

АЕРОПОРТИ

66К 0513.1-061.12С
УДК 625.717.2(045)

І. О. Білінський, М. В. Шинкарчук, М. І. Белов

**ДОСВІД БУДІВНИЦТВА НОВОЇ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ
У МІЖНАРОДНОМУ АЕРОПОРТУ БОРИСПІЛЬ
З ВИКОРИСТАННЯМ ВИСОКОМІЦНОГО БЕТОНУ**

Обґрунтовано доцільність використання високоміцних бетонів в аеродромному будівництві, рекомендації щодо їх приготування і результати впровадження в аеропорту Бориспіль при спорудженні покриттів нової злітно-посадкової смуги.

При вирішенні питань про доцільність і технічні можливості застосування високоміцного бетону в жорсткому аеродромному покритті злітно-посадкової смуги, яка споруджувалася в аеропорту Бориспіль, кафедра аеропортів НАУ виконала на замовлення Державного проектно-технологічного та науково-дослідного інституту ЦА «Украаеропроект» спеціальне дослідження, зробила розрахунки покриття і здійснювала наукове супроводження будівництва.

Згідно з нормами, які діють сьогодні в Україні (СНиП 2.05.08-85 «Аеродроми»), в жорстких монолітних аеродромних покриттях (одношарових і верхніх шарах двошарових покриттів) слід застосовувати бетони проектних класів за міцністю на розтягування зі згином не нижче (мінімальні показники) $B_{btb}4,0$ і за міцністю на стиск не нижче В30. Це відповідає «старим» маркам бетону $R_{н}50$ і М400 (надалі будемо називати марки бетону, як більш звичні для широкого кола спеціалістів).

У практиці аеродромного будівництва склалося так, що зазначені мінімально допустимі марки бетону перетворилися у «максимально досяжні». Їх повсюдно закладають в проектні рішення покриттів (оскільки менша проектна міцність бетону не дозволяється чинними СНиП 2.05.08-85) і реалізують. Застосовувати більш високі марки бетону (вище $R_{н}50$, М400) будівельні організації не беруться через відсутність відповідного досвіду, недостатню технічну оснащеність і культуру будівельного виробництва. Зазначені бетони умовно називають високоміцними (умовно тому, що бетони марок до $R_{н}50$, М400 включно, які сьогодні широко впроваджуються на аеродромах, можна віднести до бетонів звичайної міцності).

Однак застосування високоміцних бетонів в покриттях на сучасних аеродромах хоча б трьох марок після $R_{н}50$ (М400), а саме $R_{н}55$ (М500), $R_{н}60$ (М550) і $R_{н}65$ (М600) – відповідно $B_{btb}4,4$ (В35), $B_{btb}4,8$ (В40) і $B_{btb}5,2$ (В45) – є вкрай необхідне і технічно цілком можливе.

Застосовування високоміцних бетонів економічно вигідне. Закономірність така, що вартість конструкції покриття завжди знижується за рахунок економії витрат бетонної суміші (при зменшенні товщини плит) і за рахунок скорочення витрат на транспортування цементу і заповнювачів на бетонний завод. Економія бетону досягає 15–20%, а вартісна економія – 5–8%. Це стосується одношарових покриттів. Якщо двошарове покриття з бетонів звичайної і низької міцності замінюється одношаровим покриттям з високоміцного бетону, економія матеріалу (бетону) збільшується до 30–40% і відповідно зростає вартісна економія.

Потрібно враховувати і те, що високоміцні бетони мають вищі показники морозостійкості, оскільки в таких бетонах збільшується обсяг умовно замкнутих і зменшується обсяг відкритих (капілярних) пор. Відповідно значно підвищується і довговічність (тобто термін служби) покриттів.

