

УДК 625.7/.8 (001.89)

НАТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТОВИХ ОСНОВ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Агеєва Г.М., Державний науково-дослідний та проектно-вишукувальний інститут «НДІпроектреконструкція», м.Київ

Постановка проблеми

Ґрунтові основи є складовими конструкцій аеродромних покриттів та у багатьох випадках визначають їх міцність, деформування та експлуатаційну придатність упродовж встановленого нормами терміну [1]. Норми проектування в достатньому ступені передбачають конструктивні, технологічні та експлуатаційні вимоги до ґрунтових основ окремо та у складі покриття [1, 2].

Разом з тим, процес вдосконалення норм проектування повинен базуватися на спеціальних дослідженнях, корегуванні існуючих та розробленні нових методик розрахунку, проведенні натурних досліджень та моніторингу покриттів, які експлуатуються [3, 4].

Дослідження останніх років пов'язані з вдосконаленням нормативних методик розрахунку покриттів та їх застосуванням для оцінки впливів надважких літаків [5, 6], носять розрахунково-теоретичний характер та потребують проведення експериментальних перевірок отриманих результатів.

Оперативні оцінки експлуатаційної придатності мають базуватися на проведенні комплексних досліджень аеродромних споруд, що експлуатуються, та дослідних ділянок нових конструктивних рішень. Отримані результати таких досліджень повинні стати засадою визначення ресурсу злітно-посадкової смуги в цілому, забезпечення безпеки її експлуатації та вдосконалення теоретичних моделей та методів розрахунку в процесі проектування.

Мета – відзеркалити результати натурних досліджень ґрунтових основ різних за конструктивними рішеннями та районів будівництва аеродромних покриттів жорсткого типу.

Цій меті підпорядковано такі завдання:

- виявити розбіжності між проектними даними та даними, отриманими під час проведення комплексних досліджень експлуатаційної придатності існуючих аеродромних споруд;
- оцінити значення інтегральних характеристик ґрунтових основ, отриманих з використанням різних методик;
- оцінити розрахункові параметри ґрунтових основ в різних зонах лінійних споруд – злітно-посадкових смуг, протяжність яких досягає значних величин, а термін експлуатації перевищує розрахункове значення, встановлене нормами.

Об'єкти досліджень

Особливості та результати експериментально-теоретичних досліджень розрахункових параметрів ґрунтових основ стосуються двох конструктивних рішень аеродромних покриттів, збудованих в різних географічних районах з різними геологічними умовами.

Дослідження **першого об'єкту** були частиною комплексних експериментально-теоретичних засобів, які проводилися науковим колективом Державного проектно-вишукувального та науково-дослідного інституту цивільної авіації (ДПВтаНДІ ЦА) «Аеропроект» (м.Москва) на плитах дослідницької ділянки нового типу аеродромного покриття в аеропорту «Мирний» (Республіка Саха, Росія) з метою всебічної апробації двох шарових покриттів та конструкцій шарів посилення¹ [7].

¹ За участю автора статті, під керівництвом д.т.н. О.М.Тоцького

В другому випадку науковим колективом кафедри будинків та споруд аеропортів КМУЦА (НАУ) досліджувалась конструкція діючої зльотно-посадкової смуги в аеропорту «Кольцово» (м.Екатерінбург, Росія) [9, 10]². Отримані результати досліджень в подальшому були апробовані ДПВтаНДІ ЦА «Аеропроект» [8-10].

Основний матеріал досліджень

Загальним для обох комплексних науково-дослідних програм досліджень були **обов'язкові натурні дослідження ґрунтових основ**. Штампові дослідження ґрунтових основ здійснювалися за єдиною стандартною методикою. Мета останніх – визначення величини коефіцієнту постелі та оцінювання міцності основи.

У відповідності до нормативних вимог спеціальний металевий штамп мав стандартний діаметр, а максимальне випробувальне навантаження F_{max} прикладалося ступенями по $0,3F_{max}$. Вимірювання осадок поверхні ґрунту здійснювалося за допомогою реперних марок, які встановлювалися на штампі (рис. 1).

