ_j , та Φ_k , а координатні параметри трьох вузлів – через (X_i, Y_i) , (X_j, Y_j) , (X_k, Y_k) . Причому в даній задачі нумерація вузлів прийнята починаючи з довільного i -го вузла – проти часової стрілки. Інтерполяційний поліном має вигляд:

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y. \quad (2)$$

У вузлах виконуються наступні умови:

$$\begin{aligned} \varphi &= \Phi_i & \text{при} & \quad x = X_i, \quad y = Y_i; \\ \varphi &= \Phi_j & \text{при} & \quad x = X_j, \quad y = Y_j; \\ \varphi &= \Phi_k & \text{при} & \quad x = X_k, \quad y = Y_k. \end{aligned}$$

Підставивши отримані умови у (2) отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{aligned}\Phi_i &= \alpha_1 + \alpha_2 X_i + \alpha_3 Y_i; \\ \Phi_j &= \alpha_1 + \alpha_2 X_j + \alpha_3 Y_j; \\ \Phi_k &= \alpha_1 + \alpha_2 X_k + \alpha_3 Y_k.\end{aligned}\quad (3)$$

Розв'язок (3) дасть:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \frac{1}{2A} [(X_j Y_k - X_k Y_j) \Phi_i + (X_k Y_i - X_i Y_k) \Phi_j + (X_i Y_j - X_j Y_i) \Phi_k]; \\ \alpha_2 &= \frac{1}{2A} [(Y_j - Y_k) \Phi_i + (Y_k - Y_i) \Phi_j + (Y_i - Y_j) \Phi_k]; \\ \alpha_3 &= \frac{1}{2A} [(X_k - X_j) \Phi_i + (X_i - X_k) \Phi_j + (X_j - X_i) \Phi_k].\end{aligned}$$

Визначник системи зв'язаний з площею A трикутника співвідношенням:

$$\begin{vmatrix} 1 & X_i & Y_i \\ 1 & X_j & Y_j \\ 1 & X_k & Y_k \end{vmatrix} = 2A. \quad (4)$$

Підставивши значення α_1 , α_2 та α_3 в (2), стало можливим перетворити вираз для φ до вигляду:

$$\varphi = N_i \Phi_i + N_j \Phi_j + N_k \Phi_k = [N] \{\Phi\}, \quad (5)$$

де $[N] = N_i N_j$ – матричний рядок; $\{\Phi\} = \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \end{Bmatrix}$ – вектор-стовбець.

Отже співвідношення (5), що визначає елемент, вміщує три функції форми, по одній для кожного вузла, де:

$$\begin{aligned}N_i &= \frac{1}{2A} [\alpha_i + b_i x + c_i y] \quad \text{та} \quad \begin{cases} \alpha_i = X_j Y_k - X_k Y_j; \\ b_i = Y_j - Y_k; \\ c_i = X_k - X_j; \end{cases} \\ N_j &= \frac{1}{2A} [\alpha_j + b_j x + c_j y] \quad \text{та} \quad \begin{cases} \alpha_j = X_k Y_i - X_i Y_k; \\ b_j = Y_k - Y_i; \\ c_j = X_i - X_k; \end{cases} \\ N_k &= \frac{1}{2A} [\alpha_k + b_k x + c_k y] \quad \text{та} \quad \begin{cases} \alpha_k = X_i Y_j - X_j Y_i; \\ b_k = Y_i - Y_j; \\ c_k = X_j - X_i. \end{cases}\end{aligned}$$

Визначимо значення N_i в i -му вузлі:

$$N_i = \frac{1}{2A} [\alpha_i + b_i x + c_i y] = \frac{1}{2A} [X_j Y_k - X_k Y_j + Y_j X_i - Y_k X_i + X_k Y_i - X_j Y_i].$$

Вираз в дужках є величиною визначника в формулі (4), тому у вузлі з номером i : $N_i = \frac{1}{2A} (2A) = 1$.

Також слід відмітити, що N_i у вузлах j та k рівні нулю рис. 3. Функції форми N_j та N_k поводять себе аналогічно.

Наступним етапом будемо вважати, що розглянута область розташована у площині xu , та введемо наступні ком-поненти НДС: $\{\sigma\}^T = [\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \tau_{xy}]$ та $\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \gamma_{xy}]$. Для плоского напруженого стану, який зустрічається у багатьох тонких тілах, маємо $\sigma_{xx} = \tau_{xx} = \tau_{xy} = 0$. Компоненти тензора деформації γ_{yx} та γ_{xy} також дорівнюють нулю, але ε_{xz} відрізняється від нуля та може бути отримана з закону Гука, після того як визначені $\{\sigma\}$ та $\{\varepsilon\}$.

