

УДК 625.717

Г.М. Агєєва, Л.І. Кривельо

МОНІТОРИНГ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖОРСТКИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Розроблено план проведення комплексу теоретичних та експериментальних досліджень, що забезпечують наукове супроводження процесу проектування та будівництва. Встановлено інтервал кількісних показників міцності покриття, що враховує реальні умови будівництва та експлуатації. Вивчено характер роботи багатошарового покриття, що визначається співвідношенням величин жорсткостей конструктивних шарів. Визначено менші розрахунково-теоретичні значення класифікаційного числа покриття PCN у порівнянні з проектним значенням, що припускалося.

З 1995 р. в Україні здійснюється реконструкція аеродромних та дорожніх покриттів з використанням бетоноукладального комплексу фірми «Wirtgen» (Німеччина). Технологічні можливості комплексу дозволяють робити укладання різних бетонних сумішей в два шари без розподільного прошарку і утворювати тим самим суцільний переріз з неоднорідними властивостями.

Специфіка конструкції покриття та технології його спорудження потребують експериментально-теоретичного вирішення ряду наукових проблем, на засадах якого стала б можливою розробка методики розрахунку багатошарових аеродромних покриттів.

Теоретичні та експериментальні дослідження двошарових аеродромних покриттів зі зрощеними шарами дозволили встановити певні особливості їх роботи. Внаслідок того, що ці особливості не враховуються діючими нормами [1] та новим нормативним документом, що пропонується до прийняття в СНД [2], доцільно в процесі реконструкції, а по суті будівництва нових покриттів, здійснити експериментально-теоретичний моніторинг на підставі досвіду, набутого в Україні [3, 4].

Об'єктом моніторингу є покриття з двох шарів цементобетонних і бетонних плит, які вкладено на штучну основу, що оброблена в'язучим. Природна основа - підстильний ґрунт - характеризується коефіцієнтом постілі згідно з прийнятою у розрахунках аеродромних покриттів моделлю пружної основи Вінклера.

Мета моніторингу полягає в обґрунтуванні експлуатаційних характеристик жорсткого покриття і розробка Державних будівельних норм України з проектування аеродромних покриттів.

Розглянемо програму та головні положення методики моніторингу. В цілому моніторинг полягає у проведенні ряду теоретичних та експериментальних досліджень, натурних обстежень збудованої конструкції, що мають бути проведені під час процесу будівництва та експлуатації.

Програма моніторингу і головні положення методики кожної з його складових включають в себе:

визначення інтегральних характеристик жорсткості основи - природної та штучної - шляхом штампових навантажень;

визначення механічних характеристик бетону (випробування контрольних кубів та призм);

визначення характеристик жорсткості складного перерізу покриття (випробування спеціальних балок та плит);

визначення інтегральної характеристики злітно-посадкової смуги в цілому (прокатування важкого колісного навантаження - повітряного судна, великого паливозаправника; аналіз якісної картини деформування смуги);

визначення напружено-деформованого стану покриття у низці контрольних точок (штампові випробування); в процесі випробувань вимірюються величини навантажень, прогини плит, деформації бетону;

моніторинг дефектів (робиться в процесі будівництва і перших років експлуатації, результати формуються у вигляді бази даних ПЕОМ);

розробка і створення обладнання для експериментальної оцінки експлуатаційних характеристик покриттів при сертифікації аеродромів України;

значення інтегральних характеристик жорсткості багат шарової основи (задачі вирішуються на ПЕОМ із застосуванням числових методів);

визначення напружено-деформованого стану плит покриття при різних видах навантаження (задачі вирішуються на ПЕОМ з застосуванням числових методів);

моделювання напружено-деформованого стану стикових з'єднань плит (задача вирішується числовими та експериментальними методами);

розробка «Методики розрахунку жорстких аеродромних покриттів» (передбачається на основі комплексу експериментальних результатів [5]).

Кожен з наведених розділів має свою мету, задачі та методи реалізації.

Наведені складові моніторингу об'єднуються в комплекси, які рекомендується проводити у три етапи:

- 1) розрахунково-теоретична оцінка проектної конструкції покриття;
- 2) розрахунково-теоретична оцінка проектної конструкції покриття на засаді даних лабораторних досліджень жорсткостей покриття і основи;
- 3) експериментально-теоретична оцінка конструкції в процесі натурних досліджень після закінчення будівництва та в перші три роки експлуатації споруди.

В рамках першого етапу моніторингу були проведені:

розрахунок міцності;

визначення експлуатаційної придатності за методом *ACN-PCN*;

розрахунок на температурні впливи, обґрунтування необхідності влаштування температурних швів.