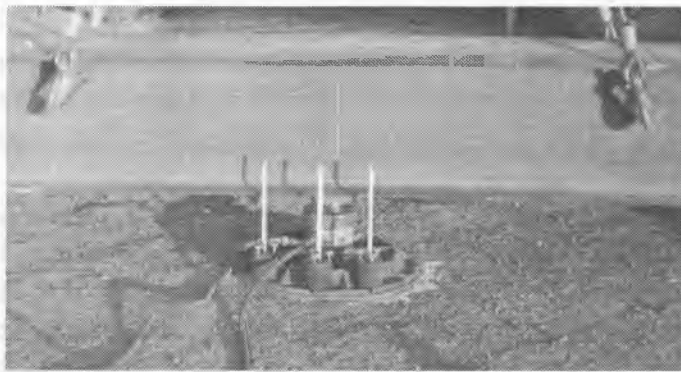


Рис. 1. Загальний вигляд дослідницької установки

Об'єкт №1

Внаслідок однорідності ґрунтів дослідженої ділянки, що підтверджено даними геологічних розвідок [8], були прийняті три точки для навантаження. Величини осадок штампів, які реєструвалися під час навантажень, покладені в основу побудови діаграм «навантаження – прогін» (рис. 2).

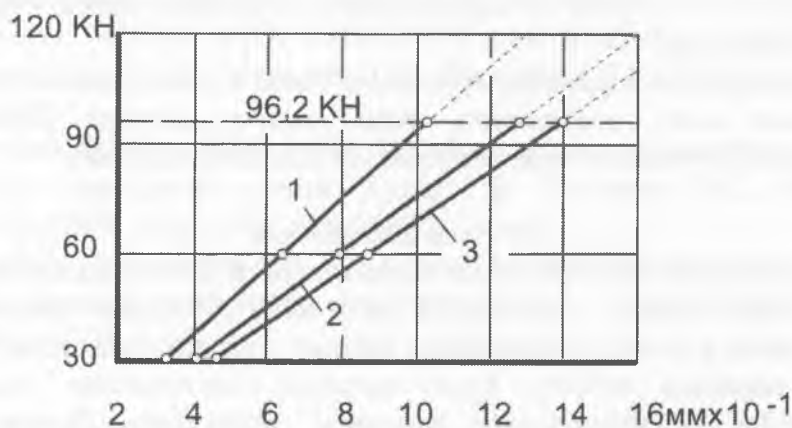


Рис. 2. Експериментальні діаграми «навантаження – прогін» для трьох точок ґрунтової основи

² За участю автора статті, під керівництвом д.т.н., проф. Ю.В.Верюжського

Залежність величин прогинів поверхні ґрунту від навантажень, які прикладалися, свідчили про лінійний характер роботи основи в дослідницькому діапазоні навантажень та відповідність терміну проведення іспитів розрахунковому періоду, коли ґрунт водонасичений і його частини малозв'язані [1, 3].

Максимальну осадку поверхні ґрунту – 1,39 мм – зафіксовано в т.2 (табл. 1). Абсолютні величини осадок жорсткого штампа в т.1 и т.3 склали 92,09 и 75,54% максимального значення відповідно.

Таблиця 1.

Результати експериментальних досліджень ґрунтової основи дослідної ділянки покриття

№ п/п	Найменування розрахункових параметрів	№№ точок навантаження		
		1	2	3
1	Максимальне випробувальне навантаження F_{max} , КН	96,20		
2	Абсолютна величина осадки жорсткого штампу w_{si} , мм	1,28	1,39	1,05
3	Коефіцієнт постелі k_{si} , МН/м ³	195,00	180,00	238,00
4	Середнє значення коефіцієнту постелі $k_{s\text{ ср}}$, МН/м ³	204,33		
5	Розходження Δ , %	-4,57	-11,91	16,48
6	Середнє квадратичне відхилення σ_{ks}	30,11		
7	Коефіцієнт варіації v_{ks}	0,148		

Середня величина коефіцієнта постелі ґрунту склала 204,33 МН/м³, тобто 97,3% розрахункового значення $k_s=210$ МН/м³, прийнятого для ґрунту ділянки будівництва під час проектування дослідної ділянки покриття.