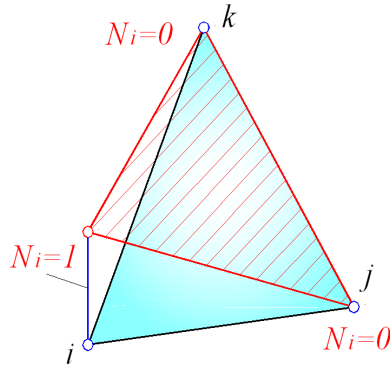


Рис. 3. Графік зміни функції форми N_i

Плоский деформований стан має місце, коли компоненти деформації в напрямку осі z дорівнюють нулю ($\varepsilon_{zz} = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$). Компоненти тензора напружень τ_{xy} та τ_{yx} також дорівнюють нулю при плоскій деформації, але σ_{xx} відрізняється від нуля та вираховується за допомогою закону Гука після того, як визначені $\{\sigma\}$ та $\{\varepsilon\}$.

$$\{\sigma\} = \{E\}\{\varepsilon\}. \quad (6)$$

Співвідношення зв'язку між деформаціями та переміщеннями у двовірному випадку мають вигляд:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x},$$

або з урахуванням (1)

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_k & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_k \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_k & b_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{2i-1} \\ U_{2i} \\ U_{2j-1} \\ U_{2j} \\ U_{2k-1} \\ U_{2k} \end{Bmatrix}. \quad (7)$$

Співвідношення (7) визначають матрицю градієнтів $[B]$, оскільки $\{\varepsilon\} = [B]\{U\}$. Тепер є майже все необхідне для виведення рівнянь, що визначають елемент. Залишилось тільки записати матрицю пружних характеристик $[D]$. У випадку плоского напруженого стану маємо (8), плоскої деформації (9)

$$[D] = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\mu)/2 \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$[D] = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \begin{bmatrix} 1 & \mu/(1-\mu) & 0 \\ \mu/(1-\mu) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\mu)/2(1-\mu) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Формули (8) та (9) відповідають ізотропному матеріалу з модулем пружності E та

коефіцієнтом Пуассона μ . Інтеграл, на основі яких складаються рівняння, що визначають елемент, легко обчислюються, оскільки матриці $[B]$ та $[D]$ містять лише константи. Обчислимо об'ємний інтеграл, який представляє матрицю жорсткості:

$$[k^{(e)}] = \int_V [B]^T [D][B] dV = [B]^T [D][B] \int_V dV, \text{ або } [k^{(e)}] = [B]^T [D][B] tA. \quad (10)$$

Тут t – товщина елемента, A – його площа. Загальний вираз для матричного добутку $[B]^T [D][B]$ не наведено внаслідок його громіздкого запису. Звичайно чинять так: Визначають числові значення коефіцієнтів матриць $[B]$ та $[D]$, а потім ЕОМ виконує вказане перемноження матриць.

Об'ємний інтеграл від об'ємних сил аналогічний інтегралу: $\int_V [N]^T \{Q\} dV$. Тут матриця $[N]^T$ складається з двох стовпчиків, оскільки є дві об'ємні сили. Підставляючи $[N]^T$ та застосовуючи L -координати, отримуємо:

$$\int_V \begin{bmatrix} N_i & 0 \\ 0 & N_i \\ N_j & 0 \\ 0 & N_j \\ N_k & 0 \\ 0 & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathfrak{N} \\ \emptyset \end{Bmatrix} dV = \frac{V}{3} \begin{Bmatrix} \mathfrak{N} \\ \emptyset \\ \mathfrak{N} \\ \emptyset \\ \mathfrak{N} \\ \emptyset \end{Bmatrix}. \quad (11)$$

Розглядаючи окремо кожен із сторін елемента, можна записати три різних значення – це і буде інтеграл від поверхневих навантажень. Передбачивши, що збоку між вузлами i та j діють рівномірно розподілені навантаження інтенсивністю p_x паралельно осі x та інтенсивності p_y паралельно осі y , отримаємо:

$$\int_S [N]^T \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix} dS = \int_V \begin{bmatrix} N_i & 0 \\ 0 & N_i \\ N_j & 0 \\ 0 & N_j \\ N_k & 0 \\ 0 & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix} dS = \int_{S_{ij}} \begin{bmatrix} L_1 & 0 \\ 0 & L_1 \\ L_2 & 0 \\ 0 & L_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix} dS = \frac{S_{ij}}{2} \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_x \\ p_y \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (12)$$

