



21-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA**,  
vykusios 2018 m. gegužės 4-5 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 21th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 4-5 May 2018, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 21-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 4-5 мая 2018 г., Вильнюс, Литва

## АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ОБЪЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ АЭРОДРОМОВ УКРАИНЫ

Галина Агеева

*Национальный авиационный университет,  
Учебно-научный институт аэропортов, Киев, Украина,  
E-mail: agieieva@nau.edu.ua*

**Аннотация.** Эксплуатационная пригодность искусственных покрытий взлетно-посадочных полос (ВПП) во многом определяет безопасность полетов, качество и уровень предоставляемых аэропортами услуг. Объектами исследований являются аэродромные покрытия ВПП сертифицированных аэродромов Украины (по состоянию на 30.11.2017 г.). Выполнена дифференциация данных покрытий по типам, прочности оснований, кодовым обозначениям аэродромов. Оценена возможность и условия эксплуатации расчетного типа воздушного судна B737-800/900 на покрытиях десяти ВПП, реконструкция которых является одним из стратегических направлений развития авиации Украины до 2030 г.

**Ключевые слова:** аэродромные покрытия, сертификация, эксплуатационная пригодность, реконструкция.

### Введение

В 2017 г. в Украине коммерческие рейсы отечественных и иностранных авиакомпаний обслуживали 20 аэропортов и аэродромов. Пассажиропоток составил более 16 млн. авиапассажиров; объем почтово-грузовых перевозок – 52,3 тис.т. (*Міністерство інфраструктури* 2017).

При этом 98% общего объема авиационных перевозок пассажиров, грузов и почты осуществляли 7 ведущих аэропортов – Борисполь, Киев (Жуляны), Одесса, Львов, Харьков, Запорожье и Днепр (ДАСУ 2017). Прогнозируется увеличение общего пассажиропотока до 24,3 млн. чел. в 2023 г. (КМУ 2016), до 71,2 млн. чел. в 2030 г. (Міністерство інфраструктури 2018), в т.ч. до 50% через региональные аэропорты. Качественное изменение структуры авиационных перевозок в целом повышает требования и к аэродромам, пропускная способность которых во многом определяет пропускную способность аэропортов.

В свою очередь, пропускная способность аэродромов зависит от ряда факторов, в т.ч. эксплуатационной пригодности покрытий взлетно-посадочных полос (ВПП).

### Анализ последних исследований и публикаций

Повышение транзитного потенциала главного между-

народного авиационного транспортного узла – аэропорта «Борисполь» – одно из ключевых направлений Государственной целевой программы развития аэропортов Украины на период до 2023 г. (КМУ 2016).

Проектом авиационной транспортной стратегии Украины на период до 2030 г. предусмотрено проведение комплексных исследований состояния региональных аэропортов с последующей модернизацией для эксплуатации воздушных судов (ВС) типа B-777, B-737-800/900, A-320/321, Ан-148/158, Ан-178 без ограничений (*Міністерство інфраструктури* 2017).

Среди проблем, требующих решения, – проведение реконструкции аэродромов с учетом требований европейских регламентов относительно сертификации гражданских аэродромов.

Искусственные покрытия ВПП, как составляющие системы обеспечения безопасности полетов ВС, являются одним из объектов обязательной сертификации аэродромов Государственной авиационной службой Украины (ДАСУ 2006). Большая часть ВПП в Украине построена во второй половине XX в., имеет разные конструктивные решения, условия эксплуатации и, как следствие, отличные друг от друга показатели эксплуатационной пригодности.

Ряд аэропортов прекращал функционирование (например, аэропорт «Винница») или обслуживал незначительные по объемам авиаперевозки.

В аэропортах «Борисполь» (2001-2002 гг.), «Харьков» (2011 г.) построены новые ВПП длиной 4000 и 2500 м соответственно. В аэропорту «Львов» (2012 г.) проведена реконструкция ВПП с удлинением до 3305 м. Это позволило данным аэропортам занять лидирующие места на рынке авиаперевозок.

Пригодность к эксплуатации – результат оценки соответствия покрытия сертификационным условиям (действующим нормам и правилам) (ICAO 2001).