Відібрані для дослідження зони ґрунту мають різну міцність та характеризуються величинами коефіцієнта постелі k_s , які відлучаються від розрахункового. Відповідно до вимог, викладених в роботі [11], коефіцієнту варіації $V_{ks}=0,148$ для забезпечення надійності результатів $P(k_s)=0,95$ відповідає обсягу іспитів $n=25$. Таким чином, штампові дослідження ґрунтової основи, які проведено в трьох точках, не повністю враховують статистичну мінливість деформаційних властивостей ґрунту в розрахунковий період.

Але, як свідчить аналіз різноманітних досліджень, величина коефіцієнта варіації може коливатися в значних межах та в багатьох випадках залежить від ступеню ущільнення ґрунту [12], внаслідок цього він не є основним показником достовірності отриманих результатів.

Для плит дослідницької ділянки, яка характеризується коефіцієнтами постелі 195,00÷238,00 МН/м³, встановлено також розрахункові значення пружної характеристики 0,908-0,846 м (таблиця 2).

Таблиця 2.

Пружна характеристика плит дослідної ділянки

№ п/п	Розрахункові параметри	№ точок навантаження			Середнє значення	Проектне рішення
		1	2	3		
1	Коефіцієнт постелі основи k_{si} , МН/м ³	195,00	180,00	238,00	204,33*	210,00**
2	Пружна характеристика плити l , м	0,890	0,908	0,846	0,879	0,873
3	Відхилення, %	1,95	4,01	-3,09	0,69	0,00

* - середнє значення коефіцієнту постелі $k_{s\text{ ср}}$, МН/м³;

** - теоретичне значення коефіцієнту постелі k_s , МН/м³, яке використовувалось під час проектування конструкції покриття.

При середньому значенні коефіцієнта постелі – $204,33 \text{ МН/м}^3$ – пружна характеристика плити l складає $0,879 \text{ м}$, що на $0,69\%$ перевищує величину $l=0,873 \text{ м}$, яку було прийнято під час проектування конструкції покриття (при $k_s=210,00 \text{ МН/м}^3$). Незначні відхилення середніх значень від тих, що були покладено в основу проектних рішень, дозволили використовувати їх в якості базових в подальших дослідженнях напружено-деформованого стану конструкції покриття.

За даними штампових випробувань ґрунту, для якого встановлено коефіцієнти постелі $k_s=195,00\div 238,00 \text{ МН/м}^3$ ($>120,00 \text{ МН/м}^3$), визначено категорію міцності основи «висока» та код основи «А» [13, 14], які використалися в подальших розрахунках та дослідженнях [15].

Об'єкт №2

Дослідження напружено-деформованого стану діючої споруди виконувалося з урахуванням технологічних особливостей здійснення зльотно-посадкових операцій та значно обмежувався часом перебування спеціалістів та обладнання в зоні іспитів.

Разом з повним комплексом інженерно-геологічних досліджень ґрунтової основи здійснені іспити покриття прокаткою важкого колісного навантаження, штампові іспити у вибраних контрольних точках споруди та ґрунтової основи з обох сторін взльотно-посадкової смуги [8-10].

За даними інженерно-геологічних досліджень [8] здійснене теоретичне визначення осадок ґрунтової основи та відповідних розрахункових значень коефіцієнту постелі за різними методиками [1, 2, 12].

В результаті отримані три розрахункових усереднених значення коефіцієнта постелі, які значно відрізняються одне від одного:

- з використанням розрахункової схеми у вигляді лінійно-деформованого півпростору [2] отримані занижені значення коефіцієнту постелі [9];
- середні значення коефіцієнтів постелі, визначені за осадками, які очікуються [12], склали 15 МН/м^3 ;
- при використанні методик норм проектування аеродромних покриттів [1] - 42 МН/м^3 [10].