Проте є переваги, які мають вирішальне значення у питаннях необхідності застосування високоміцних бетонів в аеродромних покриттях. По-перше, вони забезпечують потрібну

міцність плит на сколювання у тих випадках, коли йдеться про експлуатацію сучасних літаків з високим (до 1,4 – 1,5 МПа) тиском повітря в шинах коліс (наприклад, для В747-100В цей тиск складає 1,56 МПа, для Ту-204 і А300-В4 – 1,4 МПа і т.д.). Щодо несколюваності крайків плит з бетону марок $R_{н50}$, М400, то вона забезпечується лише при тиску в шинах до 1,1 – 1,2 МПа. По-друге, застосування високоміцних бетонів запобігає явищу луцення та викришування бетонної поверхні плит, що практично усуває небезпеку потрапляння продуктів руйнування бетону у повітрязабірники турбореактивних авіадвигунів літаків. Луцення поверхні плит головним чином залежить від міцності бетону в поверхневих шарах і його шпаристості (шпаристість прискорює руйнування бетону внаслідок проникнення води в пори і циклічного її замерзання і відтавання взимку, а також проникнення в пори розчинів протижелезних хімічних реагентів).

Високоміцні бетони мають меншу кількість відкритих пор, тому вплив процесів, пов'язаних зі шпаристістю матеріалу, значно знижується. За даними зарубіжних дослідників луцення не відбувається, якщо граничний опір бетону на осьове розтягування складає 1,0 – 1,4 МПа. Оскільки розрахункова міцність на осьове розтягування бетону марок $R_{н55}$, $R_{н60}$ і $R_{н65}$ (М500... М600) дорівнює відповідно 1,3, 1,4 і 1,45 МПа, то стає очевидною відсутність небезпеки луцення плит з таких бетонів. Досвід експлуатації покриттів із бетонів, марки яких перевищують $R_{н50}$ (М400), цілком підтверджує такий висновок. Як приклад, наведемо армобетонне покриття злітно-посадкової смуги в аеропорту м. Рівне: бетон в покритті за даними натурального обстеження має приблизно марку М550, внаслідок чого тріщини і поверхневі руйнування на покритті відсутні, хоча воно експлуатується понад 20 років. У промислово розвинених зарубіжних країнах, де марочна міцність бетону в аеродромних покриттях в середньому на порядок вища у порівнянні з вітчизняною, проблема луцення бетонних плит фактично не постає.

Найбільш простий і економічний спосіб одержання високоміцних бетонів, який не ускладнює загальноприйнятої технології бетону, це застосування якісних заповнювачів, високоактивних цементів і низьких водоцементних відношень.

Крупним заповнювачем у високоміцних бетонах має бути міцний і чистий щебінь. Його міцність на стиск повинна у 1,5 – 2 рази перевищувати проектну марку бетону. Гранулометричний склад щебеню добирається таким чином, щоб пустотність його в ущільненому стані була не більше 33 – 36%. Пісок повинен бути чистим і мати модуль крупності не менше 2,0. Його частка в бетоні має бути у межах 0,25 – 0,43.

Якість цементного каменю і його адгезія до заповнювачів, міцність яких значно перевищує марку бетону, – головна умова одержання високої міцності бетону. Потрібно застосувати високоактивні портландцементи марок не нижчих ніж проектна марка бетону (тобто марки 500 у бетоні марок $R_{н55}$, М500, марки 600 у бетонах марок $R_{н60}$, М550 і $R_{н65}$, М600).

Висока міцність бетону досягається при відносно низькому співвідношенні води і цементу. Максимальне значення співвідношення води і цементу частіше складає 0,45, а оптимальні значення знаходяться у межах 0,35 – 0,40. Для бетонів звичайної міцності в одношарових покриттях і верхніх шарах двошарових покриттів співвідношення води і цементу відповідно до норм не повинно перевищувати 0,5.

Зниження співвідношення води і цементу супроводжується значним зростанням жорсткості бетонної суміші (погіршенням її легкоукладальності – рухливості), а це, в свою чергу, технічно ускладнює укладання і ущільнення бетону. Досягти необхідного зниження водопотреби бетонної суміші і в той же час досягти потрібної легкоукладальності можна за рахунок застосування нових хімічних добавок – суперпластифікаторів (типу С-3), які дають більший пластифікуючий ефект, ніж традиційні добавки типу ЛСТ (лігносульфонати технічні), що раніше називалися ССБ (сульфітно-спиртова барда) і СДБ (сульфітно-дріжджова бражка). Суперпластифікатори застосовують замість ЛСТ або у комплексі з ЛСТ і повітровтягувальними добавками. Для високоміцних бетонів кількість суперпластифікатора при різному сполученні добавок складає 0,5–1,5% від маси цементу.

