

**ДІАГНОСТИКА СТАНУ ТА РЕМОНТНІ ЗАХОДИ  
ДЛЯ РЕАБІЛІТАЦІЇ ДІЛЯНКИ БЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ЗПС  
МІЖНАРОДНОГО АЕРОПОРТУ “ЛЬВІВ” ім. ДАНИЛА ГАЛИЦЬКОГО**

**Солодкий С.Й.**, д.т.н., професор,  
**Турба Ю.В.**,

ORCID: 0000-0003-3692-8890

*Національний університет “Львівська політехніка”*  
s.solodkyy@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9829-5123

**Воробець А.В.**,  
**Женчак Р.В.**,

*Державне підприємство “Міжнародний аеропорт “Львів” імені Данила Галицького”*  
a.vorobets@airport.lviv.ua,

**Анотація.** Стаття присвячена діагностиці стану бетонного покриття ушкодженої ділянки ЗПС аеропорту «Львів» і розробленню рекомендацій для захисту покриття та унеможливлення подальшого руйнування бетону. Досліджено показники середньої густини, вологості, водопоглинання, міцності на стиск бетону в характерних місцях поперечного перерізу покриття завтовшки 45 см. Зроблено порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик бетону за висотою покриття для ушкоджених і неушкоджених ділянок ЗПС. На підставі результатів тесту на гідрофобність бетонної поверхні після оброблення реагентами різної природи та механізму дії рекомендовано для захисту покриття використання гідроізолятора для бетону Pavix CCC100®. Здійснюється моніторинг стану покриття після оброблення, який свідчить про високу ефективність застосування реагенту.

**Ключові слова:** аеродромний бетон, викришування, водопоглинання, міцність бетону, гідрофобність, гідроізолятор.

**Вступ.** У 2010-2012 рр. в рамках підготовки до чемпіонату Євро-2012 з футболу було здійснено повну реконструкцію аеродрому аеропорту “Львів” з влаштуванням бетонної злітно-посадкової смуги (ЗПС) довжиною 3305 м і шириною 45+2×1,5 м. Конструкція аеродромного одягу ЗПС представлена на рис. 1.



Рис. 1. Конструкція аеродромного одягу ЗПС ДП “Міжнародний аеропорт “Львів” імені Данила Галицького”

Верхній шар покриття завтовшки 45 см влаштовано методом нарощування шарів бетоноукладальним комплектом фірми Wirtgen.

Через декілька років експлуатації аеродрому на окремих ділянках ЗПС в зоні зльоту і приземлення повітряних суден почалося лушення бетонної поверхні, яке з часом трансформувалося у викришування різної площі та глибини. Усвідомлюючи небезпеку

подібних руйнувань, керівництво аеропорту звернулося до кафедри “Автомобільні дороги та мости” Національного університету “Львівська політехніка” з пропозицією розробити заходи для унеможливлення прогресу подібних руйнувань і стабілізації ситуації на 7-10 років. На договірних засадах у 2016 р. фахівцями кафедри здійснено діагностику стану ушкоджених ділянок ЗПС і розроблено рекомендації для реабілітації бетонного покриття.

За результатами візуального огляду аеродромного покриття було виявлено такі основні дефекти і руйнування, як лущення (рис. 2, а) і викришування (рис. 2, б) цементобетонного покриття.