Великий розкид розрахункових значень k_s потребував додаткового вивчення проектної та експлуатаційної документації аеродромної споруди, яку неодноразово посилювали, змінювали її довжину та конструктивні рішення окремих ділянок. Результати архівних розвідок використано під час уточнення методики визначення коефіцієнта постелі шарових основ та корегування програми проведення подальших досліджень напружено-деформованого стану конструкції, в т.ч. за допомогою чисельних методів.

Для дослідницької ділянки зльотно-посадкової смуги, що експлуатується, відібрано шість точок, які розташовані на відстані $6,0 \text{ м}$ від поздовжніх кромek покриття за межами укріплених обочин [10]. Враховуючі відносно однорідний склад шарів, які підстиляють покриття, в межах зльотно-посадкової смуги назначено три контрольних перерізу: на серединних ділянках зон приземлення та зони пробігу повітряних суден. Фактичне навантаження здійснювалось до величини загального зусилля $45,0 \text{ КН}$, яке при заданій площі штампа створювало тиск на ґрунт, який дорівнював $0,16 \text{ МПа}$ (табл. 2).

Середнє для шести вимірів розрахункове значення коефіцієнта постелі склало $32,89 \text{ МН/м}^3$, що значно відхиляється від величин, визначених за даними інженерно-геологічних досліджень [8, 9], але добігає до розрахункових значень, отриманих за методикою норм проектування [1] - 42 МН/м^3 [9].

За даними штампових випробувань ґрунту, для якого встановлено $k_s=22,64\div 50,53 \text{ МН/м}^3$, визначено дві категорії міцності основи:

- «дуже низка» ($k_s \leq 25 \text{ МН/м}^3$), код основи «D»;
- «низка» ($25 < k_s \leq 60 \text{ МН/м}^3$), код основи «C» [10],

які покладено в основу побудови розрахункових схем для подальших розрахунків та досліджень [10, 15], а також при встановленні класифікаційного числа покриття PCN в процесі оцінки експлуатаційної придатності аеродромної споруди методом ACN-PCN [13].

Таблиця 2.

Результати експериментальних досліджень ґрунтової основи в зоні аеродромного покриття, яке експлуатується

№ п/п	Найменування розрахункових параметрів	№№ точок навантаження					
		1	2	3	4	5	6
1	Максимальне випробувальне навантаження F_{max} , КН	45,0					
2	Абсолютна величина осадки жорсткого штампу w_{si} , мм	5,80	2,80	4,80	6,25	4,05	4,00
3	Коефіцієнт постелі k_{si} , МН/м ³	24,37	50,53	29,47	22,64	34,93	35,37
4	Середнє значення коефіцієнту постелі $k_{s\text{ ср}}$, МН/м ³	32,89					
5	Розходження Δ , %	-25,90	53,63	-10,40	-31,16	6,20	7,54
6	Середнє квадратичне відхилення σ_{ks}	10,11					
7	Коефіцієнт варіації v_{ks}	0,307					

Висновки

1. Під час проектування нових аеродромних покриттів жорсткого типу використовується інтегральний показник міцності ґрунтових основ ділянки будівництва – коефіцієнт постелі, визначений за результатами інженерно-геологічних вишукувань.

За даними штампових випробувань ґрунтових основ:

а) покриття, що експлуатується упродовж року, середнє розрахункове значення коефіцієнту постелі склало 97,3% величини, яка була прийнята під час проектування покриття. Відхилення окремих розрахункових значень коефіцієнту постелі від середнього значення не перевищували 4,01%;

б) покриття, що експлуатується упродовж кількох десятиріч, встановлено значний розкид розрахункових значень інтегральних показників міцності окремих ділянок основи – $k_s=22,64-50,53$ МН/м³. Відхилення окремих розрахункових значень коефіцієнту постелі від середнього значення ($k_{s\text{ ср}}=32,89$ МН/м³) досягали 53,63%. Це свідчило про значні зміни в основі покриття, незалежно від того, що шари, які підстиляють покриття, за даними інженерно-геологічних розвідок мають відносно однорідний склад за глибиною та площею. Як наслідок, ділянки основ аеродромної споруди оцінюються різними категоріями міцності - «дуже низька» ($k_s \leq 25$ МН/м³) та «низька» ($25 < k_s \leq 60$ МН/м³), а відповідні ділянки аеродромного покриття мають різні показники експлуатаційної придатності.