Данные о несущей способности искусственных аэродромных покрытий представляются в кодированном виде и представляют собой интегральную характеристику работы конструкции под воздействием нагрузки от ВС (ICAO 2009).

Анализ конструктивных решений покрытий аэродромов классов А, Б, В, проведенный в конце XX века, позволил выявить три основных типа искусственных покрытий:

1. однослойные цементобетонные, армобетонные и железобетонные;
2. двухслойные с верхним армобетонным слоем;
3. цементобетонные, усиленные асфальтобетоном (Агеева 2012).

Первые два – покрытия жесткого типа. Третий тип – покрытия жесткого типа, усиленные асфальтобетоном, размеры слоя которого, в ряде случаев, достигали 0,3 м.

В процессе эксплуатации меняются не только характеристики покрытия, но и основания. Результаты штампových испытаний покрытий, эксплуатируемых несколько десятилетий, позволили установить значительный разброс расчетных значений интегральных показателей прочности оснований – коэффициента постели. Отклонения расчетных значений коэффициента постели для отдельных участков от среднего значения превысили 50 %. Как результат, участки основания линейно протяженного аэродромного сооружения были отнесены к разным категориям прочности, а само сооружение условно поделено на участки с отличными друг от друга показателями эксплуатационной пригодности – значениями PCN (Агеева 2010).

Значения PCN, полученные для различных участков и зон покрытий, используют для получения качественной картины эксплуатационной пригодности сооружений (Агеева, Кривельов 1998; Shao *et al.* 2014).

Методика «гомогенизирования» значений PCN, полученных в процессе натуральных испытаний покрытий Super Heavy Weight Deflectometer (SuperHWD), позволяет использовать их в ГИС системах управления аэропортом (Busch *et al.* 2013).

**Объектами исследований** являются искусственные покрытия ВПП сертифицированных аэродромов Украины.

**Цель статьи** – оценить эксплуатационную пригодность искусственных покрытий ВПП, реконструкция которых является одним из стратегических направлений развития авиации Украины до 2030 г.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ архивных данных;
- анализ данных сертификации аэродромов Украины;
- дифференциация данных сертификации аэродромов, подлежащих реконструкции, с выделением первоочередных объектов;
- оценка эксплуатационной пригодности методом ACN-PCN при условии эксплуатации стратегических типов ВС.

По состоянию на 30.11.2017 г. в Украине сертифицировано 27 гражданских аэродромов, в т. ч. 1 – класса А, 3 – класса Б, 15 – класса В, 6 – класса Г, 2 – класса Д (ДАСУ 2017).

На территории данных аэродромов размещено:

- 2 ВПП с грунтовыми покрытиями;
- 26 ВПП с искусственными покрытиями, в т. ч. 20 – с жесткими (усиленным или не усиленным асфальтобетоном) и 6 – с нежесткими.

Для оценки эксплуатационной пригодности каждой ВПП с искусственным покрытием использован метод ACN-PCN (Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number), позволяющий при заданной прочности основания в кодированной форме представить информацию (Аэропроект 1984; *Advisory Circular 150/5335-5C* 2014):

- о несущей способности покрытия ВПП (классификационное число PCN);
- о влиянии опор ВС на покрытие ВПП (классификационное число ACN).

Классификационное число PCN является интегральным показателем, составляющие которого характеризуют:

- несущую способность покрытия;
- тип покрытия;
- прочность основания;
- допустимое давление в пневматиках колес основной опоры ВС;
- метод определения несущей способности покрытия.

Искусственные покрытия ВПП сертифицированных аэродромов Украины характеризуются квалификационными числами PCN от 13 до 80 (рис. 1), в т. ч. жесткие покрытия – от 13 до 80, нежесткие покрытия – от 13 до 31.

Большая часть количественных показателей – двадцать два значения классификационных чисел PCN – получена в результате технической оценки, в т.ч. теоретическими методами.