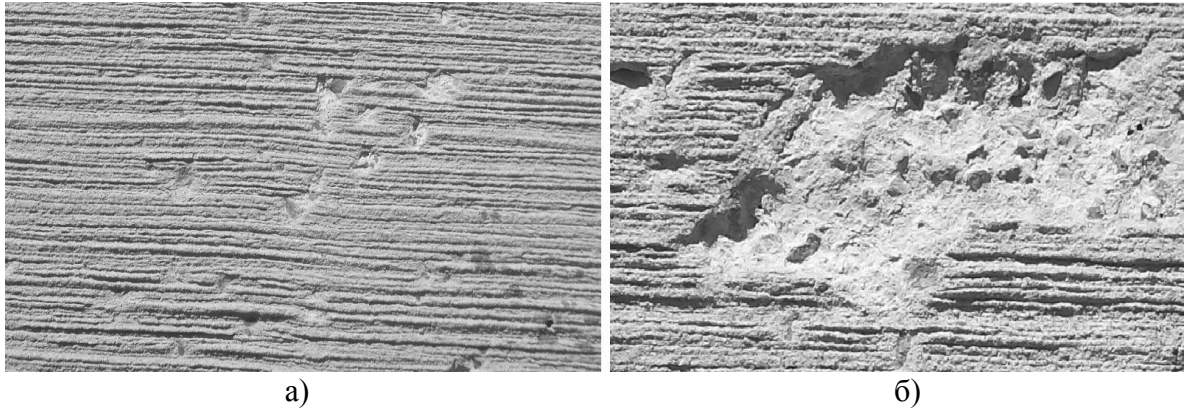


Рис. 2. Лущення (а) і викришування (б) цементобетонного покриття ЗПС

Глибина викришувань коливається в межах до 2,5 см, площа викришувань – до 50-100 см<sup>2</sup>. Руйнування спостерігаються на ділянці ЗПС площею приблизно 29250 м<sup>2</sup> в зонах приземлення повітряних суден.

Візуальний огляд поверхні покриття ЗПС і бетонних кернів дав змогу стверджувати, що поверхневе руйнування бетону у вигляді лущення та викришування відбувається внаслідок послабленої структури поверхневого шару покриття і значної відкритої макро- і капілярної пористості. Причинами цього явища можуть бути: недотримання проектного складу бетону і використання неякісних заповнювачів, неякісне ущільнення верхнього шару покриття в процесі укладання суміші, незабезпечення догляду за бетоном, використання “гарячого” цементу, тощо. Вода атмосферних опадів разом із антиожеледними реагентами проникає в поверхневі шари бетону і під час замерзання руйнує бетон.

Методика підвищення довговічності бетону полягає в запобіганні потраплянню хлоридів в бетон шляхом захисту поверхні бетонної конструкції. Низку досліджень присвячено вивченню впливу оброблення поверхні на зменшення дифузії хлоридів в бетон [1-6]. Системи захисту поверхні можна поділити на три категорії – покриття, блокування пор і герметизація пор. Герметизатори пор внаслідок малого розміру молекул проникають в систему пор і вступають в реакцію з бетоном, утворюючи гідрофобну поверхню. Важливою їх перевагою є збереження можливості випаровування вологи з бетону, на відміну від поверхневих покриттів або порових блокаторів, де волога накопичується під цими шарами і не може вільно випаровуватися. Ця дія може викликати тиск води на бетонну основу під поверхнею покриття або порових блокаторів із наступним пошкодженням бетону за рахунок розширення води в умовах заморожування.

**Мета та завдання.** На підставі аналізу результатів визначення фізико-механічних характеристик бетону покриття ЗПС запропонувати ремонтні заходи для зупинення процесу руйнування покриття і стабілізації ситуації без фрезерування ушкоджених ділянок.

**Методика відбирання кернів бетонного покриття.** Відповідно до виявлених дефектів і руйнувань була розроблена методика відбирання кернів бетонного покриття та їх розпилювання на контрольні зразки. Відбирання кернів здійснювали відповідно до вимог [7]. Керни вибурювали установкою алмазного буріння HILTIDD 350 на ушкоджених ділянках покриття, а також на ділянках без видимих руйнувань для порівняльного аналізу. Частину

кernів вибурували на повну глибину покриття, але у зв'язку з високою трудомісткістю робіт, обмеженим часом доступу на ЗПС і переважним інтересом до бетону верхнього шару покриття глибина відбирання kernів здебільшого становила 25-30 см. Були відібрані kernи бетону двох діаметрів: №№ 1, 2, 3, 7, 8, 9 – 178 мм, №№ 4, 5, 6, 10 – 248 мм.