2. Під час розроблення рекомендацій щодо можливості подальшої експлуатації зльотно-посадкової смуги без обмеження маси повітряних суден, результати натурних досліджень розрахункових параметрів ґрунтових основ покладено в основу побудови розрахункових схем з детальним зонуванням конструкції покриття в залежності від встановлених інтегральних показників міцності ґрунтових основ та сумарної жорсткості розрахункових перерізів.

3. Подальше теоретичне моделювання напружено-деформованого стану покриття дозволило не тільки кроковим методом встановити варіанти конструкції, максимальні прогини та кривизни поверхні яких відповідають даним натурних досліджень, але й запропонувати комплексні заходи з їх посилення для забезпечення потрібного рівня придатності для експлуатації розрахункових та перспективних типів повітряних суден.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.05.08-85 Аэродромы/ Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 85 с.
2. СНиП 2.02.-1-83 Основания зданий и сооружений/ Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1986. – 40 с.
3. Кульчицкий В.А., Макагонов В.А., Васильев Н.Б., Чеков А.Н., Романков Н.И. Аэродромные покрытия. Современный взгляд [Текст]. – М.: Физ.-мат. лит.-ра, 2002. – 528 с.
4. Агеева Г.М., Кривельов Л.І. Моніторинг реконструкції жорстких аеродромних покриттів// Вісник КМУЦА. - 1998. - №1. – С.397-401.
5. Цихановський В.К., Талах С.М., Трушківська Н.Л. Розрахунок на міцність аеродромних покриттів від впливу великофюзеляжного повітряного судна //Вісник НАУ. – 2009. - №3. – С.133-140.
6. Родченко, О.В. Уточнення коефіцієнта динамічності при впливі надважких літаків// Будівництво України. – 2007. - №10. – С. 32-35.
7. Расчетно-теоретический анализ работы тонкослойного покрытия: Отчет о НИР (заключ.). – Дог.№4-ц от 5.10.1990 с ГПИиНИИГА «Аэропроект»// Гос. науч.-произв. предприятие «Потенциал». – Киев, 1990. – 77 с.
8. Отчет по инженерно-геологическим исследованиям состава ИВПП-1 в а/п «Кольцово». – Свердловск: ПО «Уралгеология», 1990. – 14 с.
9. Исследование несущей способности ИВПП и разработка рекомендаций по её усилению: Отчет о НИР (промежут.). Этап 1. – Дог.№2-ц от 11.06.1990 со Свердловским ОАО// НПП «Потенциал». – Киев, 1991. – 96 с.
10. Исследование несущей способности ИВПП и разработка рекомендаций по её усилению: Отчет о НИР (заключ.). Этап 2. Экспериментально-теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния ИВПП и разработка рекомендаций по её реконструкции. – Дог.№2-ц от 11.06.1990 со Свердловским ОАО// НПП «Потенциал». – Киев, 1991. – 154 с.
11. Степушин А.П. Изменчивость коэффициента постели оснований жестких аэродромных покрытий// Тр. МАДИ/ Надежность, работоспособность и пропускная способность сооружений аэропортов. – 1981. – С.76-80.
12. Жесткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог/ Глушков Г.И., Бабков В.Ф., Медников И.А. и др. – М.: Транспорт, 1987. – 255 с.
13. Руководство по оценке несущей способности аэродромных покрытий методом *ACN-PCN*. – М.: Аэропроект, 1984. - 22 с.
14. Руководство по проектированию аэродромных покрытий. – М.: ГПИиНИИГА «Аэропроект», 1983. – 272 с.
15. Агеева Г.Н. Влияние жесткости верхнего слоя на напряженно-деформированное состояние двухслойных аэродромных покрытий. Дис. 05.23.11 Киев, 1994. – 194 с.