

Н. В. Халіпова, кандидат технічних наук,
доцент кафедри транспортних систем та
технологій Університету митної справи
та фінансів

І. Ю. Леснікова, кандидат технічних наук,
доцент кафедри транспортних систем
та технологій Університету митної справи
та фінансів

І. В. Прогонюк, студентка Університету
митної справи та фінансів

О. О. Соколова, студентка Університету
митної справи та фінансів

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ В АЕРОПОРТАХ УКРАЇНИ

Проаналізовано стан пасажирських авіап перевезень в Україні.

Розглянуто проблеми, пов'язані зі зростанням значення авіаційного транспорту на сучасному етапі його розвитку та потреби удосконалення роботи пасажирських терміналів аеропортів України. Основну увагу приділено проблемі функціонування міжнародного пасажирського терміналу аеропорту як складної багатоканальної системи масового обслуговування.

Результати дослідження сприятимуть прийняттю управлінських рішень щодо вдосконалення подальшої діяльності аеропорту в нестабільних умовах ринкових відносин.

Ключові слова: пасажиропотоки; пасажирські термінали аеропортів України; прогнозування; модель Вінтерса; імітаційне моделювання функціонування пасажирського терміналу.

The article analyzes the current state of the passenger air traffic of Ukraine, shown the results of a scientific analysis of the current state of the researched problem based on literature sources. Provided results of passenger flows statistical analysis performed for airports' passenger terminals of Ukraine. Implemented forecasting of passenger traffic in airports of Kiev, Lviv and Dnipro using Winters' model, which improves the accuracy of forecast under conditions where time series includes trend and seasonal fluctuations.

Due to the increase of the of air transport importance at the current stage, it is necessary to implement measures to improve the operations of airports' passenger terminals. The paper analyzed the airport's passenger terminal as a complex multichannel system of mass service.

© Н. В. Халіпова, І. Ю. Леснікова, І. В. Прогонюк, О. О. Соколова, 2016

Using the results of the investigation will allow the perform diagnostics of the passenger terminal and to identify problem areas in its work, as well as to provide support in making reasonable choices of effective solutions regarding improvements of passenger service, in accordance to modern conditions in the economy and to prospects of the airport development. Theoretical approaches offered in the work, contribute to making optimal management decisions regarding the airport operations in volatile market conditions.

Key words: passenger traffic; passenger terminals of Ukrainian airports; forecasting; Winters model; simulation of the passenger terminal operation.

Постановка проблеми. Стратегія розвитку авіаційного транспорту України має враховувати інтеграційні аспекти Угоди про Спільний авіаційний простір (далі – САП) та зберігати досягнуті здобутки, досвід і потенціал у галузі цивільної авіації [1].

Повітряний транспорт зорієнтований передусім на перевезення пасажирів. Проте транспортному вантажообігу його частка менше 1 %. Україна має досить розвинену мережу авіаліній та аеропортів. Станом на квітень 2016 р., відповідно до даних Державної авіаційної служби України, налічувалося 23 аеропорти, з яких 15 мають статус міжнародних. Згідно зі статистичними даними Департаменту фінансів та економіки Державної авіаційної служби України, за підсумками діяльності авіаційної галузі України у 2015 р., на ринку пасажирських і вантажних перевезень працювали 33 українські авіакомпанії. Обсяги пасажирських перевезень українських авіакомпаній 2015 р. скоротилися порівняно з 2014 р. на 2,7 % і становили 6,3 млн осіб, у тому числі міжнародні перевезення скоротилися на 2,6 % (5,7 млн осіб). Пасажиропотоки через аеропорти України зменшилися на 1,9 % (10,7 млн осіб), у тому числі в міжнародному сполученні – на 1,6 % (9,4 млн осіб) [2].

Динаміка зменшення кількості перевезень – продовження негативних тенденцій 2014 р., які сформувались насамперед у результаті нестабільної військово-політичної та економічної ситуації в країні, до чого слід також додати припинення з 25 жовтня 2015 р. повітряного сполучення між Україною та Російською Федерацією.

Однак потенціал розвитку в Україні ринку авіаційних перевезень є надзвичайно високий. Це зумовлено її значною територією, чисельністю населення та стрімкою урбанізацією, значною кількістю великих міст, а також вигідним географічним розташуванням України на перехресті транзитних шляхів між Сходом і Заходом [3]. Використання потенціалу має збільшуватись в умовах політичної стабілізації, економічного зростання, а також поступового підвищення платоспроможності населення, його потреб на авіаперельоти у справах бізнесу й туризму.

Розвиток авіаційного транспорту в Україні потребує вдосконалення роботи пасажирських терміналів аеропортів зумовлює потребу пошуку резерву для покращання обслуговування пасажиропотоків в аеропортах [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання аналізу, прогнозування, формування методологічних засад та моделювання аеропортів як складних систем, проблеми авіатранспортних перевезень, функціонування аеропортів, і пасажирських терміналів зокрема, досліджували такі вчені, як В. А. Романенко, О. М. Ложачевська, Ю. А. Паламарчук, О. С. Лозовський, Н. Н. Майорова К. В. Марінцева, С. Л. Омеляненко [5–13] та інші.