**Методика підготовки контрольних зразків із kernів.** Для подальших досліджень фізико-механічних властивостей бетону готували контрольні зразки шляхом випилювання з kernів алмазними дисковими пилами зразків-кубів розміром 70 мм і зразків неправильної геометричної форми (рис. 3.).

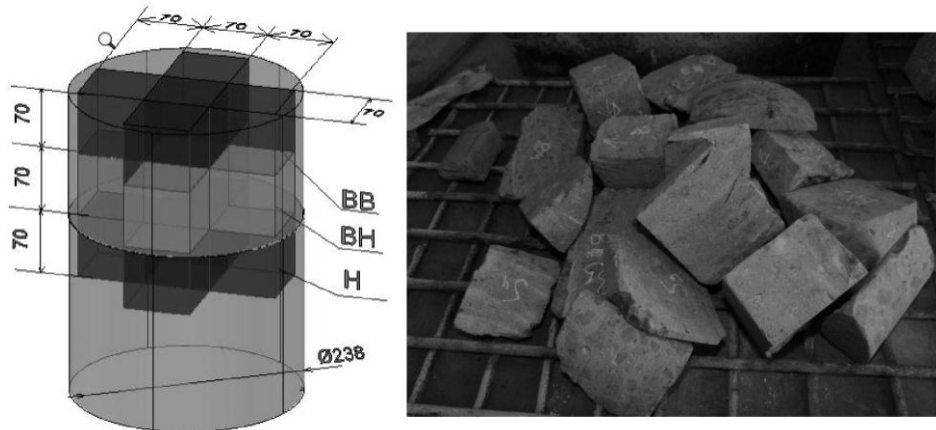


Рис. 3. Схема випилювання зразків кубів 70 мм із kernів діаметром 248 мм

При цьому, з верхнього шару покриття завтовшки 15 см отримували зразки-куби поверхневого шару (жовтий колір, позначення – BB) і глибинного шару (фіолетовий колір, позначення – BH). Куби, отримані з нижнього шару (зелений колір), позначали - H. Зразки неправильної форми, які залишилися після випилювання кубів, використовували для визначення середньої густини, вологості, тощо.

**Методика визначення міцності на стиск бетону неруйнівним методом.** Міцність на стиск бетону неруйнівним методом визначали відповідно до вимог [8] за допомогою склерометра TEST HAMMER безпосередньо на ЗПС (рис. 4, а) і в лабораторії (рис. 4, б). Кількість випробувань на одній точці складала не менше 6.

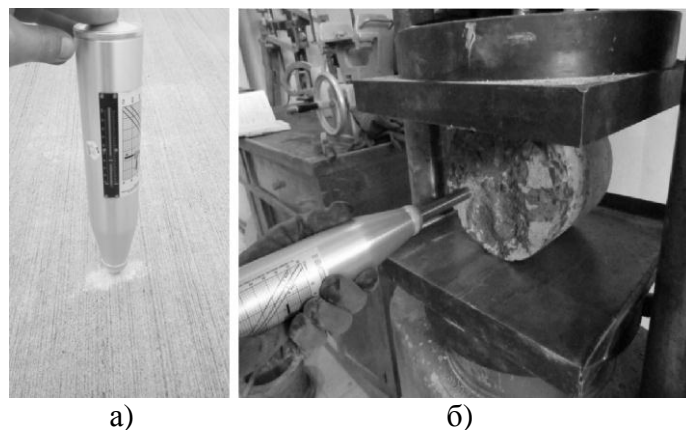


Рис. 4. Визначення міцності на стиск бетону неруйнівним методом за допомогою склерометра TEST HAMMER на ЗПС (а) і в лабораторії (б)

**Методика визначення міцності на стиск бетону шляхом випробування зразків, отриманих розпилем kernів.** Міцність бетону на стиск визначали шляхом випробування контрольних зразків-кубів розміром 70 мм і безпосередньо kernів діаметром 178 мм на пресах відповідно потужністю 500 кН і 2000 кН. Випробовували зразки з ушкоджених і неушкоджених ділянок покриття ЗПС.

