

АЕРОПОРТИ ТА ЇХ ІНФРАСТРУКТУРА

УДК 625.717.02:539.3

А.А. Белятинський, д.т.н., проф
С.М.Талах, к.т.н., доц.АНАЛІЗ ЧИСЛОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ
ВІД ДІЇ НАДВАЖКОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНАНаціональний авіаційний університет
E-mail: raa-nau@ukr.net

Виконано числові дослідження міцності плит жорстких аеродромних покриттів у просторовій та плоскій постановках задачі для моделювання ґрунтового простору з включенням бетонних шарів. Отримано параметри для удосконалення спрощених математичних моделей інженерних розрахунків.

ґрунтовий простір, жорсткі бетонні покриття, згинальний момент, скінченні елементи, розрахунок на міцність

Постановка проблеми

Зі стрімким зростанням науково-технічного прогресу, удосконаленням методик розрахунків конструкцій, а також невинним зростанням авіаційних вантажоперевезень та зі збільшенням піднімальної ваги повітряних суден (ПС), набуває доцільності можливість уточнення математичних моделей розрахунку та вихідних параметрів, які закладені в чинних нормах проєктування аеродромних покриттів. Прийняті коефіцієнти в СНІП [1] на основі експериментальних досліджень не завжди адекватно враховують нагромадження пластичних деформацій, що виникають під час багаторазового навантаження плит жорстких покриттів, особливо за наявності слабких ґрунтових основ.

Особливої актуальності набули питання дослідження та удосконалення методик розрахунків жорстких аеродромних покриттів з урахуванням впливів сучасних надважких ПС.

У запропонованій методиці розглядається плоска задача дослідження напружено-деформованого стану (НДС) півпростору під час взаємодії покриття з ґрунтовою основою, при цьому у постановці задачі враховуються геометрична та фізична нелінійність. Математичну модель стійкості ґрунтового півпростору з врахуванням фізичної нелінійності побудовано на основі розширеного критерію Мізеса та критерію Кулона – Мора з урахуванням параметра Лоде – Надаї [2].

Розроблення уточнених методів розрахунку аеродромних покриттів на основі граничного стану за міцністю, допустимих пружних прогинів, граничного опору ґрунту на зсув та допустимих напружень на розтяг під час

© А.А. Белятинський, С.М.Талах, 2010

згинання для монолітних шарів покриття обумовлює необхідність розглянути комбінований багатошаровий півпростір покриття при зведенні розв'язку задачі в просторовій постановці до задачі у плоскій постановці. На основі числового методу виконано моделювання багатокільсного впливу від шасі сучасних надважких ПС з адекватним зведенням до еквівалентного смугового навантаження. Під час визначення граничних деформацій всієї багатошаровості з урахуванням граничного опору ґрунту на зсув та допустимих напружень на розтяг в шарах штучної основи враховують розвиток локальних пластичних деформацій. На основі числових експериментів, виконаних за допомогою моментної схеми скінченних елементів, подано рекомендації щодо уточнення коефіцієнтів умов роботи, що дають змогу використовувати інженерні аналітичні методи розрахунку.

Гранична рівновага ґрунту в елементарному околі – скінченному елементі (СЕ), що адекватна такому напруженому стану, за якого невеликий додатковий вплив може порушити рівновагу. Такий напружений стан характеризується ще й тим, що опір зсуву в елементарному околі СЕ має дорівнювати граничному для відповідного типу ґрунту. Такий стан належить до другої фази граничних станів ґрунтів у разі обширного розвитку зсувних деформацій у масиві ґрунту. Числові розв'язки задачі стійкості ґрунтових масивів у цьому випадку виконують на основі запропонованої методики з деякими уточненнями критерію текучості для ґрунтового півпростору [2; 3].

Гранична рівновага ґрунту в елементарному околі (СЕ), що адекватна такому напруженому стану, за якого невеликий додатковий вплив може порушити рівновагу. Такий напружений стан характеризується ще й тим, що опір зсуву в елементарному околі СЕ має дорівнювати граничному для відповідного типу ґрунту. Такий стан належить до другої фази граничних станів ґрунтів у разі обширного розвитку зсувних деформацій у масиві ґрунту.

Аналіз колісного впливу надважкого транспортного ПС Ан-225 «Мрія» на плиту покриття перону

Інженерний (аналітичний) та числовий розрахунки в просторовій постановці задачі з використанням розрахункового фрагмента покриття з 12 плит розмірами 7,5 x 7,5 м співставлено з числовим розрахунком у плоскій постановці задачі комбінованого півпростору, що містить двошарову плиту на жорсткій основі та реальну багатошарову ґрунтову основу.