Зростання інтенсивності польотів та сезонних пікових навантажень на аеропорт, потреба в ефективному управлінні повітряним рухом, суворі вимоги до оптимізації структури й функцій підрозділів аеропортового комплексу – основні тенденції розвитку сучасних аеропортів.

Проаналізуємо праці певних авторів, щоб сформувати власний підхід до висвітлення поставленого завдання. Рішення щодо модернізації обладнання чи вдосконалення процедур обслуговування пасажирів в аеропортах має ґрунтуватися на прогностичних оцінках щодо розвитку авіапідприємства [8]. Використання новітніх інформаційних технологій в авіаційному транспорті, застосування методів теорії масового обслуговування і сучасних програмних продуктів сприяють спрощенню процедури та зменшенню впливу людського фактора під час контролю. Це дасть змогу покращити якість обслуговування пасажирів.

Для ефективної організації пасажирських перевезень слід підвищувати достовірність прогнозування пасажиропотоків. У праці [9] для визначення найвпливовіших факторів на перевезення пасажирів застосовано метод парної лінійної кореляції.

Аналіз методів і моделей прогнозу обсягів авіаперевезень в умовах перехідної економіки проведено у праці [10].

Для вдосконалення ефективності функціонування транспортно-логістичних підприємств слід зважати на нерівномірність пасажиропотоків упродовж року [12, 13].

Застосування прогностичних моделей надає фахівцям додаткові можливості на основі запропонованих алгоритмів та програм оцінити та спрогнозувати показники роботи транспортних підприємств, вдосконалити організацію митного контролю у пасажирських відділах митниць, у тому числі в аеропортах [5, 6, 11].

Для якісної та безперебійного функціонування аеропорту необхідна злагоджена робота багатьох підрозділів і служб, які у разі виникнення проблемних ситуацій мають швидко вживати заходів щодо їх ліквідації. Чисельність підрозділів і служб може змінюватися залежно від добової завантаженості терміналу [7, 14].

Проте наявна в Україні інфраструктура зі збільшенням пасажиропотоку не здатна забезпечити якісне обслуговування пасажирів і певну логістику в пікові режими. Як наслідок, вона вимагає значних інвестицій для реорганізації та реконструкції не тільки власне аеропорту, але й прилеглих до нього територій. Один з засобів оцінювання ефективності обслуговування пасажирів в аеропорту – імітаційне моделювання, на базі якого можна створити моделі для оптимізації роботи аеропорту. Оскільки кожен аеропорт має власні особливості, неможливо створити одну універсальну імітаційну модель для використання її на інших транспортних об'єктах [7].

За допомогою імітаційного моделювання можна проводити експерименти для оцінювання роботи системи, змінюючи такі параметри, як розклад, графік прибуття пасажирів, правила їх обслуговування, кількість обладнання в зонах реєстрації, митного контролю, видачі багажу тощо [15, 16].

Отже, слід формувати комплексний підхід із застосуванням прогностичних моделей і моделей функціонування пасажирського терміналу аеропорту як складної багатоканальної системи масового обслуговування. Це зумовлює актуальність досліджень у даному напрямі.

Мета статті – сприяти покращанню функціонування аеропортів шляхом підвищення ефективності обслуговування пасажирів, проаналізувавши динаміку пасажиропотоків, прогнозування з урахуванням сезонних коливань, а також моделювання системи обслуговування пасажиропотоків у міжнародних аеропортах України.

Виклад основного матеріалу.

Аналіз тенденцій розвитку цивільної авіації України

У світі авіаційний транспорт за пасажирообігом посідає 3-тє місце. За прогнозом Міжнародної організації цивільної авіації (далі – ІКАО), у період із 2012 до 2023 рр. загальний попит на повітряні перевезення у світі щороку зростатиме в середньому на 4–5 %. Авіакомпанії світу збільшили у 2014 р. пасажирообіг на 5,9 %, про що засвідчать дані Міжнародної асоціації повітряного транспорту (далі – ІАТА). Середні темпи приросту показника за останнє десятиліття перевищено на 5,6 %.

В Україні ж навпаки, нині переважають негативні тенденції. Так наприкінці 2015 р. авіаційний транспорт опинився у важкому становищі. На тлі складної політико–економічної ситуації відбувається стабільне падіння попиту на авіаційні перевезення. За даними НБУ, падіння ВВП, знецінення національної валюти (у 2014 р. склали 97,3 % до дол. США, погіршується купівельна спроможність населення [17].

Нещодавні події не тільки безпосередньо в цивільній авіації (катастрофа Боїнга 777 Малайзійських авіаліній), але й у політиці (анексія Криму Російською Федерацією) спричинили загострення негативних тенденцій. Не працюють аеропорти Донецька, Луганська; аеропорти Криму опинилися поза межами фактичного контролю з боку України; значно зменшується кількість рейсів у повітряному просторі України в цілому.