**Аналіз результатів дослідження.** За результатами визначення фізико-механічних властивостей бетону покриття зроблено наступні висновки.

Середня густина бетону поверхневого шару покриття (ВВ – 0-7 см) знаходиться в межах 2170-2300 кг/м<sup>3</sup>, середня густина бетону глибинного шару покриття (ВН – 7-15 см) – 2320-2370 кг/м<sup>3</sup>. Різниця густини бетону за висотою верхнього шару покриття (0-15 см) пов'язана з водовідділенням бетонної суміші і стіканням цементного молочка вглиб шару. Різниця в значеннях середньої густини бетону ушкоджених і неушкоджених ділянок покриття не спостерігається.

Значення природної вологості бетону не залежить від його розташування за глибиною покриття і знаходиться в межах 1,0-1,5 мас. %.

Водопоглинання бетону поверхневого шару покриття (ВВ – 0-7 см) перевищує відповідні значення для бетону глибинного шару (ВН), що свідчить про більший об'єм відкритої пористості у поверхневому шарі бетону і, відтак – послаблення його структури. Водопоглинання бетону нижнього шару покриття (Н – 15-45 см) менше показника для верхнього шару (0-15), що свідчить про більш досконалу його структуру.

Міцність бетону на стиск в покритті, визначена неруйнівним методом, на 20-25 МПа більша для неушкоджених ділянок порівняно з ушкодженими. Для бетону кернів покриття закономірність зберігається, хоча і з меншою різницею.

На ушкоджених ділянках міцність бетону на стиск за висотою верхнього шару різниться: для поверхневого шару (0-7 см) вона менша порівняно з глибинним шаром на 5-13 МПа. Для неушкоджених ділянок різниця в показниках міцності за висотою верхнього шару покриття немає.

Враховуючи істотну різницю міцності бетону покриття ЗПС на ушкоджених і неушкоджених ділянках, а також різницю в показниках водопоглинання, середньої густини і міцності на стиск бетону за висотою верхнього шару покриття (0-15 см), для стабілізації ситуації та зупинення процесу руйнування бетонного покриття необхідно застосувати просочування хімічними реагентами для зміцнення поверхневого шару та надання йому гідрофобних властивостей із збереженням паропрохідності.

Для ліквідації викришувань використовувати гідроізоляційну суміш PAGEL C1 та швидкотверднучий двухкомпонентний будівельний розчин на акрилатній основі Peragohud, які позитивно зарекомендували себе під час проведення ремонтних заходів.

**Тест на гідрофобність.** Для дослідження ефективності захисту ушкодженого бетонного покриття було обрано 6 композицій різної природи і різного механізму дії: утворення захисного покриття, блокування пор, герметизація пор. Перевагу було надано всесвітньо відомим виробникам, які мають значний досвід виробництва матеріалів для захисту бетонних і залізобетонних конструкцій.

В процесі дослідження було використано наступні реагенти:

1. MasterProtect® H303 – гідрофобізатор компанії “BASF”;
2. Mapecrete LI Hardener – водний розчин модифікованого силікату літію компанії “MAPEI”;
3. Pavix CCC100® – гідроізоляційний реагент корпорації International Chem-Crete;
4. Sikagard-703W – захисне покриття компанії Sika.
5. Полімерна композиція на основі метил-метакрилату компанії “PEMM”;
6. Sinak Sealer HLQ-125 – гідроізоляційний герметик компанії “SINAK Corporation”.

Всі хімічні реагенти спричинили позитивний вплив на міцність бетону. Зростання міцності коливається в межах 4-11 МПа, за виключенням полімерної композиції на основі ММА, де збільшення міцності сягає 11,5 МПа.

Порівнювали характер змочування водою оброблених реагентами бетонних поверхонь і без оброблення. Спостереження за характером змочування водою обробленої поверхні здійснювали протягом однієї години з моменту нанесення 1см<sup>3</sup> води на поверхню (рис. 5).