Фізико-механічні характеристики шарів жорсткого двошарового покриття та пружної основи такі:

- перший верхній шар з важкого бетону марки В40, щільністю $\gamma_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$, розрахунковий опір для граничного стану першої групи

$$R_{bn} = 29,0 \text{ МПа}; R_{bmn} = 2,1 \text{ МПа};$$

- другий середній шар з важкого бетону марки В15, щільністю $\gamma_2 = 2400 \text{ кг/м}^3$, розрахунковий опір для граничного стану першої групи

$$R_{bn} = 11,0 \text{ МПа}; R_{bmn} = 1,15 \text{ МПа};$$

- третій нижній шар – жорстка основа з піско-бетону марки В5 (піскоцементу), щільністю $\gamma_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$, розрахунковий опір для визначення стану першої групи

$$R_{bn} = 3,5 \text{ МПа}; R_{bmn} = 0,55 \text{ МПа}.$$

Початковий модуль пружності при природному твердінні для кожного шару відповідно становить:

$$E_{b1} = 3,6 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \nu_1 = 0,22;$$

$$E_{b2} = 2,3 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \nu_2 = 0,23;$$

$$E_{b3} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \nu_3 = 0,27.$$

На основі дискретної моделі покриття побудовано її еквівалентний аналог (рис. 1) з такими параметрами:

- товщина умовної плити $t_{(e)} = 74 \text{ см}$;

- модуль пружності $E_{(e)} = 3,39 \text{ кгс/см}^2$;

- коефіцієнт Пуассона $\nu_{(e)} = 0,232$;

- середня щільність матеріалу умовної плити $\rho_{cp}^{(e)} = 0,002858 \text{ кг/см}^3$.

Відповідно до геологічного розрізу прийнято еквівалентний постійний коефіцієнт постелі $K_{se} = 4,13 \text{ кгс/см}^3$.

Параметри колісного впливу ПС Ан-225 «Мрія» на плиту жорсткого покриття такі:

- нормативне навантаження на основну опору $F_n = 2766,4 \text{ кН}$;

- кількість коліс на основній опорі $n_k = 14$;

- кількість осей на основній опорі $n_o = 7$;

- відстань між основними опорами $L_o = 7,7 \text{ м}$;

- внутрішній тиск повітря в пневматиці основної опори $p_a = 1,15 \text{ МПа}$;

- відстань між центрами відбитків коліс основної опори $a_T = 1,01 \text{ м}$; $b_T = 1,71 \text{ м}$.

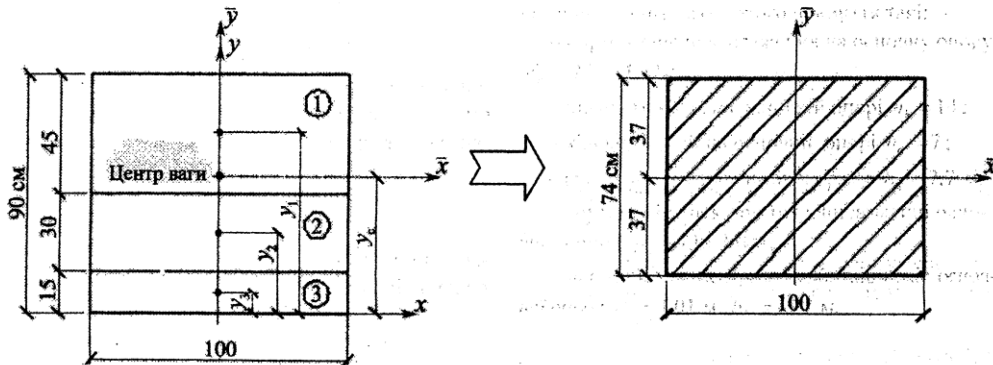


Рис. 1. Редукція перерізу реальної плити до перерізу умовної плити

Вихідні значення параметрів інженерного розрахунку для ПС Ан-225 визначено за формулами, наведеними в роботі [1]:

– розрахункове навантаження на одне колесо
 $F_d = 227,24 \text{ кН};$ (1)

– зведений радіус круглого відбитку пневматика
 $R_c = 0,251 \text{ м};$

– жорсткість перерізу плити верхнього, нижнього шару покриття та жорсткої штучної основи, відповідно

$B_{sup} = 2,351 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{м};$

$B_{inf} = 0,6 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{м};$

$B_f = 0,832 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{м};$

– сумарна жорсткість перерізів умовної плити

$B = 2,96 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{м};$

– пружна характеристика умовної плити

$l = 1,636 \text{ м};$

– параметр α (аргумент функції $f(\alpha)$)
 $\alpha = 0,1534.$

За значенням $\alpha = 0,1534$ визначено

$f(\alpha) = 0,2319$ [2].