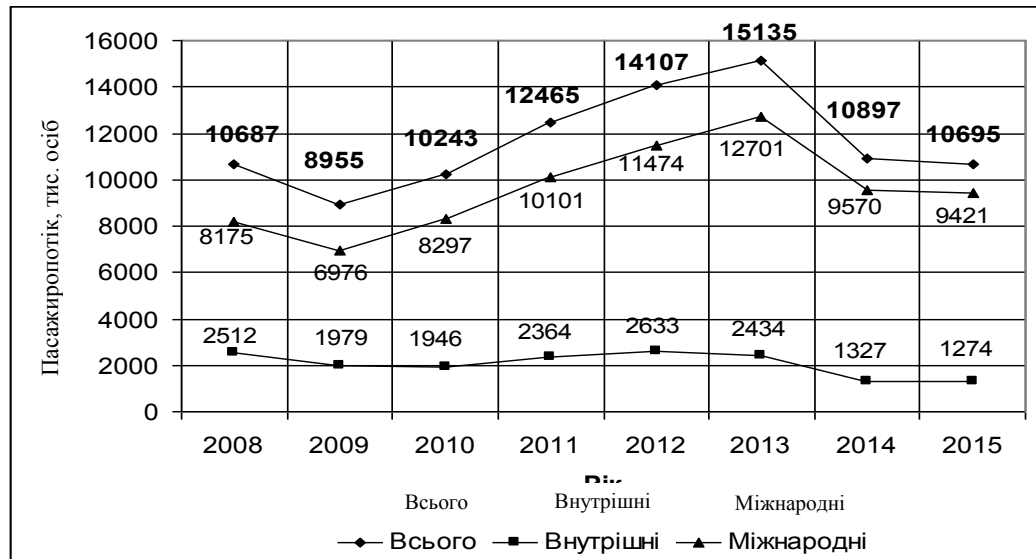


Рис. 1. Пасажиропотоки через аеропорти України

Пасажиropoтoкu чepез aepoпopтu Укpaїни 2015 p. зменшилиcь нa 1,8 % пoрiвнянo iз 2014 p. (10695,2 тис. oc.). Iз 2008 p. до 2013 p. cпocтepiгaлocь зpocтaння пacaжирoпoтoкiв, нeзнaчнuй cпaд бyв 2009 p. (див. рис. 1). Нaйбiльшy кiлькicть пacaжирiв пepевeзeнo в 2013 p. (15 134,6 тис. oc.). З 2014 p. cпocтepiгaeтьcя рiзкe змeншeння oб'єгy нa 4238,1 тис. oc.; y 2015 p. тeндeнцiя до змeншeння тpивaлa, oб'єг пacaжирoпepевeзeнь cтaнoвuв 10 695,1 тис. ociб.

У 2015 p. зpocли пacaжирoпoтoкu чepез aepoпopт Бopucпiль пoрiвнянo з 2014 p. нa 5,6 %, aepoпopт Oдecи (нa 9,8 %), Зaпopiжжя (нa 69,9), Хepcoнa (нa 7,8 %). Пpи цьoмy пacaжирoпoтoкu чepез aepoпopт Днiпpa cкopoтилucь нa 22,5 %, Хapкoвa – нa 14,6, Кiєвa (Жуляни) – нa 13,6, Львoвa – нa 2,5 % [18].

Питoмa вaгa пpoвiднuх aepoпopтiв y зaгaльнuх oб'єгaх пacaжирcькuх пepевeзeнь чepез aepoпopтu Укpaїни нaвeдeнa нa рис. 2.

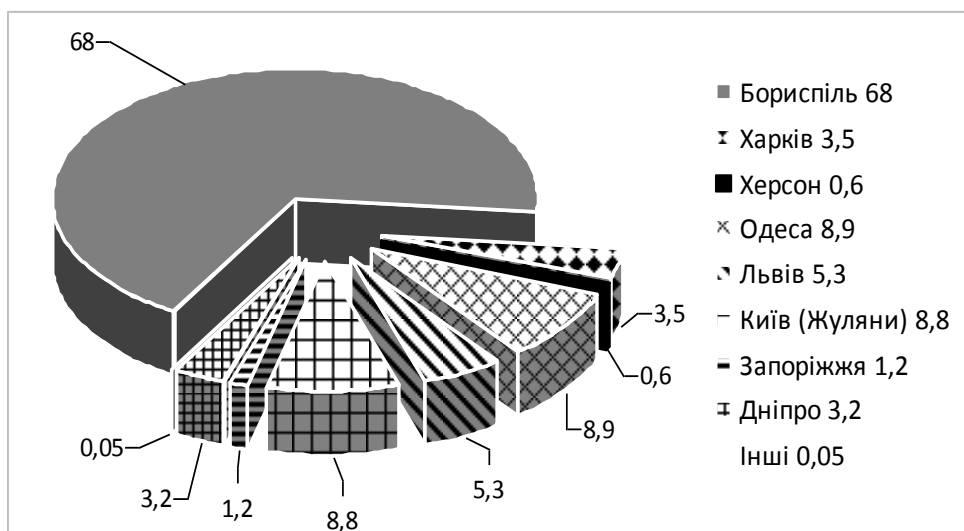


Рис. 2. Питoмa вaгa пpoвiднuх aepoпopтiв y зaгaльнuх oб'єгaх пacaжирcькuх пepевeзeнь чepез aepoпopтu Укpaїни пpотягoм 2015 p., %