Рис. 5. Характер змочування бетонної поверхні, обробленої реагентом Ravix CCC100<sup>®</sup> (а) і необробленої (б)

Гідроізолятор для бетону Ravix CCC100<sup>®</sup> є добавкою гідрофобізуючо-кольматуючо-протиморозно-просочувальною. Продукт реагує з новоутвореннями цементного каменю (гідроксиди кальцію, трикальцієвий силікат) в пористій структурі бетону. Результатом реакції є утворення нерозчинних гідрофільних зерен силікату кальцію, які поглинають рідину і блокують її проходження через бетон.

За результатами попередніх досліджень було прийнято рішення обробити реагентами Sikagard-703W і Ravix CCC100<sup>®</sup> дослідні ділянки ушкодженого покриття ЗПС аеродрому площею приблизно 5 м<sup>2</sup>. Після нанесення реагентів покриття піддавалося впливу атмосферних опадів у вигляді снігу та дощу, переходу температури через 0 °С, дії антиожеледних хімічних реагентів. Вигляд дослідних ділянок представлено на рис. 6. Ділянки є сухими, без висолів. Свідомо, під час нанесення реагентів внутрішню невелику частину ділянок залишали необробленими, (рис. 6, б).



Рис. 6. Вигляд дослідної ділянки ЗПС, обробленої реагентом Ravix CCC100<sup>®</sup>: а – в сухому стані; б – після нанесення води

Результати візуального огляду підтверджують високі водовідштовхуючі властивості застосованих реагентів на дослідних ділянках ЗПС.

У вересні 2017 р. аеродромною службою Державного підприємства “Міжнародний аеропорт “Львів” ім. Данила Галицького” та компанією “Уніпром” було здійснено оброблення ушкодженої ділянки ЗПС від ПК 29+70 до ПК 31+45 розміром 175×30 м площею 5250 м<sup>2</sup> реагентом Ravix CCC100<sup>®</sup> для запобігання подальшого луцнення бетонного покриття (рис. 7).



Рис. 7. Оброблення бетонної поверхні ЗПС гідроізолятором Ravix CCC100<sup>®</sup>

Було досягнуто повної гідрофобності поверхні, за рік експлуатації ЗПС не виявлено нових руйнувань на обробленій бетонній поверхні.

**Загальні висновки.** 1. Результатами візуального огляду ділянки бетонного покриття ЗПС аеродрому аеропорту “Львів” зафіксовано наявність руйнувань бетону у вигляді лущення і викришування глибиною до 25 мм. Після вибурювання кернів покриття візуально встановлено наявність значної кількості макропор в тілі бетону і наявність сторонніх включень (кора дерева, зерна пісковика, поліетиленова плівка).

2. Дослідженнями встановлено істотну різницю міцності бетону покриття ЗПС на ушкоджених і неушкоджених ділянках, а також різницю в показниках водопоглинання, середньої густини і міцності на стиск бетону за висотою верхнього шару покриття (0-15 см). Для зупинення процесу руйнування бетонного покриття необхідно застосувати просочування хімічними реагентами для зміцнення поверхневого шару та надання йому гідрофобних властивостей із збереженням паропроникності.

3. Ефективність захисних матеріалів визначали за критеріями зміцнення поверхневого шару бетону, зміни водопоглинання обробленого бетону і надання гідрофобних властивостей бетонній поверхні в результаті оброблення. Найкращі результати продемонстрували реагенти Sikagard-703W(Sika) і Pavix CCC100<sup>®</sup> (International CHEM-CRETE Corporation). Враховуючи цільове призначення і позитивний досвід використання реагенту Pavix CCC100<sup>®</sup> в аеропортах США, Росії, України і відсутність такого для реагенту Sikagard-703W, рекомендовано застосувати для ремонту ушкодженої ділянки ЗПС аеродрому саме реагент Pavix CCC100<sup>®</sup>.