Остальные четыре – на основе опыта эксплуатации конкретного типа ВС заданной массы на покрытиях:

- **жесткого типа** с PCN=40 (класс аэродрома Б); PCN=32 (класс аэродрома В); PCN=21 (класс аэродрома В);
- **нежесткого типа** с PCN=31 (класс аэродрома В).

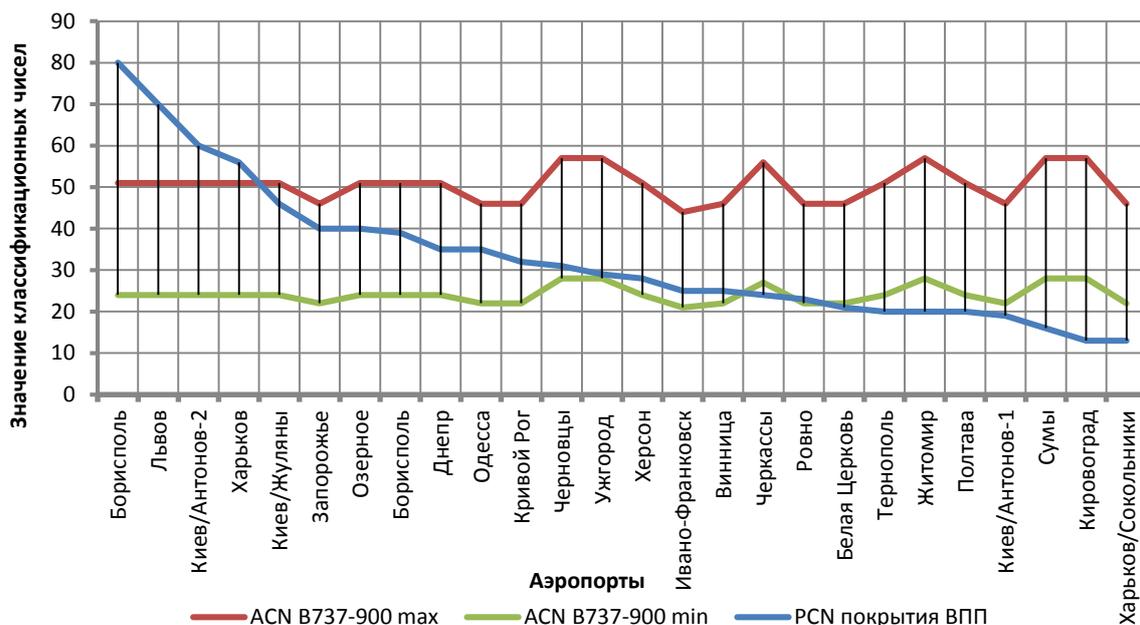


Рис. 1. Количественные показатели эксплуатационной пригодности искусственных покрытий ВПП

Большая часть оснований покрытий относится к категории «низкой» (двенадцать ВПП) и «очень низкой» (пять ВПП) прочности (таблица 1, таблица 2).

Более половины (55%) покрытий жесткого типа лежат на основаниях «низкой» прочности. Все покрытия нежесткого типа – на основаниях «низкой» и «очень низкой» прочности.

Таблица 1. Качественные показатели оснований покрытий жесткого типа

| Кол-во покрытий | Код основания | Категория прочности | Коэффициент постели, МН/м <sup>3</sup> |                      |
|-----------------|---------------|---------------------|--|----------------------|
|                 |               |                     | диапазон                               | стандартное значение |
| 1               | A             | Высокая             | ≥120                                   | 150                  |
| 8               | B             | Средняя             | 61-120                                 | 80                   |
| 11              | C             | Низкая              | 25-60                                  | 40                   |

Таблица 2. Качественные показатели оснований покрытий нежесткого типа

| Кол-во покрытий | Код основания | Категория прочности | Значение числа СBR |                      |
|-----------------|---------------|---------------------|--------------------|----------------------|
|                 |               |                     | диапазон           | стандартное значение |
| 1               | C             | Низкая              | 4-8                | 6                    |
| 5               | D             | Очень низкая        | <4                 | 3                    |

Объектами стратегического планирования реконструкции являются следующие аэропорты (таблица 3). В качестве расчетных типов приняты ВС, эксплуатация которых возможна на аэродромах с кодовыми обозначениями 4С (В-737-800/900, А-320/321, Ан-148/158, Ан-178) и 4Е (В-777). Данные коды устанавливают требования к линейным размерам:

- расчетной длины ВПП (не менее 1800 м);
- максимальному размаху крыльев ВС и

расстоянию между внешними кромками внешних колес основных опор ВС, м.