З урахуванням зазначених параметрів визначено внески від дії всіх коліс основної опори ПС Ан-225 у функцію погонного згинального моменту.

На рис. 2 пунктиром показано навантаження без урахування коліс, що поза межами плити розміром $7,5 \times 7,5 \text{ м}.$

Значення моментів від коліс ПС зведено до таблиці.

З визначених максимальних погонних згинальних моментів у центральному перерізі плити $m_c(x) = 100,19 \text{ кН}\cdot\text{м}/\text{м}$ та $m_c(y) = 73,38 \text{ кН}\cdot\text{м}/\text{м}$ за розрахунковий беремо більший $m_{c,max} = 100,2 \text{ кН}\cdot\text{м}/\text{м}.$



Рис. 2. Схема навантаження основної опори ПС Ан-225

Моменти від коліс повітряних слен

Номер колеса	$\alpha = \frac{R_c}{l}$	$f(\alpha)$	$\xi = \frac{x_i}{l}$	$\eta_i = \frac{y_i}{l}$	\bar{m}_{xi}	\bar{m}_{yi}
1	0,1534	0,2319	–	–	–	–
2	–	–	0	1,05	0,0510	–0,0024
3	–	–	0	2,09	0,0114	–0,0208
4	–	–	0,62	2,09	0,0093	–0,0196
5	–	–	0,62	1,05	0,0271	0,0003
6	–	–	0,62	0	0,0114	0,0904
7	–	–	0,62	1,05	0,0271	0,0003
8	–	–	0,62	2,09	0,0093	–0,0196
9	–	–	0	2,09	0,0114	–0,0208
10	–	–	0	1,05	0,0510	–0,0024

Числовий варіант розрахунку впливу ПС Ан-225 на жорстке покриття перону у просторовій постановці задачі виконано з урахуванням технічних параметрів ПС Ан-225 – значення відстані між основними опорами під фюзеляжем $L_0 = 7,7$ м та схеми розміщення колісного шасі основної опори (рис. 2).

З урахуванням симетрії (по осі фюзеляжу) побудовано дискретну модель розрахункового фрагменту покриття перону, яка містить шість плит розміром $7,5 \times 7,5$ м кожна.

Еквівалентні дискретні відбитки колісних пневматиків з тиском повітря $P_a = 1,15$ МПа згідно з СЕ-моделлю розміщено симетрично на середній плиті фрагмента (рис. 3).

Десять відбитків містяться на середній плиті, а інші чотири – на двох суміжних плитах (по два на кожній), тобто всього 14 дискретних еквівалентних квадратних відбитків, по чотири СЕ у кожному, з розмірами і значеннями вузлових навантажень відповідно до формул з роботи [4]:

$$a = 25,1\sqrt{\pi} = 44,49 \text{ см.}$$

Для дискретної моделі вважатимемо $a = 44,6$ см; – величини вузлових навантажень дискретної моделі колісного відбитку такі

$$Q_1 = 5718,84 \text{ кН;}$$

$$Q_2 = 2859,42 \text{ кН;}$$

$$Q_3 = 1429,71 \text{ кН;}$$

– навантаження на колесо

$$P = 22875,34 \text{ кН;}$$

$$P = Q_1 + 4Q_2 + 4Q_3 = 22872,36 \text{ кН,}$$

що погоджується зі значеннями (1), різниця становить 0,65%. Дискретна модель побудована так, що основне – ліве середнє колесо збігається з центром середньої плити, тобто забезпечується можливість порівняння аналітичного та числового розрахунків.

Початок сіткових S_1, S_2, S_3 та глобальних координат розрахункового фрагмента $OZ^1Z^2Z^3$ пов'язані з вузлом 1 (нижня обмежувальна поверхня плити):

$$S_1^1 = 1; S_2^1 = 1; S_3^1 = 1;$$

$$Z_1^1 = 0; Z_1^2 = 0; Z_1^3 = 0.$$

Розміри сіткової зони $M1 \times M2 \times M3$ або $2 \times 28 \times 53$, а розміри розрахункового фрагмента 14920×22440 мм. Усього вузлів у СЕ-моделі $N_n = 2968$, що відповідає системі рівнянь рівноваги, кількість яких $k = 8904$ (без урахування в'язів) та кількості СЕ

$$M_{(e)} = (28 - 1) \times (53 - 1) = 1404.$$

Відповідно до прийнятої моделі стикового з'єднання плит покриття в структурі дискретної моделі по краях плит уведено урізи ребра-вставки, фрагменти яких також описуються сітковими координатами S_2, S_3 – усього п'ять фрагментів.