4. Оброблення дослідної ділянки (25 м<sup>2</sup>) у 2016р. та ушкодженої ділянки ЗПС площею 5250 м<sup>2</sup> у 2017 р. підтвердили правильність вибору захисного реагенту Pavix CCC100<sup>®</sup>. На обробленій реагентом ділянці зупинено процес лущення та викришування бетону. Моніторинг стану покриття продовжується.

### Література

1. Vries J., Polder R.B. Hydrophobic treatment of concrete, *Construction and Building Materials*, 11, 4, pp. 259-265, 1997.
2. Basheer P.A.M., Basheer L., Cleland D.J. and Long A.E. Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance, *Construction and Building Materials*, 11, 7 – 8, pp. 413 – 429, 1997.
3. Almusallam A.A., Khan F.M., Dulaijan S.U. and Al-Amoudi O.S.B. Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability, *Cement and Concrete Composites*, 25, pp. 473 – 481, 2003.
4. Medeiros M.H.F. and Helene P. Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete, *Materials and Structures*, 41, 1, pp. 59 – 71, 2008.
5. Yang C.C., Wang L.C. and Weng T.L. Using charge passed and total chloride content to assess the effect of penetrating silane sealer on the transport properties of concrete, *Materials Chemistry and Physics*, 85, pp. 238 – 244, 2004.
6. Ibrahim M., Al-Gahtani S., Maslehuddin M. and Almusallam A.A. Effectiveness of concrete surface treatment materials in reducing chloride-induced reinforcement corrosion, *Construction and Building Materials*, 11, pp. 443 – 451, 1997.
7. ДСТУ Б В.2.7-223:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 12 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 20 с.

References

1. Vries J., Polder R.B. Hydrophobic treatment of concrete, *Construction and Building Materials*, 11, 4, pp. 259-265, 1997.
2. Basheer P.A.M., Basheer L., Cleland D.J. and Long A.E. Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance, *Construction and Building Materials*, 11, 7 – 8, pp. 413 – 429, 1997.
3. Almusallam A.A., Khan F.M., Dulaijan S.U. and Al-Amoudi O.S.B. Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability, *Cement and Concrete Composites*, 25, pp. 473 – 481, 2003.
4. Medeiros M.H.F. and Helene P. Efficacy of surface hydrophobic agents in reducing water and chloride ion penetration in concrete, *Materials and Structures*, 41, 1, pp. 59 – 71, 2008.
5. Yang C.C., Wang L.C. and Weng T.L. Using charge passed and total chloride content to assess the effect of penetrating silane sealer on the transport properties of concrete, *Materials Chemistry and Physics*, 85, pp. 238 – 244, 2004.
6. Ibrahim M., Al-Gahtani S., Maslehuddin M. and Almusallam A.A. Effectiveness of concrete surface treatment materials in reducing chloride-induced reinforcement corrosion, *Construction and Building Materials*, 11, pp. 443 – 451, 1997.
7. DSTU В V.2.7-223:2009 Будівельні матеріали. Бетон. Методика визначення міцності за зразками, видібраними з конструкцій. К.: Міністерство будівництва України, 2010.
8. DSTU В V.2.7-220:2009 Бетон. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. К.: Міністерство будівництва України, 2010.

**ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ И РЕМОНТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ  
ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ УЧАСТКА БЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ВПП  
МЕЖДУНАРОДНОГО АЭРОПОРТА “ЛЬВОВ” ИМ. ДАНИЛА ГАЛИЦКОГО**

**Солодкий С.И.**, д.т.н, профессор,  
**Турба Ю.В.**,

ORCID: 0000-0003-3692-8890

*Национальный университет “Львовская политехника”*  
s.solodkyy@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9829-5123

**Воробец А.В.**,

**Женчак Р.В.**,

*Государственное предприятие “Международный аэропорт “Львов” им. Данила Галицкого”*  
a.vorobets@airport.lviv.ua