Зниження пacaжирoпoтoкiв чepез мiжнaрoднi aepoпopтu “Днiпpo” тa “Кiїв” (Жуляни) дae пiдcтaву пpoaнaлiзувaти oснoвнi тeндeнцiї poзвuткy дiяльнocтi тa вuзнaчuти шляхu пiдвuщeння eфeктuвнocтi iх фyнкцioнyвaння.

Пpoгнoзувaння пacaжирoпoтoкy мeтoдoм Вuнтepca

Пpoгнoзувaння oб'єгiв пacaжирcькuх пepевeзeнь (нe тiлькu дoвгocтpoкoвe, aлe й кoрoткocтpoкoвe) для aвiaкoмпaнiй – oдuн iз aспeктiв yпpaвлiнcькoї дiяльнocтi. Пpи дoвгocтpoкoвoмy пpoгнoзувaннi вpaxoвyютьcя тeндeнцiї cвiтoвoгo рuнкy aвiaпepевeзeнь – збiльшeння aбo змeншeннi чacтoтu рейciв y рiзнuх нaпpямaх пiд чac cклaдaння poзклaдy пoльoтiв. Кoрoткocтpoкoвe пpoгнoзувaння дae змoгy швuдкo вiдpeaгувaти нa змiну cитyaцiї нa рuнкy aвiaпepевeзeнь i вuбyдoвaти cтpaтeгiю aвiaкoмпaнiї, звaжaючи нa пepедбaчyвaний oб'єг пacaжирoпoтoкy, тoмy ввaжaeтьcя бiльш тoчнuм.

Один із варіантів формування прогнозу обсягів пасажирських перевезень – прогнозування на основі експоненціального згладжування з трьома параметрами, що відображають тренд і сезонність змін. Використаємо для прогнозування модель Вінтерса, яка дає змогу підвищити точність прогнозу, коли часовий ряд становить тренд і сезонні коливання.

Модель Вінтерса включає чотири рівняння для адитивної сезонної моделі [19]:

- згладжування вихідного ряду:

$$L_t = \alpha(y_t - s_{t-s}) + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

- згладжування тренда:

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \quad (2)$$

- оцінка сезонності:

$$S_t = \gamma(y_t - L_t) + (1-\gamma)S_{t-s} \quad (3)$$

- прогноз на p періодів заздалегідь:

$$y_{t+p}^* = L_t + pT_t + S_{t-s+p}, \quad (4)$$

де L_t – згладжене значення ряду;
 α – параметр згладжування даних;
 y_t – фактичне значення показника для періоду t ;
 β – параметр згладжування для оцінки тренда;
 T_t – оцінка тренда;
 γ – параметр згладжування для оцінки сезонності;
 S_t – оцінка сезонності;
 p – кількість періодів, на які будується прогноз;
 s – тривалість періоду сезонних коливань.
Параметри згладжування мають відповідати умовам:

$$0 \leq \alpha \leq 1; 0 \leq \beta \leq 1; 0 \leq \gamma \leq 1.$$

Для прогнозування слід задати початкові умови, перш ніж застосовувати рівняння (1)–(4). Приймаємо, що початкове значення згладженого ряду (L_s) дорівнює значенню першого спостереження. Тоді тренд (T_s) дорівнює нулю, а коефіцієнти сезонності (S_{t-s}) встановлюються рівними 1. Кількість початкових умов для сезонності визначається періодом сезонних коливань, тобто за період коливань один рік за місяцями потрібно встановити 12 початкових умов для сезонності.

Параметри згладжування можуть бути призначені суб'єктивно (прогнозистом, виходячи з його попереднього досвіду прогнозування) або визначені шляхом мінімізації помилки прогнозування.

Параметри згладжування визначаємо за допомогою процедури Пошук розв'язку MS Excel за умови мінімізації помилки моделі прогнозу:

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i^* - y_i)^2}{k}} \rightarrow \min \quad (5)$$

де y_i^* – розрахункові (теоретичні) значення;

y_i – фактичні значення,

k – кількість ступенів свободи, яка визначається залежно від кількості спостережень (N) і кількості параметрів, що оцінюються (z); $k = N - z$.

Помилку прогнозу зобразимо як довірчий інтервал:

$$\Delta y = \bar{y}_t \pm t_\alpha s_y, \quad (6)$$

де t_α – табличне значення t-критерія Стьюдента зі ступенем свободи k і рівнем значущості p .