де S_{ij} - площа поверхні сторони елемента між вузлами i та j , $S_{it} = t\alpha_{ij}$. Компоненти результуючої сили в напрямку координатних осей x та y дорівнюють відповідно $p_x S_{ij}$ та $p_y S_{ij}$. Як видно з формул (12), на кожен із розглянутих вузлів припадає по половині кожної компоненти результуючої сили.

Отже на основі співвідношень (10...12) будуються рівняння, які визначають елемент трикутної форми з ізотропного матеріалу. Обчислення матриць елемента ілюструється на прикладі (рис. 4).

Приклад розв'язку задачі. Потрібно вивести рівняння, які визначають елемент для зображеного нижче елемента у випадку плоского напруженого стану, перпендикулярно до сторони jk діє рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю 20 Н/см^2 . Запишемо матрицю градієнтів:

$$[B] = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_k & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_k \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_k & b_k \end{bmatrix},$$

Де

$$A = (3 \cdot 2) / 2 = 3 \text{ см}^2,$$

$$b_i = Y_j - Y_k = -3, c_i = X_k - X_j = -1;$$

$$b_j = Y_k - Y_i = 3, c_j = X_i - X_k = -1;$$

$$b_k = Y_i - Y_j = 0, c_k = X_j - X_i = 2.$$

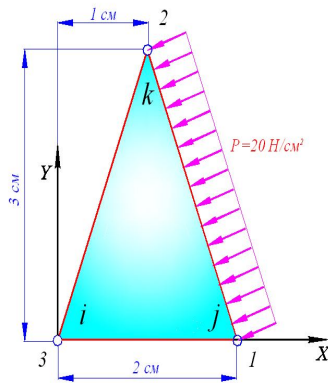


Рис. 4. Розрахункова схема елемента

Підстановка числових значень коефіцієнтів дає матрицю $[B]$ та матрицю пружних констант $[D]$:

$$[B] = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -3 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 2 \\ -1 & -3 & -1 & 3 & 2 & 0 \end{bmatrix},$$

$$[D] = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\mu)/2 \end{bmatrix} = \frac{6 \cdot 10^4}{1-0,25^2} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & 0 \\ 7 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3}{8} \end{bmatrix} = \frac{6,4 \cdot 10^4}{0,8} \begin{bmatrix} 8 & 2 & 0 \\ 2 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}.$$

Запишемо матрицю жорсткості елемента: $[k^{(e)}] = [B]^T [D] [B] tA$, тоді:

$$[B]^T [D] = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -3 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -3 \\ 3 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 3 \\ 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} \frac{6,4 \cdot 10^6}{8} \begin{bmatrix} 8 & 2 & 0 \\ 2 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}, \quad [B]^T [D] = \frac{6,4 \cdot 10^4}{48} \begin{bmatrix} -24 & -6 & -3 \\ -2 & -8 & -9 \\ 24 & 6 & -3 \\ -2 & -8 & 9 \\ 0 & 0 & 6 \\ 4 & 16 & 0 \end{bmatrix}.$$

Повна матриця жорсткості буде мати вигляд:

$$[k^{(e)}] = \frac{tA 6,4 \cdot 10^4}{288} \begin{bmatrix} -24 & -6 & -3 \\ -2 & -8 & -9 \\ 24 & 6 & -3 \\ -2 & -8 & 9 \\ 0 & 0 & 6 \\ 4 & 16 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -3 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 2 \\ -1 & -3 & -1 & 3 & 2 & 0 \end{bmatrix} = 13333 \begin{bmatrix} 75 & 15 & -69 & -3 & -6 & -12 \\ 15 & 35 & 3 & -19 & -18 & -16 \\ -69 & 3 & 75 & -15 & -6 & 12 \\ -3 & -19 & -15 & 35 & 18 & -16 \\ -6 & -18 & -6 & 18 & 12 & 0 \\ -12 & -16 & 12 & -16 & 0 & 32 \end{bmatrix}.$$

Вклад у $\{f^{(e)}\}$ поверхневого навантаження визначається наступним чином. Компоненти повної величини цього навантаження розподіляються порівну між вузлами j та k . Довжина сторони jk дорівнює $\alpha_{jk} = \sqrt{(2-1)^2 + (3-0)^2} = \sqrt{10} = 3,163$, а компоненти зовнішнього поверхневого навантаження по осям x та y дорівнюють відповідно: $p_x = p \cos \theta = 20(3/3,163) = 18,97 \text{ Н/см}^2$, $p_y = p \sin \theta = 20(1/3,163) = 6,32 \text{ Н/см}^2$.