**Аннотация.** В 2010-2012 гг. в рамках подготовки к чемпионату Евро-2012 по футболу была осуществлена полная реконструкция аэродрома аэропорта «Львов» с устройством бетонной взлетно-посадочной полосы длиной 3305 м и шириной 45 + 2×1,5 м следующей конструкции: монолитный цементобетон В<sub>тбб</sub> 4.0/50 толщиной 450 мм; постный бетон М75-400 мм; грунтоцемент М40-250 мм; уплотненный грунт. Статья посвящена диагностике состояния бетонного покрытия поврежденного участка взлетно-посадочной полосы аэропорта «Львов» и разработке рекомендаций по защите покрытия и предотвращения дальнейшего разрушения бетона. После нескольких лет эксплуатации на бетонном тротуаре взлетно-посадочной полосы аэродрома появился урон в виде отслаивания и сколов. Исследованы показатели средней плотности, влажности, водопоглощения, прочности на сжатие бетона в характерных местах поперечного сечения покрытия толщиной 45 см. Сделан сравнительный анализ физико-механических характеристик бетона по высоте покрытия для поврежденных и неповрежденных участков взлетно-посадочной полосы. Анализ показал более низкие показатели прочности, средней плотности и более высокого водопоглощения бетонного поверхностного слоя. Исследовано влияние гидрофобизации бетонной

поверхности на химические реактивы ведущих мировых производителей (BASF, SIKA, Mapei, CHEM-CRETE Corporation и др.). На основе результатов теста на гидрофобность бетонной поверхности после обработки реагентами разной природы и механизма действия рекомендовано для защиты покрытия использование гидроизолятора для бетона Pavix CCC100®. Осуществляется мониторинг состояния покрытия после обработки, который свидетельствует о высокой эффективности применения реагента.

**Ключевые слова:** аэродромный бетон, выкрышивание, водопоглощение, прочность бетона, гидрофобность, гидроизолятор.

## DIAGNOSTICS AND REPAIRS OF CONCRETE PAVEMENT RUNWAY SECTION OF LVIV DANYLO HALYTSKYI INTERNATIONAL AIRPORT

**Solodkyy S.J.**, Doctor of Science, Professor,

**Turba Yu.V.**,

ORCID: 0000-0003-3692-8890

*Lviv Polytechnic National University*

s.solodkyy@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9829-5123

**Vorobec A.V.**,

**Zhenchak R.V.**,

*State Enterprise "Lviv Danylo Halytskyi International Airport"*

a.vorobets@airport.lviv.ua

**Abstract.** In 2010-2012, in the framework of preparation for the Euro 2012 football championship, a complete reconstruction of the airport «Lviv» was carried out with the installation of airport runway of 3305 m long and 45 + 2×1.5 m wide of the following construction: monolithic cement concrete Btbb 4.0/50 with a thickness of 450 mm; lean concrete M75-400 mm; ground cement M40-250 mm; compacted soil. The article is devoted to the diagnostics of the condition of a concrete pavement of the damaged section of the «Lviv» airport runway and the development of recommendations for the protection of the pavement and prevention of further deterioration of concrete. After several years of operation a damage in the form of peeling and scaling on the concrete pavement of the runway of the aerodrome appeared. Cores of concrete pavement in the characteristic areas of the cross-section of the thickness of 45 cm were cut out and the indexes of average density, humidity, water absorption, compressive strength of concrete were studied. A comparative analysis of the physical and mechanical characteristics of the concrete at the height of the pavement for damaged and undamaged sections of the runway was carried out. The analysis showed lower indexes of strength, average density and higher water absorption of concrete surface layer. The effect of hydrophobization of the concrete surface with chemical reagents of the leading world producers (BASF, SIKA, Mapei, CHEM-CRETE Corporation, etc) was investigated. On the basis of the results of the test for hydrophobicity of the concrete surface after treatment with reagents of different nature and mechanism of action it is recommended to protect pavement using Pavix CCC100® waterproofing for concrete. Monitoring of the pavement after treatment indicates the high efficiency of the reagent.

**Keywords:** aerodrome concrete, scaling, water absorption, concrete strength, hydrophobicity, waterproofing.

Стаття надійшла 30.11.2018