Технологічні особливості укладення цементобетону комплектом "Wirtgen" представлені розрахунковою моделлю у вигляді двошарової плити. Верхній шар плити характеризується неоднорідністю властивостей по його товщині, що враховується приведеним значенням жорсткості B_{sup} . Нижній шар з пісного бетону має однорідний склад, і його жорсткість описується величиною B_{inf} .

Укладення без розподільного прошарку виключає можливість вільного взаємного переміщення шарів (розрахунковий випадок), а будівництво верхнього і нижнього шарів без прошарку - методом зрощування з інтервалом часу більш ніж у рік навіть за умов проведення підготовчих заходів (обробка поверхні нижнього шару, зволоження цієї поверхні та ін.) не забезпечує «жорсткого» контакту шарів. Отже, реальні межові умови на контакті шарів знаходяться у межах] «жорсткий» контакт; розподільний прошарок [, а величина жорсткості розрахункового перерізу покриття B_{tot}^{**} в інтервалі:

$$B_{tot}^{**} \in]B_{tot}^* ; B_{tot} [,$$

де B_{tot}^* - жорсткість перерізу без розподільного прошарку з «жорстким» зчепленням шарів;
 B_{tot} - жорсткість перерізу з розподільним прошарком.

Внаслідок того, що розрахунок жорстких аеродромних покриттів виконується для найбільш несприятливих умов експлуатації, за розрахунковий прийнято варіант з розподільним прошарком і мінімальною за величиною жорсткістю

При визначенні величин B_{tot} , B_{sup} і моментів опору W_{sup} , W_{inf} застосовано відомі формули для перерізів з неоднорідними за товщиною властивостями.

Головний розрахунок виконано за методикою, яка викладена в роботах [1, 2] на підставі припущення про досягнення матеріалом нижнього шару граничного стану. У припущенні не брали до уваги дві обставини.

При досягненні матеріалом нижнього шару граничного стану змінюються його фізико-механічні характеристики і, як наслідок, зменшується жорсткість нижнього шару і перерізу в цілому. Отже, розрахунок з використанням величини B_{tot} , що відповідає дограничному стану, не є коректним.

Прийняте співвідношення величин жорсткостей верхнього та нижнього шарів B_{inf} , B_{sup} призводить до того, що матеріал верхнього шару досягає граничного стану раніш за матеріал нижнього. В цьому випадку верхній, більш жорсткий шар, знаходячись в більш напруженому стані, визначає міцність конструкції в цілому. Для визначення величини розрахункового згинаючого моменту $m_{d,sup}$ у верхньому шарі без порівняння величин критичних навантажень для кожного з шарів не є коректним застосування розрахункових формул:

$$m_{d,sup} = k' \cdot p \cdot m_{c,max} - m_{d,inf},$$

$$m_{d,inf} = m_{u,inf},$$

де k' - коефіцієнт, що враховує наявність та тип стикових з'єднань та розташування навантаження на краю плити; p - коефіцієнт, що враховує вплив жорсткості штучної основи; $m_{c,max}$ - згинаючий момент при центральному навантаженні; $m_{d,inf}$ - розрахунковий згинаючий момент в плитах нижнього шару; $m_{u,inf}$ - граничний згинаючий момент в плитах нижнього шару.

Таке порівняння визначатиме коректність виконання головної умови міцності

$$m_{d,sup} < m_{u,sup},$$

у кількісному вираженні.

Розрахунки, які були виконані авторами, свідчать про те, що на час досягнення верхнім шаром граничного стану, плити нижнього шару мали ще 20% своєї міцності.

Оцінку експлуатаційної придатності проведено методом $ACN-PCN$ з використанням головних положень розрахунку жорстких аеродромних покриттів [1].

При призначенні класифікаційного числа покриття PCN застосовано два підходи.

1. Визначення величини одноколісного (еквівалентного) навантаження F_n , КН, яке при тиску повітря у пневматику колеса 1,25 МПа утворює в розрахунковому перерізі плити згинаючий момент, що дорівнює граничному. Згідно з методикою, яка викладена в роботі [5]:

$$PCN = 0,204 \times F_n \quad (1)$$

2. Визначення величини навантаження F_n , яке передається на покриття умовною чотиріколісною опорою і яке викликає в розрахунковому перерізі плити розрахунковий згинаючий момент, що дорівнює граничному. Опора характеризується такими параметрами: відстані між центрами відбитків суміжних коліс опори дорівнюють 0,7 м і 1,3 м поміж рядами.

Внутрішній тиск повітря у пневматиках коліс - 1,0 МПа. Значення PCN в цьому випадку знаходять за допомогою графіків, що наведені у нормах [6, 7].

Залежність, яка наведена у нормах [6]:

$$PCN = 2 \times m,$$

де m - маса в тонах, яка утворює припустиме навантаження на одноколійну опору з тиском повітря у пневматику, що дорівнює 1,25 Мпа, не розглядалась, бо вона є повним аналогом залежності (1).