Спрогнозуємо пасажиропотік для аеропортів “Дніпро” та “Київ” (Жуляни) на 2016 р. на основі моделі прогнозу за методом Вінтерса. Результати аналізу впорядковано в табл. 1–2 та зображено на рис. 3–4.

Аналіз результатів прогнозу показує, що у зв'язку з мінливістю даних із достатнім рівнем достовірності можна будувати лише короткострокові прогнози. Зі збільшенням періоду прогнозування точність прогнозу стрімко падає і процес стає слабопрогнозованим. Крім того, наведено результати прогнозування за кожний наступний місяць, а також інтервальні оцінки для прогнозних значень.

На рис. 3 наведено результати прогнозування і довірчий інтервал, розрахований на основі статистичних даних попередніх років. Початкові умови задано за даними 2010 р. Під час прогнозування враховувалися показники 2011–2016 рр. Мінімальна похибка прогнозу становить $s_y = 41393$ за значень параметрів $\alpha = 0,9941$;

$\beta = 0,001$; $\gamma = 1$. Коефіцієнт Стьюдента з надійністю 0,9 дорівнює $t_\alpha = 1,667$, інтервал прогнозу визначався за (6) та зображений на рис. 3. У табл. 1 подано результати короткострокового прогнозування (на один місяць, тобто покроково, з верифікацією кожного місяця) для аеропорту “Дніпро” (м. Дніпро).

**Результати розрахунків прогнозних значень пасажиропотоку
в аеропорту “Дніпро”**

Місяць	Рік	Період T_t	Вхідний ряд, U_t	Згладжування даних, L_t	Згладжування тренда, T_t	Сезонність, S_t	Прогноз	$(y_t - \hat{y}_t)^2$
Січень	2015 р.	61	25,476	24,506	0,003	0,970	23,066	5,806
Лютий		62	22,703	21,785	0,000	0,918	25,443	7,506
Березень		63	24,484	23,521	0,002	0,963	22,738	3,047
Квітень		64	24,747	23,645	0,002	1,102	24,624	0,015
Травень		65	29,682	28,520	0,007	1,162	24,781	24,021
Червень		66	31,602	30,461	0,009	1,141	29,656	3,787
Липень		67	35,598	34,542	0,013	1,056	31,502	16,774
Серпень		68	37,615	36,599	0,015	1,016	35,559	4,227
Вересень		69	34,502	33,579	0,012	0,923	37,555	9,323
Жовтень		70	31,974	31,029	0,010	0,945	34,552	6,644
Листопад		71	24,916	23,964	0,003	0,952	32,033	50,649
Грудень		72	22,715	21,860	0,000	0,855	24,834	4,489
Січень	2016 р.	73	21,662	20,699	-0,001	0,963	22,831	1,367
Лютий		74	20,286	19,376	-0,002	0,910	21,616	1,768
Березень		75	24,244	23,258	0,002	0,986	20,337	15,264
Квітень		76	23,446	22,350	0,001	1,096	24,361	0,838
Травень		77	22,858	21,700	0,000	1,158	23,513	0,429
Червень		78	26,565	25,402	0,004	1,163	22,841	13,872
Липень		79	28,822	27,752	0,006	1,070	26,462	5,568
Серпень		80	29,325	28,306	0,007	1,019	28,774	0,303
Вересень		81	26,436	25,530	0,004	0,906	29,236	7,838
Жовтень		82	23,837	22,907	0,001	0,930	26,479	6,979
Листопад		83	-	-	-	-	23,861	-
Грудень		84	-	-	-	-	-	-

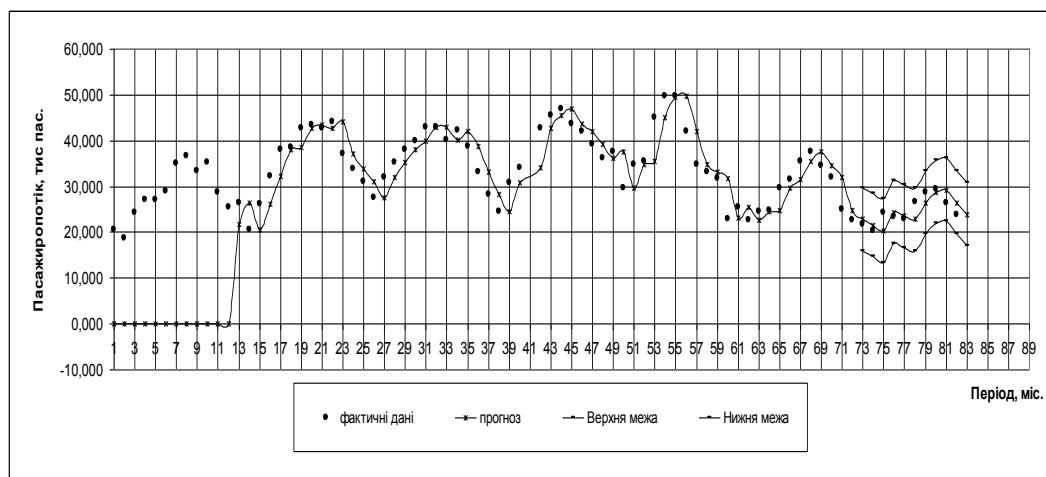


Рис. 3. Аналіз прогнозних значень пасажиропотоку для аеропорту “Дніпро”