Таблица 3. Потребность в обеспечении эксплуатационной пригодности для эксплуатации расчетных типов ВС без ограничений

| Аэропорт      | Расчетные типы ВС |               |           |            |        |
|---------------|-------------------|---------------|-----------|------------|--------|
|               | В-777             | В-737-800/900 | А-320/321 | Ан-148/158 | Ан-178 |
| Запорожье     | +                 | +             | +         | -          | -      |
| Львов         | +                 | +             | +         | -          | -      |
| Одесса        | +                 | +             | +         | -          | -      |
| Харьков       | +                 | +             | +         | -          | -      |
| Херсон        | +                 | +             | +         | -          | -      |
| Белая Церковь | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Винница       | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Днепр         | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Ив-Франковск  | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Киев          | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Кривой Рог    | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Мариуполь*)   | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Николаев*)    | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Полтава       | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Ровно         | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Сумы          | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Тернополь     | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Ужгород       | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Черкасы       | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Черновцы      | -                 | +             | +         | -          | -      |
| Другие        | -                 | -             | -         | +          | +      |

Примечание: \* – по состоянию на 30.11.2017 г. аэродромы не сертифицированы.

Выбор объектов реконструкции базируется на приоритетности задач Государственной целевой программы (КМУ 2016) и роли аэропорта в стратегии развития региона (Маринцева 2014; Кулик, Онищенко 2016).

Первоочередными являются работы по ремонту ВПП и реконструкции аэродромов классов В и Г.

Реконструкции подлежат восемь аэродромов с покрытием жесткого типа с PCN от 20 до 56, два аэродрома с покрытием нежесткого типа – PCN=24, PCN=31. Основания данных покрытий имеют среднюю (пять ВПП), низкую (три ВПП) и очень низкую (одна ВПП) прочность (таблица 4).

Данные аэродромы в стандартных условиях имеют ВПП с искусственным покрытием, длины которых составляют не менее 1800 (класс В) и 1300 м (класс Г).

**Таблица 4.** Запланированные виды ремонтно-реконструктивных работ

| Аэропорт                        | Класс | PCN покрытия ВПП |
|---------------------------------|-------|------------------|
| <b>Ремонт ВПП</b>               |       |                  |
| Запорожье                       | В     | 40/R/B/W/T       |
| Одесса                          | В     | 35/R/B/X/T       |
| Сумы                            | В     | 16/F/D/X/T       |
| Ужгород                         | Г     | 29/F/D/X/T       |
| <b>Реконструкция аэродромов</b> |       |                  |
| Днепр                           | В     | 35/R/C/X/T       |
| Винница                         | В     | 25/R/B/W/T       |
| Запорожье                       | В     | 40/R/B/W/T       |
| Одесса                          | В     | 35/R/B/X/T       |
| Полтава                         | В     | 20/R/C/X/T       |
| Ровно                           | В     | 23/R/B/X/T       |
| Тернополь                       | Г     | 20/R/C/W/T       |
| Харьков                         | В     | 56/R/C/X/T       |
| Черкассы                        | В     | 24/F/C/Y/T       |
| Черновцы                        | В     | 31/F/D/X/U       |

В соответствии с классификацией ИКАО (ICAO, 2009) данные аэродромы предназначены для эксплуатации типов ВС, размах крыльев которых не превышает 36 м, а расстояние между внешними кромками основного шасси не превышает 9 м (таблица 5).