Оцінка була виконана в двох варіантах - на засадах прийняття припущення руйнування нижнього і верхнього шарів. За другим припущенням (розрахунки авторів) проектна конструкція покриття має достатню несучу здатність до регулярної експлуатації повітряних суден категорій В/к, 1-4 без обмеження інтенсивності руху. Експлуатація повітряних суден з більшими значеннями ACN можлива при умовах обмеження інтенсивності руху певною кількістю літако-вильотів на добу. Тим самим розрахунки авторів визначили набагато менші значення PCN , як це передбачалось проектною організацією. Як вже доводилось вище, це пояснюється різницею у підході до визначення граничного і розрахункового згинаючих моментів.

Для різних стадій будівництва було досліджено:

величини температурних впливів;

міцність плити при екстремальних температурних впливах;

критичні значення температурних впливів, які викликають втрату стійкості плит покриття.

Дослідження були виконані аналітичними і числовими методами.

Для розрахунку на температурні впливи визначені амплітуди температури - різниці між середніми значеннями температури і їх максимальними значеннями, та різниці між максимальними та мінімальними значеннями температур, що спостерігаються у регіоні будівництва.

Було встановлено, що величина нагріву поверхні плити t_s^{\max} дорівнює 42,8 °С; температура, що викликає переміщення плити по основі, в серединній площині плити - 3,07 °С.

Максимальні температури нагріву верхньої поверхні плити - 42,8 °С, нижньої поверхні - 21,0 °С.

Температурний перепад $t_{сж}$, що викликає стиснення плити на контурі внаслідок повздовжнього розширення і наявності перепон на контурі, виникає влітку в процесі будівництва.

Стиснення є наслідком підвищення температури цементобетонної суміші від температури в момент її вкладання t_y до максимальних температур нагріву шарів плити.

Встановлено, що температура бетону, що вкладається, в розрахункових умовах регіону будівництва влітку становить 20-25 °С. В розрахунках було прийнято найменше значення $t_y=20$ °С. Для верхньої поверхні плити температурний перепад $t_{сж}$ склав 22,8 °С, для нижньої поверхні - 1,0 °С.

При вирішенні цієї задачі було досліджено напружений стан плити при її горизонтальних переміщеннях та міцність плит при підвищенні температури.

Перша задача має розв'язок в замкнутому вигляді і дозволяє визначити відстань між швами стиснення. Були досліджені випадки зсуву плити по основі і ковзання цементобетонної плити верхнього шару по плиті з пісного бетону нижнього шару покриття.

За розрахунковий перепад температур було прийнято різницю між максимальною денною температурою липня і мінімальною нічною температурою лютого, що є екстремальними температурами року для району будівництва. Ця різниця дорівнює $\Delta T \approx 70$ °С.

Дослідження залежності відстані між швами стиснення від величин напружень в плиті, температури та фізико-механічних характеристик матеріалів плити дозволяє зробити висновок про те, що при проектній відстані між швами стиснення, яка дорівнює повздов-

жньому розміру плит, температурні напруження, що виникають внаслідок зсуву плити по основі, зникаюче малі.

При відсутності зчеплення цементобетонного шару з шаром з пісного бетону внаслідок температурного деформування буде відбуватися ковзання бетону по бетону, і до верхніх шарів буде прикладатися сила тертя, яка не залежить від величини температурних деформацій. При цьому розрахункові величини напружень у крайніх волокнах суттєво (у 20 разів) менші, ніж розрахункові межі міцності при розтяганні для бетону конструктивних шарів.

Друга задача вирішувалась методично водночас з оцінкою втрати стійкості, і її результати наводяться нижче.

Стійкість плит покриття при підвищенні температури визначається у знаходженні величини критичного підвищення температури - температурного стрибка $\Delta T_{кр}$ відносно до температури під час вкладання бетонної суміші покриття. Було проаналізовано стійкість верхньої цементобетонної частини покриття з вільним від штирових з'єднань повздовжніми швами.

Велике розрахункове значення температурного стрибка свідчить про відсутність необхідності влаштування швів розтягування з огляду на можливість втрати стійкості.

Задача міцності полягає у визначенні міцності при температурному розширенні «молодого» бетону. В умовах високих температур, що дорівнюють 20÷40 °С, міцність бетону проектного класу на стиснення, яка повинна за розрахунками складати 23 % від встановленої нормами, досягатиметься на кінець першої доби з часу вкладання бетону. Це виключає необхідність влаштування швів розширення з міркувань міцності.

Дослідження, що були проведені в рамках першого етапу моніторингу, дозволили встановити такі положення.