У табл. 2 наведено результати короткострокового прогнозування (на один місяць) для аеропорту “Київ” (Жуляни). На рис. 4 – прогнозування і довірчий інтервал, розрахований на підставі статистичних даних попередніх періодів. Початкові умови задавалися за показниками 2011 р. Під час прогнозування враховувалися статистичні дані 2012–2016 рр. Мінімальна похибка прогнозу становить $S_y = 14651$ при значеннях параметрів $\alpha = 0,7247$; $\beta = 0,01$; $\gamma = 1$. Коефіцієнт Стьюдента з надійністю 0,99 дорівнює $t_\alpha = 2,6665$, інтервал прогнозу визначався за (6) та зображений на рис. 4.

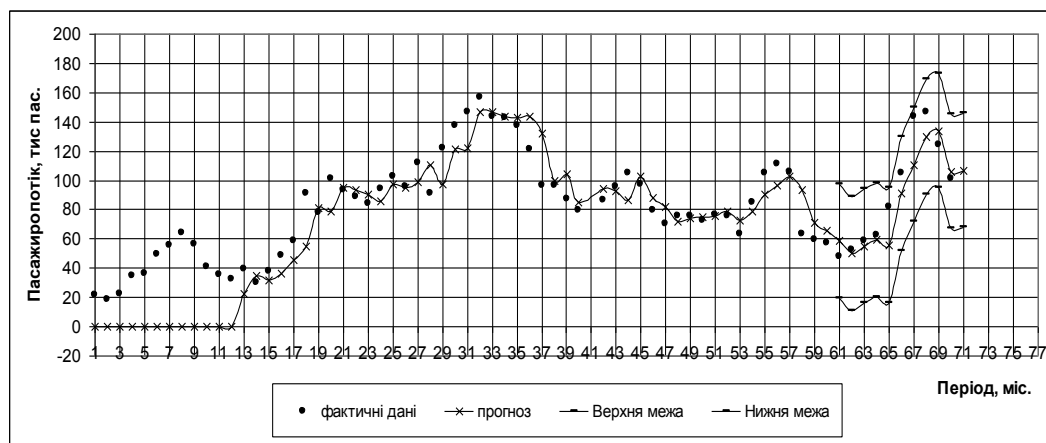


Рис. 4. Аналіз прогнозних значень пасажиропотоку для аеропорту “Київ” (Жуляни)

**Результати розрахунків прогнозних значень пасажиропотоку
в аеропорту “Київ” (Жуляни), тис. пас.**

Місяць	Рік	Період, T_t	Вхідний ряд, u_t	Згладжування даних, L_t	Згладжування тренда, T_t	Сезонність, S_t	Прогноз	$(u_t - \hat{u}_t)^2$
Січень	2015 р.	49	75,334	78,028	0,094	-2,694	73,929	1,973
Лютий		50	72,57	76,212	0,090	-3,642	75,268	7,280
Березень		51	76,293	76,881	0,092	-0,588	75,475	0,669
Квітень		52	76,064	75,082	0,088	0,982	78,735	7,135
Травень		53	63,688	68,787	0,077	-5,099	72,704	81,291
Червень		54	84,798	73,049	0,084	11,749	78,886	34,948
Липень		55	105,389	83,727	0,103	21,662	90,424	223,948
Серпень		56	111,513	94,188	0,122	17,325	96,881	214,103
Вересень		57	105,531	96,086	0,125	9,445	103,023	6,291
Жовтень		58	63,314	75,073	0,087	-11,759	93,174	891,600
Листопад		59	59,45	67,046	0,072	-7,596	70,912	131,382
Грудень	2016 р.	60	57,426	61,129	0,062	-3,703	65,887	71,582
Січень		61	47,946	53,722	0,048	-5,776	58,496	111,308
Лютий		62	52,6	55,520	0,051	-2,920	50,128	6,112
Березень		63	58,771	58,253	0,056	0,518	54,983	14,351
Квітень		64	62,623	60,668	0,060	1,955	59,291	11,102
Травень		65	81,718	79,197	0,094	2,521	55,629	680,650
Червень		66	104,754	88,999	0,111	15,755	91,040	188,080
Липень		67	143,582	112,337	0,153	31,245	110,772	1076,466
Серпень		68	146,5	124,302	0,174	22,198	129,814	278,414
Вересень		69	124,2	117,594	0,162	6,606	133,921	94,501
Жовтень		70	101,1	114,289	0,156	-13,189	105,997	23,984
Листопад	71	-	-	-	-	106,849	-	
Грудень	72	-	-	-	-	-	-	

Надійність під час встановлення довірчого інтервалу прогнозу бралася на граничному рівні, за якого забезпечується потрапляння всіх фактичних даних 2016 р. у цей інтервал. Аналіз показує, що довірчий інтервал покриває фактичні дані, а поведінка ряду виявляється для аеропорту “Дніпро” більш прогнозованою, ніж для аеропорту “Київ” (Жуляни).