Функція форми N_i обертається в нуль на стороні jk дає $\int [N]^T$, а підставлення p_x , p_y , площі $S_{jk} = 3,163 \cdot 2 = 6,326 \text{ см}^2$ та наступне помноження матриць:

$$\int_S [N]^T \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix} dS = \int_{S_{jk}} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ N_j & 0 \\ 0 & N_J \\ N_k & 0 \\ 0 & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix} dS = \frac{S_{jk}}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}, \quad \text{та} \quad \{f_p^{(e)}\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 60 \\ 20 \\ 60 \\ 20 \end{Bmatrix}.$$

Тепер можна записати повну систему рівнянь для елемента:

$$13333 \begin{bmatrix} 75 & 15 & -69 & -3 & -6 & -12 \\ & 35 & 3 & -19 & -18 & -16 \\ & & 75 & -15 & -6 & 12 \\ & & & 35 & 18 & -16 \\ & & & & 12 & 0 \\ \text{Симетрично} & & & & & 32 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{2i-1} \\ U_{2i} \\ U_{2j-1} \\ U_{2j} \\ U_{2k-1} \\ U_{2k} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -2520 \\ -840 \\ 2580 \\ -820 \\ 60 \\ 1700 \end{Bmatrix}.$$

Вектор-стовбець $\{f^{(e)}\}$ дорівнює сумі $\{f_{th}^{(e)}\} + \{f_p^{(e)}\}$. Існує два способи перевірки правильності складання матриці – вона повинна бути симетричною з додатними коефіцієнтами на головній діагоналі, та сума коефіцієнтів будь якої строки чи стовпця матриці повинна обертатися в нуль. Розв'язавши матрицю отримаємо переміщення за якими легко отримати деформації (7) та напруження (6).

Висновок. Наведено чисельний алгоритм моделювання процесу взаємодії двох плоских штампів з середовищем під час обтискування ґрунту під трубопроводом. Розв'язок задачі навіть для одного елемента досить громіздкий, тому рішення задачі для складної фігури з великою кількістю елементів, доцільно вести машинним способом де реалізовано МСЕ, наприклад ABAQUS, NASTRAN, ANSYS.

Література

1. Кузьминец Н.П. Создание землеройной техники для скоростной технологии капитального ремонта промышленных магистральных трубопроводов // Сб. науч. тр. Владимирского гос. ун-та. Матер. междунар. научно-техн. конф. «Интерстроймех – 2008». – Владимир. – 2008. – С. 229 – 235.
2. Larry J. Segerling. Applied Finite Element Analysis // Jon Wiley and Sons, Ins. New York/London/Sydney/Toronto. 1976. – 195 p.

УДК 656.13

НОВІТНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПІДРАХУНКУ ПАСАЖИРОПОТОКУ

Лабута А.В.

Постановка проблеми. Для визначення кількості рухомих об'єктів існує безліч різних методів і засобів. Щоб правильно зробити вибір обладнання, потрібно зробити їх комплексний аналіз. В статті висвітлені найперспективніші технічні засоби для підрахунку пасажиропотоку.

Ціль статті: Дослідити існуючі технічні засоби підрахунку об'єктів чи людей, які при подальшому технічному вдосконаленні можна адаптувати для підрахунку пасажирів в транспорті.

На даний час існує проблема підрахунку пасажирів при дослідженні пасажиропотоку. Існуючі методи, що застосовуються для підрахунку кількості пасажирів є дуже трудомісткими і потребують залучення великої кількості людей для проведення досліджень. Виходячи з цього, потрібно переходити на автоматизовані методи підрахунку і подальшої обробки даних з залученням мінімальних людських ресурсів. Переглянувши автоматизовані системи підрахунку рухомих об'єктів в різних галузях, можна виділити декілька основних груп, які можна застосовувати для дослідження пасажиропотоків: інфрачервоні датчики, тепловачення, штучний інтелект та комп'ютерний зір. Ці