Параметри урізів-вставок у всіх фрагментах одного типу (першого) відповідають значенням параметрів та характеристик матеріалів вставок. Граничні умови – в глобальній системі координат $OZ^1Z^2Z^3$ накладаються кінематичні в'язі:

– за координатною лінією OZ^3 – в'язі на переміщення u_N^2 та кути повороту v_N^2 ;

– за координатною лінією OZ^2 та по краях фрагмента – в'язі на переміщення u_N^3, u_N^2 ;

– з площини плити – спеціальні граничні умови (односторонні в'язі), обумовлені пружною основою.

За результатами числового розрахунку для значень вузлових переміщень та погонних згинальних моментів у характерних перерізах розрахункового фрагмента 1-1, 2-2, 3-3 побудовано епюри переміщень u_N^1 , мм (рис. 4) та погонних згинальних моментів $M_N^{22(33)}$ (рис. 5).

За характером епюр переміщень можна констатувати, що за впливу багатокілісної опори ПС Ан-225 переміщення у межах основної опори (за перерізом 3-3) майже не змінюються та досягають 1,56 мм. Епюра погонних згинальних моментів від багатокілісної опори ПС Ан-225 має прямокутний (суцільний) характер у межах середньої плити та досягає максимуму на колісних парах, розміщених поблизу краю плити: $M_{2149}^{22} = 176,8$ кН·м/м.

Епюра переміщень u_N^1 мм (рис. 4) та погонних згинальних моментів $M_N^{22(33)}$ (рис. 5) у межах основної опори (за перерізом 3-3) майже не змінюються та досягають 1,56 мм.

Епюра погонних згинальних моментів $M_N^{22(33)}$ (рис. 5) у межах основної опори (за перерізом 3-3) майже не змінюються та досягають 176,8 кН·м/м.