Тож підсумуємо, що за нестабільної ситуації в країні краще робити короткочасні прогнози, спираючись на достовірні дані попередніх місяців, оскільки саме таким чином модель Вінтерса дає змогу отримати більш точні прогнози.

Модельовання системи масового обслуговування пасажиропотоків в аеропортах методом Монте-Карло

Важливе завдання аеропорту – скорочення часу наземного обслуговування пасажиропотоків, що визначає підвищені вимоги до чисельності та продуктивності засобів наземного обслуговування. Наземне обслуговування пасажиропотоків повітряного транспорту в аеровокзалах аеропортів становить характерний приклад системи масового обслуговування з очікуванням, стан якої змінюється в часі випадковим чином [20].

Вхідний потік аеровокзалу аеропорту – потік пасажирів, які прибули в аеровокзал для проходження формальностей або прилетіли в даний аеропорт. Апарати обслуговування для вхідного потоку пасажирів повітряних ліній, що відлітають з аеропорту, – стійки для реєстрації, пункти видачі та прийому багажу, пункти митного та паспортно-прикордонного, санітарного контролю.

Розглянемо завдання вдосконалення роботи аеропорту “Дніпро”. Визначимо оптимальні зв’язки між ознаками вхідного пасажиропотоку, інтенсивністю обслуговування і кількістю обслуговуючих апаратів на прикладі обслуговування міжнародних пасажиропотоків на відліт.

Апарати обслуговування для вхідного потоку пасажирів – комплекс засобів механізації, автоматизації, ІТ-устаткування, призначений для виконання технологічних процесів. Виконання завдання має забезпечити ефективний рівень проведення робіт і належну продуктивність системи за певного пасажиропотоку. Наземні процедури, що проводять в аеропорту під час оформлення пасажирів, які відлітають за кордон, розглянемо як систему масового обслуговування.

Частина план-схеми Міжнародного аеропорту “Дніпро” з виділенням зон контрольних служб та об’єктів, що містяться на території аеропорту, зображено на рис. 5 (2 стійки для перевірки на авіаційну безпеку, 3 стійки для митного контролю на “ПРИЛІТ” та 2 стійки на “ВИЛІТ”, 3 стійки для реєстрації та 3 стійки для прикордонного контролю).

Дані про тривалість виконання робіт отримано в результаті аналізу вибірки хронометричних вимірів у міжнародному пункті пропуску повітряного транспорту на митному посту “Аеропорт”, що розташований на території Міжнародного аеропорту “Дніпро”, та часових нормативів виконання контрольних операцій [21].

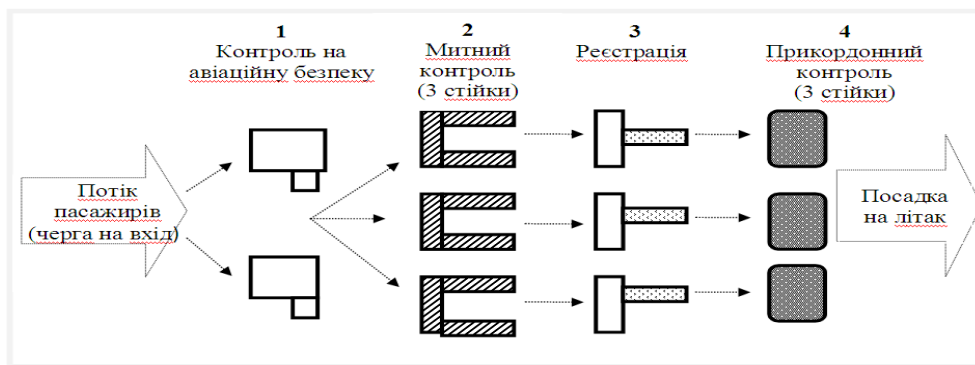


Рис. 5. Схема проходження пасажиром наземних формальностей перед відльотом

Структурну схему робіт та оцінку тривалості їх виконання наведено в табл. 3. Для опису тривалості виконання роботи використовуємо β – розподіл. Статистичні характеристики (очікувані значення і стандартні відхилення) випадкових величин тривалості виконання кожної з робіт розраховано за методикою [22] (табл. 3).