Припущення про досягнення матеріалом нижнього шару граничного стану вимагає експериментально-теоретичного обґрунтування, бо призводить до зниження розрахункової величини $m_{d,sup}$ і, як наслідок, до збільшення PCN . В розрахункових умовах при прийнятих співвідношеннях величин жорсткостей шарів, верхній, більш жорсткий, знаходиться у більш напруженому стані і визначає міцність конструкції в цілому. Граничний стан верхнього шару при збільшенні навантаження досягається раніш, ніж граничний стан нижнього шару.

Теоретичні розрахунки міцності конструкції покриття, які були виконані з різними припущеннями щодо особливостей її роботи, встановили значну різницю поміж величинами згинаючих моментів і відповідних значень PCN .

Встановлено, що числове значення PCN , яке розраховане для дії одноколісного еквівалентного навантаження, перевищує на 4–5 одиниць значення, що обчислюється для дії чотиріколісної стандартної опори. Треба відзначити, що таке розходження у результатах встановлено лише у заданому розрахунковому випадку і на думку авторів є наслідком збігу певних співвідношень жорсткості плити і основи.

З огляду на відповідальність споруди вважається за доцільне: після досягнення матеріалами проектною міцності провести роботи по уточненню їх фізико-механічних характеристик (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, модуль зсуву); після закінчення будівництва здійснити оцінку експлуатаційної придатності не тільки розрахунково-теоретичними, але й експериментальними методами.

Список літератури

1. СНиП 2.05.08-85. Аэродромы / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1985. - 58 с.
2. СНиП 32-03-96. Аэродромы / Минстрой России. - М., 1996. - 26 с.
3. Агеева Г.Н. Экспериментально-теоретический мониторинг реконструкции и эксплуатации аэродромных покрытий / Гос. научно-исследовательский и проектно-изыскательский ин-т «НИИпроектреконструкция». - К., 1997. - Деп. в УкрИНТЭИ, 16.07.97, №499-Уі97. - 9 с.

4. *Агеева Г.Н.* Влияние жесткости верхнего слоя на напряженно-деформированное состояние двухслойных аэродромных покрытий: Дис. ... канд. техн. наук. - К., 1994. - 194 с.

5. *Разработка* методики оценки напряженно-деформированного состояния многослойных жестких аэродромных покрытий и оснований: Отчет о НИР (промежут.) / Гос. проектно-технологический и научно-исследовательский ин-т гражданской авиации "Укрэропроект". - №ГР0196U009057. - К., 1995. - 90 с.

6. *Наставление* по аэродромной службе в гражданской авиации СССР (НАС ГА - 86). - М.: Воздуш. трансп., 1987. - 287 с.

7. *Методики* оценки соответствия нормам годности к эксплуатации в СССР гражданских аэродромов. - М.: Воздуш. трансп., 1992. - 144 с.

Стаття надійшла до редакції 14 травня 1998 року.



Галина Миколаївна Агеева (1962) закінчила Київський інститут інженерів цивільної авіації в 1984 році. Кандидат технічних наук, заступник головного інженера, начальник відділу САІР Державного науково-дослідницького та проектно-вишукувального інституту «НДІпроектреконструкція» (м.Київ). Наукова діяльність пов'язана з розвитком числових та експериментальних методів прикладної теорії багатослойних плитних конструкцій на пружній основі, розробкою нормативних документів України з проектування та дослідженню напружено-деформованого стану жорстких конструкцій аеродромних покриттів, реконструкцією об'єктів цивільного призначення. Автор 35 наукових праць, має три авторських свідоцтва.

Galina M. Ageeva (b.1962) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1984). PhD (Eng), Chief Engineer Deputy, Division Manager CADS, State Research and Project Institute NSIproektrekonstruktsiya (Kiev).

Specializes in the development of numerical and experimental methods of applied theory of multi-layers plate structures on spring base, participates in working out of normative documents of Ukraine concerning design and research of stressed deformation state of rigid structures for airfield pavements, reconstruction of civil objects. Author of 35 scientific papers and 3 author's certificates.



Леонід Іванович Кривельов (1935) закінчив Київський інженерно-будівельний інститут в 1956 році. Кандидат технічних наук, доцент кафедри будинків та споруд аеропортів Київського міжнародного університету цивільної авіації. Наукова робота пов'язана з дослідженням експлуатаційного стану, фізичного зносу будинків та споруд, з випробуваннями споруд та конструкцій. Автор понад 70 наукових праць.

Leonid I. Krivelyov (1935) graduated from Kyiv Institute of Building Engineering (1956). PhD (Eng), ass. professor of Buildings and Structures of Airports Department of Kyiv International University of Civil Aviation.

Scientific work is connected with a study of operational conditions, physical deterioration of buildings structures, testing of buildings and structures. Author of more than 70 scientific papers.