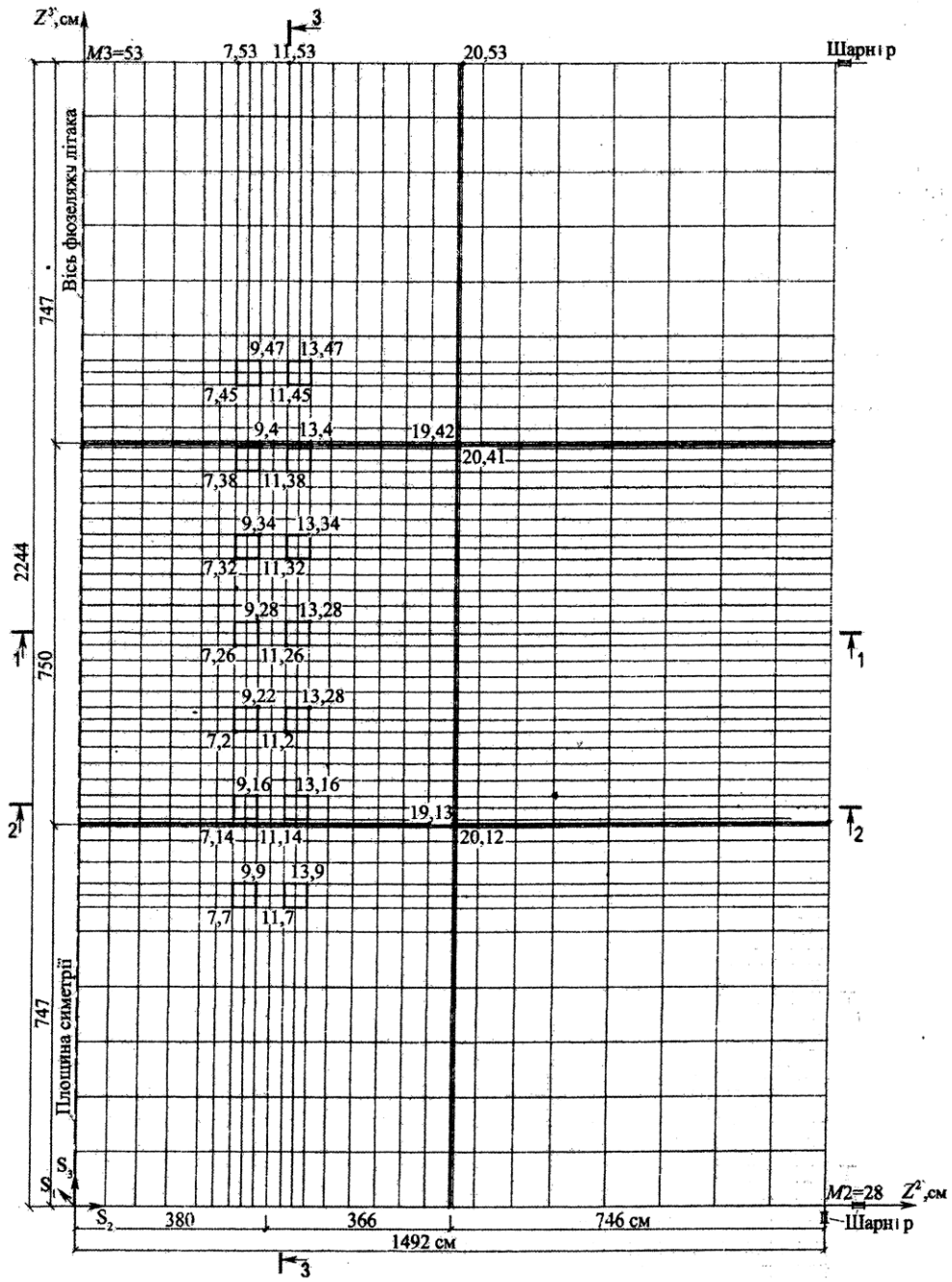


Рис. 3. Розрахункова схема симетричного фрагмента плит покриття відносно осі фюзеляжу ПС Ан-225

Максимальні значення погонних згинальних моментів уздовж поздовжньої осі шасі за перерізом 3-3 однакові від кожної колісної пари ($n_0=1, 2, 5, 6, 7, 10$) та рівні

$$M_{N(1,2,10)} = 167,8 \text{ кН}\cdot\text{м/м}.$$

Бетонне покриття перону нового терміналу в аеропорту Бориспіль задовольняє умови міцності колісному впливі ПС Ан-225. Епюри погонних згинальних моментів (рис. 4 та 5) показано без урахування наскрізних швів між плитами покриття.

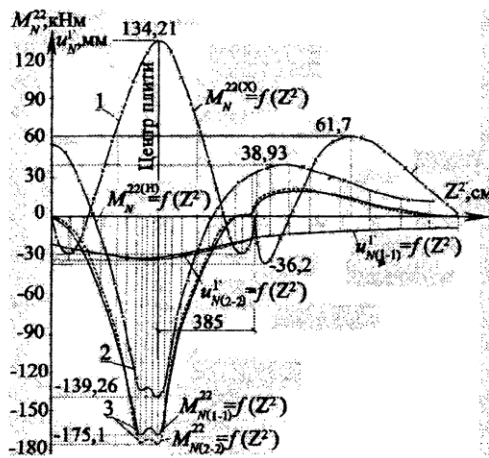


Рис. 4. Епюри переміщень u_N^1 та погонних згинальних моментів M_N^2 , у перерізах 1-1, 2-2 за різних граничних умов та схем навантаження:

1 – під час розміщення опори вздовж поздовжнього шва середньої плити;
2 – за нерозрізною схемою;
3 – за розрізною схемою

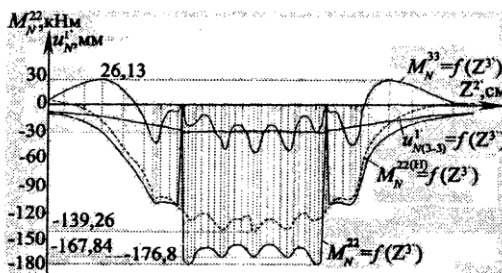


Рис. 5. Епюри переміщень u_N^1 та погонних згинальних моментів M_N^2 у перерізі 3-3

Характер поперечних епюр згинальних моментів (перерізи 1-1, 2-2) для нерозрізної плити істотно змінюється – на осі симетрії виникає згинальний момент з протилежним знаком, а в середньому перерізі згинальний момент знижується до значення

$$M_{1477}^{22(n)} = 139,26 \text{ кН}\cdot\text{м/м}.$$

Ця величина може бути співставлена з аналітичним розрахунком у межах значень рекомендованих граничних коефіцієнтів

$$p = 1,24 - 1,33$$

залежно від міцності ґрунтової основи [4]. У цьому прикладі цей перехідний коефіцієнт становитиме

$$k = \frac{139,26}{100,2} \approx 1,39.$$

Отже, розглянуто варіанти розрахунків плит покриття перону за розрізною і нерозрізною схемами, та варіант з розміщенням колісного шасі на середній плиті розрахункового фрагмента (рис. 3).