Технологічні особливості високоміцних бетонів пов'язані з використанням в них високоактивних цементів. Прискорене зростання міцності бетону в перші години після початку

тужавлення цементу потребує значного скорочення часу на транспортування, укладання і ущільнення бетонної суміші. Найкраще рішення – розміщення пересувного заводу поблизу будівельного майданчика. У випадку приготування бетонної суміші на стаціонарному заводі час доставки її до місця укладання для конкретних умов повинна визначати лабораторія. Бажано застосовувати цемент з початком тужавлення не раніше 2 год.

Підвищена тонкість млива високомарочних цементів призводить до деякого зменшення активності цементу у разі його тривалого зберігання і до зниження морозостійкості. Тому такі цементы потрібно оперативнo використовувати.

Вища, ніж у звичайних цементів, неоднорідність високомарочних цементів за нор-мальною густиною, мінералогічним складом, терміном тужавлення, показниками міцності вимагає підвищеної уваги до лабораторного контролю якості високоміцних бетонів у виробничих умовах.

Для виробничого впровадження високоміцних бетонів обов'язковим має бути попереднє пробне бетонування конструкцій покриття з наступним аналізом його результатів і внесенням, у разі необхідності, коректування у технологію робіт.

У відповідності з проектом, який розробив інститут «Украеропроект», нова злітно-посадкова смуга в аеропорту Бориспіль має довжину 4 000 м і ширину 60 м (розміри літної смуги 4 000×300 м) і за своїми геометричними характеристиками цілком задовольняє вимогам стандартів ІСАО. Несучою здатністю покриття та інженерним обладнанням вона забезпечує можливість експлуатації усіх сучасних типів літаків при метеорологічних умовах категорії ІІІ-а мінімуму ІСАО. Верхній шар двошарового покриття завтовшки 45 см з бетону класів В_{бет}4,4, В40 (P_н55, М500) і нижній завтовшки 30 см з пісного бетону класу В7,5 на ґрунтоцементній штучній основі завтовшки 15 см. Згідно з проектом бетон верхнього шару повинен мати міцність на розтягування зі згином не менше 5,5 МПа і на стиск не менше 47,2 МПа, а також марку за морозостійкістю F150.

Під час спорудження верхнього шару покриття для приготування цементобетонної суміші використовувались такі матеріали:

- портландцемент марки 500 Балаклівського цементного заводу, з водопотребою 23%, початком і кінцем відповідно 1 год 50 хв;
- щебінь гранітний Кременчуцького кар'єроуправління, фракцій 5–20 мм та 20 – 40 мм, із скельної породи міцністю марки 1200;
- пісок Ігнапільського кар'єру, крупнозернистий, модуль крупності 2,6;
- пластифікуюча та повітровтягувальна добавки виробництва Німеччини (відповідно FN та AFC);
- вода із свердловин промбазы будівництва.

Витрати матеріалів на 1 м³ бетонної суміші були встановлені такі: портландцемент – 370 кг, щебінь – 1360 кг, пісок – 469 кг, пластифікуюча добавка – 1,85 кг (0,5% від маси цементу), повітровтягувальна добавка – 1,11 кг (0,3% від маси цементу), вода – 155 л, водоцементне відношення – 0,42.

До виконання робіт з будівництва покриття із високоміцного бетону були залучені німецькі фірми WALTER BAU-AG та HEILIT BAU-AG. Нарізання і герметизацію швів здійснювала німецька фірма OAT.

Бетонну суміш готували в двох змішувальних установках безперервної дії, загальною продуктивністю до 3000 м³ за зміну. До місця укладання суміш доставляли в автомобілях-самоскидах КрАЗ впродовж 10 хв.