**Таблица 4.** Кодовые обозначения аэродромов

| Аэропорт  | Код (ИКАО) | Наличие ограничений интенсивности взлетно-посадочных операций или массы ВС |
|-----------|------------|--|
| Полтава   | 3С         | -  |
| Тернополь | 3С         | Есть   |
| Днепр     |            |  |
| Запорожье | 4С         | -  |
| Черновцы  |            |  |
| Винница   |            |  |
| Одесса    | 4С         | Есть   |
| Ровно     |            |  |
| Харьков   | 4С         | -  |
|           | 4D         | При условии предварительного согласования с эксплуатантом аэродрома        |

В качестве примера следует привести несколько типов ВС с соответствующими кодовыми обозначениями: 3С (Ан-30, Ан-72, А318-100), 4С (Ан-148, А321, А320-200, В737), 4 D (Ил-76, В767-300).

Для дальнейших исследований в качестве расчетного типа ВС примем В737-800/900, влияние опор

которого на искусственное покрытие ВПП оценивается следующими значениями ACN (таблица 5, рисунок 1).

**Таблица 5.** Значения ACN (Transport Canada 2001)

| Тип покрытия    | Код основания покрытия (максимальная масса ВС / минимальная масса ВС) |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|
|                 | A   | B     | C     | D     |
| <b>В737-800</b> |   |       |       |       |
| Жесткое         | 44/21   | 46/21 | 51/23 | 56/26 |
| Нежесткое       | 51/24   | 53/25 | 56/26 | 57/27 |
| <b>В737-900</b> |   |       |       |       |
| Жесткое         | 44/21   | 46/22 | 51/24 | 56/28 |
| Нежесткое       | 51/24   | 53/26 | 56/27 | 57/28 |

Для оценки возможности эксплуатации ВПП в качестве расчетного типа принимаем ВС В-737-900 (максимальной/минимальной массы 78,158/42,828 т) с большими значениями ACN для категорий оснований В, С, D.

Величины соотношений классификационных чисел ACN и PCN покрытий ВПП, подлежащих первоочередной реконструкции представлены в таблице 6. Девять из десяти рассматриваемых покрытий ВПП не удовлетворяют основному условию возможности эксплуатации данного типа ВС без ограничений.

**Таблица 6.** Оценка возможности эксплуатации В737/900

| Аэропорт  | PCN/ACN | Выполнение основного условия возможности эксплуатации без ограничений: ACN ≤ PCN | Предельная суточная интенсивность полетов ВС |
|-----------|---------|--|--|
| Днепр     | 0,67    | Нет  | 1  |
| Винница   | 0,54    | Нет  | -  |
| Запорожье | 0,87    | Нет  | 10   |
| Одесса    | 0,76    | Нет  | 1  |
| Полтава   | 0,39    | Нет  | -  |
| Ровно     | 0,50    | Нет  | -  |
| Тернополь | 0,39    | Нет  | -  |
| Харьков   | 1,10    | Да   | Без ограничений                              |
| Черкассы  | 0,43    | Нет  | -  |
| Черновцы  | 0,57    | Нет  | 5  |

В аэропортах «Днепр», «Запорожье», «Одесса», «Черновцы» эксплуатация возможна только при условии ограничения суточной интенсивности полетов и максимальной взлетной массы ВС до 52,081 (Черновцы), 57,368 (Днепр, Одесса) и 63,978 т (Запорожье).

Для эксплуатации данного типа ВС без ограничений массы и интенсивности взлетно-посадочных операций необходимо повысить несущую способность покрытий на 13-61%. Нижний предел соответствует покрытию ВПП аэропорта «Запорожье», верхний – покрытиям ВПП аэропортов «Полтава», «Тернополь».

Анализ графических зависимостей рисунка 1 свидетельствует о том, что в настоящее время для обслуживания перевозок авиапассажиров эксплуатация данного типа ВС без ограничений массы и количества взлетно-посадочных операций возможна толь-

ко в трех аэропортах – «Борисполь», «Львов», «Харьков».

## Выводы

Эксплуатационная пригодность искусственных покрытий сертифицированных аэродромов оценивается интегральными показателями, которые позволяют оценить возможность эксплуатации расчетных типов ВС и, при необходимости, установить ограничения массы или интенсивности полетов.

Для обеспечения условий эксплуатации воздушных судов типа В737-800/900 без ограничения интенсивности полетов и взлетной массы необходимо повысить на 13-61% несущую способность покрытий ВПП, подлежащих первоочередной реконструкции.