Також виконано розрахунок під час зміщення всієї опори вправо вздовж осі OZ^2 так, щоб вісь симетрії колісного шасі між основними опорами збігалася з центром середньої плити розрахункового фрагмента (рис. 4), а колісні пари основних опор розмістились над поздовжніми швами середньої плити.

Для цього була змінена розрахункова схема (з урахуванням симетрії по центру середньої плити) та виконано розрахунок з тією ж величиною навантаження.

Результати показали, що характер розподілення внутрішніх зусиль різко змінився, про що свідчить епюра погонних згинальних моментів зображена на рис. 4 (крива 3).

Найбільша ордината епюри міститься у площині симетрії колісного шасі (по осі фюзеляжу літака) з боку верхньої поверхні плити та досягає $M_{\max(x)}^{22} = 134,21 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ у перерізі 1-1 з боку розтягнутих верхніх волокон (у перерізі 2-2 $M_{\max(x)}^{22} = 141,6 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$).

Згинальний момент проти колісних пар становить $36,2 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$, тобто з боку розтягнутих волокон нижньої поверхні плити.

Таким чином, під час розміщення багатолісних опор з бокових сторін плит виникає найбільший згинальний момент з боку верхньої поверхні плити в середньому перерізі.

Проте це значення згинального моменту не є критичним, виходячи з теорії граничного стану. У цьому випадку критичне розрахункове значення максимального моменту

$$M_{N(2-2)}^{22} = 175,08 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$$

і відповідно визначається граничне значення напруження.

Розглянуто цю задачу в плоскій постановці на основі моделювання комбінованого півпростору.

З цієї метою навантаження багатолінійної опори зведено до адекватного смугового навантаження, його інтенсивність визначено за формулою

$$q_0 = \frac{P}{ab_T}, \quad (2)$$

$$q_0 = \frac{22872,36}{44,6 \cdot 171} \approx 0,3 \text{ МПа},$$

що відповідає коефіцієнту зведення прямокутної поверхні навантаження до смугового, отриманого у перерізі I-I (рис. 3).

Із використанням формули (2) побудовано розрахункову схему комбінованого півпростору одиничної товщини, яка включає жорстке покриття у межах розрахункового фрагмента та активну зону багатощарової ґрунтової основи.

Розрахунковий фрагмент півпростору має розміри:

- ширина 1496 см;
- глибина-висота 674 см;
- товщина - 1 см.

Розміри регулярної сіткової ділянки дорівнюють:

$$S_1 = 2, \quad S_2 = 28, \quad S_3 = 28,$$

тобто дискретна СЕ-модель включає:

$$\text{вузлів } Nu = 2 \times 28 \times 28 = 1568;$$

$$\text{кількість СЕ } ME = (M2 - 1) \times (M3 - 1) = 729,$$

що відповідає кількості рівнянь $k = 1568 \times 3 = 4704$ без урахування в'язів.

Граничні умови розрахункової схеми (рис. 6) такі:

- за площиною симетрії $OZ^1 Z^3$ накладаються в'язі на переміщення та кути повороту в напрямі Z^2 ;
- нижня грань півпростору, нерухомий шарнір моделює межу активної зони ґрунтової основи - накладаються в'язі на вузлові переміщення в напрямі Z^2 і Z^3 ;
- уздовж бокової правої грані рухомий шарнір;
- верхній край вільний.