Формування верхнього цементобетонного шару покриття здійснювалося одночасно двома бетоноукладальними машинами з ковзними формами виробництва Німеччини. Перша машина розподіляла і ущільнювала бетонну суміш смугою шириною 14,5 м завтовшки 33 см. При цьому здійснювалося віброзанурення на задану глибину штирів поперечних і проміжного поздовжнього деформаційних швів. Друга машина рухалася слідом за першою на відстані 8 – 10 м і укладала верхню частину шару завтовшки 12 см та бічних смуг шириною по 25 см завтовшки 45 см таким чином, щоб загальна ширина смуги бетонування складала 15,0 м за-

втовшки 45 см. Така технологія забезпечувала якісне зрощування обох шарів цементобетону і утворення монолітного верхнього шару покриття проектної товщини (45 см). За другою бетоноукладальною машиною рухалася машина для влаштування на поверхні укладеного цементобетону борізнок шорсткості та нанесення плівкоутворюючого матеріалу.

Для передачі навантаження від повітряних кораблів з однієї смуги бетонування на іншу їх бічні грані формувалися у вигляді двозубого шпунта (кожний шпунт висотою 13 см та шириною 4 см). Опливання бічних кромek не відзначалося, що забезпечувало якісне (тобто без порушень рівності покриття) прилягання суміжних смуг бетонування. Після досягнення бетоном міцності на стиск 8–10 МПа в покритті нарізалися поперечні та проміжні поздовжні шви стиснення. Таким чином розміри плит в плані склали 7,5×7,5 м.

У середньому довжина смуги бетонування перевищувала 300 пог. м за зміну. Всього впродовж будівельного сезону 1998 р. було укладено біля 150 тис. м³ бетону на площі понад 300 тис. м².

За результатами операційного контролю, який здійснювався лабораторією в процесі будівництва, контрольовані параметри характеризуються стабільністю (однорідністю), що засвідчує високу якість цементобетону. Математичне сподівання контрольованих параметрів \bar{x} та середньоквадратичне відхилення σ подані в табл. 1.

Випробування міцності висвердлених із покриття кернів здійснені в Київському науково-дослідному інституті будівельних конструкцій, Національному транспортному університеті та будівельній лабораторії в Мюнхені (Німеччина) підтвердили результати, одержані в процесі операційного контролю (табл. 2).

Таблиця 1

Контрольований параметр	\bar{x}	σ
Легкоукладальність бетонної суміші (осідання конуса), см	1,36	0,03
Обсяг залученого повітря, %	4,48	0,22
Об'ємна маса суміші, кг/м ³	2390	0,013
Водоцементне співвідношення	0,42	0,01
Міцність бетону на розтягування зі згином, МПа:		
через 7 діб	4,6	0,28
через 28 діб	6,0	0,39
Міцність бетону на стиск, МПа:		
через 7 діб	41	3,48
через 28 діб	51	3,81

Таблиця 2

Дослідна організація	\bar{x}	σ
Київський науково-дослідний інститут будівельних конструкцій	51,8	4,44
Національний транспортний університет	48,5	1,80
Будівельна лабораторія Мюнхена	68,3	10,7

Таким чином, успішне крупномасштабне впровадження високоміцного бетону в аеродромному покритті в аеропорту Бориспіль є черговим кроком у справі освоєння високоміцних бетонів вітчизняними будівельниками. В Київському науково-дослідному інституті будівельних конструкцій дослідження проводилися з початку 60-х років. В Києві вперше в СРСР були досліджені, виготовлені, перевезені і впроваджені під Москвою (в м. Митищі) підкроквяні ферми прольотом 18 м із бетону марки 800. В Києві (в Дарницькому автобусному парку) впроваджені кроквяні арочні конструкції прольотом 36 м із бетону марки 700, на Білоцерківському шинному заводі – кроквяні ферми прольотом 24 м під важкі навантаження із бетону марки 600, в аеропорту Рівне аеродромне покриття з високоміцного бетону.

Стаття надійшла до редакції 29.03.01.