Дифференциация данных сертификации аэродромов, подлежащих реконструкции, позволяет выбрать и унифицировать соответствующие модели для последующего расчетно-теоретического анализа напряженно-деформированного состояния искусственных покрытий.

## Литература

- Advisory Circular 150/5335-5C*. 2014. Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN, US Department of Transportation, Federal Aviation Administration. – 90 p. [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150-5335-5c.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5335-5c.pdf).
- Агеева, Г. М.; Кривельов, Л. І. 1998. Моніторинг реконструкції жорстких аеродромних покриттів, *Вісник НАУ* 1.: 397–401. <http://dx.doi.org/10.18372/2306-1472.1.11002>.
- Агеева, Г. М. 2010. Натурні дослідження розрахункових параметрів ґрунтових основ аеродромних покриттів, *Современные проблемы строительства* 13: 103–108. Available at: <http://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/17097/1/AG-2010-103-108.pdf>.
- Агеева, Г. М. 2012. Особливості підсилення аеродромних покриттів за результатами експериментального оцінювання експлуатаційної придатності, *Вісник НУ "Львівська політехніка"* 742: 4–11. Available at: <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/9580>.
- Аэропроект 1984. Руководство по оценке несущей способности аэродромных покрытий методом ACN-PCN. - 22 с. (in Russian).
- Busch, C.; Korsgaard, H. C.; Schlotz, U. 2013. Homogeneous reporting of Pavement Classification Number (PCN) in an Airport Pavement Management System: *Ninth International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*: 113-122 (in Norway).
- Державна авіаційна служба України (ДАСУ). 2006. Наказ 407 Про затвердження Правил сертифікації аеропортів. – Available from Internet: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0740-06>.
- Державна авіаційна служба України (ДАСУ). 2017. Аеропорти. Сертифікація. Аеродроми України (30.11.2017). – Available from Internet: <http://avia.gov.ua/aeroporti-2/serifikatsia-aerodromiv/>.
- International Civil Aviation Organization (ICAO)*. 2001. Manual on Certification of Aerodromes. DOC; 9774-AN/969. Montreal, Quebec, Canada. 48 p.
- International Civil Aviation Organization (ICAO)*. 2009. Airport Planning Manual. Part 1 Master Planning. DOC; 9184-AN/902. Ed 5. Montreal, Quebec, Canada. 360 p.
- International Civil Aviation Organization (ICAO)*. 2009. Aerodromes - Aerodrome Design and Operations. Annex 14 - Volume 1. Ed 5. Montreal, Quebec, Canada. 360 p.
- Кабінет Міністрів України (КМУ). Постанова. 24.02.2016 №126 Про затвердження Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року, *Офіційний вісник України*, 18: 740. Available from Internet: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/126-2016-p>.
- Кулик В.А.; Онищенко О.В. 2016. Транспортно-логістичний кластер: формування, функціонування, аналіз діяльності. – *Кременчук: Кременчуцька міська друкарня*. – 228 с.
- Маринцева К. В. 2014. Классификация аэропортов и приоритетность их реконструкции, *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту* 2(50): 119-129.
- Міністерство інфраструктури України, 2018. Повідомлення про оприлюднення до проекту розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Авіаційної транспортної стратегії України на період до 2030 року» (29.03.2018). – Available from Internet: <https://mtu.gov.ua/news/29662.html>.
- Міністерство інфраструктури України, 2017. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 2017 рік. - Available from Internet: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-v-galuzi-aviatransportu.html>.
- Shao X. Z. et al. 2014. The Optimization of ACN-PCN Evaluation Method for Airport Pavement under Operation, *Advanced Materials Research*, Vol. 857: 141-146.
- Transport Canada Technical Evaluation Engineering*. 2001. Aircraft Classification Numbers (ACN's). Ottawa, Ontario, Canada. 18 p. – Available from Internet: [http://www.eddh.de/x-files/dl\\_files/acn-tables.pdf](http://www.eddh.de/x-files/dl_files/acn-tables.pdf).