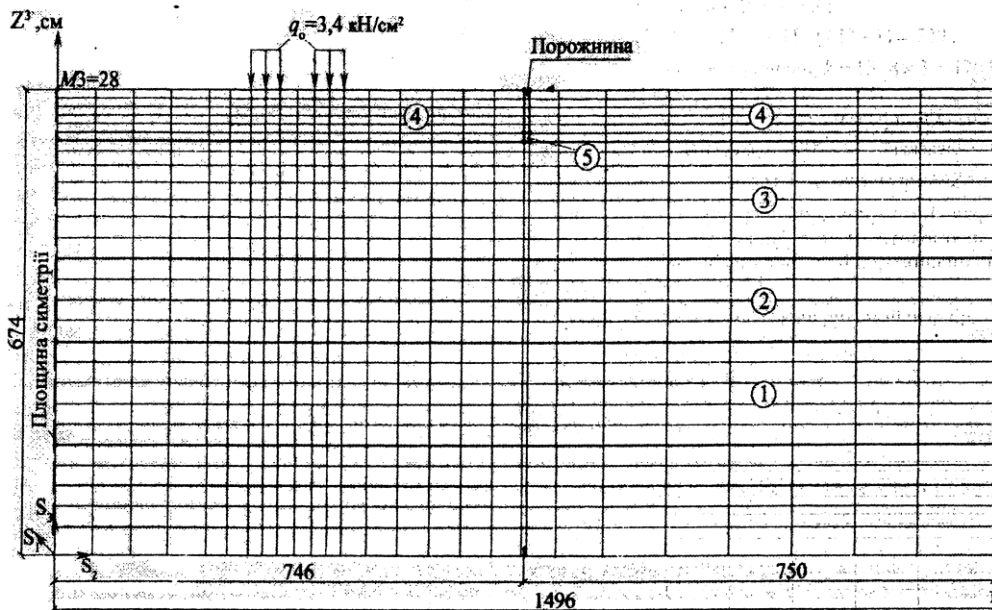


Рис. 6. Розрахункова схема завдання колісної взаємодії ПС Ан-225 на тверде покриття в плоскій постановці

Смугове рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю $3,0 \text{ кгс/см}^2$ прикладено на відстані 380 см від площини симетрії (вісь фіззеляжу Ан-225).

За результатами розв'язку побудовано епюри переміщень та згинальних моментів, що зображено на рис. 7. За характером розподілу зони пружнопластичних деформацій і їх величини відрізняються деякою концентрацією в зоні дії спареного смугового навантаження від головної багатоколісної опори ПС Ан-225.

Також розглянуто варіант зміщення основної опори біля краю середньої плити (до порожнини поздовжнього наскрізного шва – смугове навантаження від колісних пар показано на рис. 7 стрілками пунктиром).

За результатами згинальних моментів побудовано епюру (рис. 7).

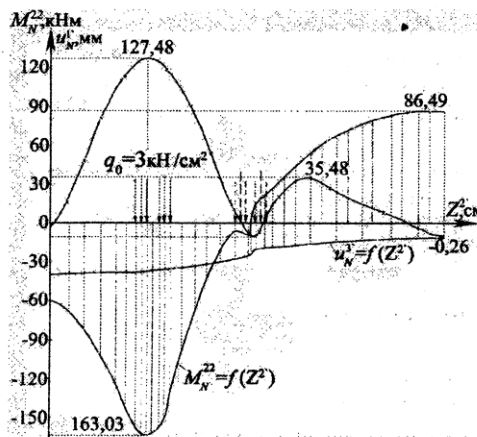


Рис. 7. Епюри переміщень нижньої поверхні плити покриття та погонних згинальних моментів у поперечних перерізах

У разі врахування розвитку пружнопластичних деформацій прогини плит включають складову зміщення плити як жорсткого цілого, що за постійного коефіцієнта постелі в розрахунковому фрагменті майже не впливає на величину погонних згинальних моментів.

Під час порівняння значень погонних згинальних моментів у поперечних перерізах розрахункового фрагмента у разі просторової постановки задачі (рис. 3, переріз 1-1) і вздовж осі OZ^2

(рис. 7) за плоскої постановки задачі отримаємо такий результат за максимальними ординатами відповідних епюр $M_N^{22} \equiv f(Z^2)$:

$$\frac{(16762 - 16303,1)100}{16762} = 2,74\%$$

Якщо порівняти значення від'ємних погонних згинальних моментів (рис. 4 та 7), то можна зробити висновок, що від'ємні моменти M_N^{22} в суміжних ненавантажених плитах досягають значення $86,49 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ у разі центрального розміщення колісних опор, тобто більше на

$$\Delta M_N^{22} = \frac{(8649,1 - 5389,6)100}{8649,1} \approx 37\%$$

ніж за просторової постановки задачі.

У разі розміщення колісних опор біля краю плити характер розподілення внутрішніх зусиль (за згинальними моментами) добре узгоджується за просторовою і плоскою постановками задачі (рис. 4).

За цього значення згинальні моменти з боку верхніх розтягнутих волокон досягають граничних значень, відповідно $134,21 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ і $127,48 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ (різниця всього 5%).

Такий збіг результатів просторової та плоскої постановки задачі можна пояснити тим, що вплив багатоколісної опори ВС Ан-225 фактично відповідає смуговому навантаженню, урахувавшись у плоскій задачі.

Проте ці значення від'ємних моментів зумовлюють допустимі розтягнення верхніх волокон плити покриття і не є критичними.

Висновки

На основі наведеного аналізу рекомендовано вводити коефіцієнти у нормативні аналітичні формули, які враховують розвиток повних пластичних (зсувних) деформацій після певного терміну консолідації і фільтраційного зміцнення активної зони ґрунтової основи (зі збільшенням її активної товщини у 1,5 разу, порівнюючи з вимогами в чинних нормах): у разі визначення згинальних моментів додатковий коефіцієнт становить $k_p = 1,05$ і у разі визначення переміщень – $k_{\delta} = 1,2$.

Під час порівняння значень погонних згинальних моментів у поперечних перерізах розрахункового фрагмента у разі просторової постановки задачі (рис. 3, переріз 1-1) і вздовж осі OZ^2

Література

1. СНиП 2.05.08-85 Аэродромы. – М.: Госкомитет СССР по делам строительства, 1985. – 58 с.
 2. Баженов В.А. Метод скінченних елементів у задачах нелінійного деформування тонких та м'яких оболонок / В.А. Баженов, В.К. Цыхановський, В.М. Кислоокій. – К.: КНУБА, 2000. – 386 с.

3. Шимановский А.В. Теория и расчет сильно-нелинейных конструкций / А.В. Шимановский, В.К. Цыхановский. – К.: Сталь, 2005. – 432 с.

4. Цыхановский В.К. Расчет тонких плит на упругом основании методом конечных элементов / В.К. Цыхановский, С.М. Козловец, А.С. Коряк. – К.: Сталь, 2008. – 234 с.

5. Коренев Б.Г. Расчет плит на упругом основании / Б.Г. Коренев, Е.И. Черниговская. – М.: ГИЛСА и СМ, 1962. – 355 с.

Стаття надійшла до редакції 21.09.09.

А.А. Белятинский., С.М. Талах

**АНАЛИЗ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ
 ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ СВЕРХТЯЖЕЛОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА**

Национальный авиационный университет

грунтове простір, жорсткі бетонні покриття, вигинаючий момент, кінцеві елементи, розрахунок на міцність

Рост авиационных перевозок и увеличение подъемной массы воздушных судов требуют уточнения математических моделей расчета жестких аэродромных покрытий. В предложенной методике рассматривается плоская задача исследования напряженно-деформированного состояния полупространства при взаимодействии с грунтовой массой. Поставленная задача решается с помощью одного из эффективных численных методов – метода конечных элементов. Рассмотрен пример влияния на комбинированное полупространство сверхтяжелого транспортного воздушного судна Ан-225. Сопоставлены инженерный аналитический и численный расчеты в пространственной постановке задачи с использованием расчетного фрагмента покрытия из 12 плит размерами 7,5 x 7,5 м и численный расчет в плоской постановке задачи исследования комбинированного полупространства. По результатам решения задач построены эпюры перемещений и изгибающих моментов. Анализ полученных численных результатов напряженно-деформированного состояния плит покрытия аэродромов свидетельствует о согласованности значений изгибающих моментов при пространственной и плоской постановках задач. Такие сопоставления результатов позволяют сделать вывод о достоверности полученных численных решений.

Andrey A. Belyatinskiy, Svitlana M. Talakh

**ANALYSIS OF NUMERICAL INVESTIGATION ON STRENGTH PLATE
 OF AIRDROME OUTERCOVERES FROM AFFECT MORE HEAVY AIR-SHIP**

National Aviation University

bending moment, calculation of strength, concrete strict outercoveres, finite element, soil space

Weight is of used for air-transport are increasing impetuously and consequently is necessary define more precisely solution on strength of airdrome strict outercoveres. In methodology is considering flan task of investigation of strength-deformation state of half-space for interaction with soil-mass. Put on task is deciding with help effective numerical method – method of finite element. Example is considering of influence on half-space of above-heavy air-transport air-ship An-225. Engineering solution is compared with numerical fragment of outercoveres with 12 plate dimension 7,5 x 7,5 m and numerical solution in flan put on task of investigation combination half-space. Drawing of shift and strength-moment on result solution task are constructed. Analysis of numerical results of strength-deformation state plate outercoveres of airdrome are presented about agreement putting results on bending moment for space and flat put on task shat coincidences of result solution task in different putting of task are permitting to make conclusion about authentic of obtaining numerical solution.