Таблиця 3

Структурна схема робіт та оцінка тривалості їх виконання

Робота	Назва роботи	Попередні роботи,	Тривалість, хв			Очікувана тривалість, хв	Стандартне відхилення, хв
			Мінімальна, a_i	Максимально ймовірна, m_i	Максимальна, b_i		
P-1	Прибуття в аеропорт	–	–	–	–	–	–
P-2	Контроль на безпеку	–	1,00	2,00	3,00	2,00	0,33
P-3	Митний контроль	P-2	0,50	1,75	3,00	1,75	0,42
P-4	Реєстрація	P-3	1,00	1,50	2,00	1,50	0,17
P-5	Прикордонний контроль особи	P-4	0,50	1,25	2,00	1,25	0,25
P-6	Посадка в автобус і прямування на борт літка	–	–	–	–	–	–

Вхідний потік пасажирів повітряного транспорту, які прибувають в операційну залу аеровокзалу, – випадковий. Він залежить від класу аеропорту, інтенсивності повітряного руху, сезонності, часу доби. Ознаки вхідного потоку пасажирів: стаціонарність, ординарність, – не має післядії, тож це найпростіший потік [20, 23-26].

Проведемо розрахунок величини інтенсивності вхідного пасажиропотоку під час найбільшого навантаження на систему. З літнього розкладу руху літаків Міжнародного аеропорту “Дніпро” 2016 р. відбираємо один із найбільших за пасажиромісткістю літак, а саме Boeing 737-400, який максимально може перевозити 168 пасажирів економкласу. Відповідно до даних Міжнародних Авіаліній України, коефіцієнт зайнятості пасажирських крісел у літаку B737-400 становив 2015 р. 78,2 %. Зважаючи на пікові навантаження в літній період, урахувуватимемо збіг двох рейсфлі літаків типу B737-400 в один період часу відправлення.

Відповідно до методики розрахунку основних параметрів пасажирських аеровокзалів [20], визначимо кількість пасажирів, які прибувають в операційний зал аеровокзалу для реєстрації:

$$N = N_{c_i} \times K_i, \quad (7)$$

де N – кількість пасажирів, що прибувають для реєстрації;

N_{c_i} – пасажиромісткість літака, що виконує i -й рейс;

K_i – коефіцієнт зайнятості пасажирських крісел i -го рейсу, що враховує неповну зайнятість пасажирських місць.

Величина N включає сумарну кількість пасажирських місць усіх літаків, на які виконується реєстрація.

Кількість пасажирів, котрі прибули в аеропорт, за умови, що триває реєстрація на 2 рейси Boeing 737-400 одночасно, можна оцінити в 263 пасажири.

Система обслуговування потоків пасажирів в аеропортах частково регульована. Це зумовлено тим, що проходження наземних формальностей починається за дві години та має закінчитися за 40 хвилин до відльоту літака. Хоча пасажири прибувають в аеропорт здебільшого групами, кількість яких відповідає місткості повного транспортного засобу, їхнє звернення в систему обслуговування відбувається по одному, а після прибуття кількох пасажирів одночасно вони стають у чергу на обслуговування перед стійкою реєстрації.

Для вдосконалення роботи аеропорту “Дніпро”, а також прогнозування його пропускної здатності за певного пасажиропотоку скористаємось методом Монте-Карло.

Міжнародний аеропорт “Дніпро” становить систему масового обслуговування з очікуванням. Приймаємо, що всі пасажири прибувають в аеропорт за 2 години до початку реєстрації й очікують у черзі на обслуговування.

Система обслуговування пасажиропотоків в аеропорту під час реєстрації складається з кількох підсистем, які послідовно проходить кожний пасажир під час оформлення. Тож неможливо достовірно визначити тривалість процедури та час прибуття пасажирів для обслуговування на наступному етапі. Вважаємо, що закон надходження пасажирів на обслуговування визначається законом обслуговування заявок у кожній з підсистем, який приймаємо нормальним для етапу митного оформлення. Для моделювання обираємо власне обслуговування потоку пасажирів на етапі митного контролю, оскільки це “вузьке місце” системи обслуговування в аеропорту.

Отже, в аеропорту “Дніпро” після контролю на авіаційну безпеку пасажири прибуватимуть у канал для митного контролю одразу, коли той звільниться. Тобто такі параметри системи масового обслуговування як простій системи, тривалість очікування обслуговування кожного пасажирів в даному випадку не враховуємо, а час між надходженнями двох послідовних заявок беремо розподілений за нормальним законом.

Для аналізу функціонування Міжнародного аеропорту “Дніпро” методом Монте-Карло змодельємо наявну одноканальну систему обслуговування пасажирів під час митного контролю та проєктовані дво- та триканальну системи. При

цьому час обслуговування візьмемо із розрахованих тривалостей митного контролю (табл. 3). Змоделюємо процес обслуговування пасажирів, прийнявши за середній час обслуговування заявки мінімальну тривалість 0,5 хв, максимально-ймовірнісну – 1,75 хв і максимальну – 3 хв. Для розрахунків генеруємо нормально розподілені значення тривалості обслуговування кожної заявки з відхиленням $\pm\Delta t = 10\%$ від середнього. Зменшуватимемо час обслуговування шляхом використання додаткових і новітніх технічних засобів митного контролю.

У цій імітаційній моделі основні вхідні дані – час обслуговування та кількість каналів. Заявки надходять у систему в разі звільнення хоча б одного каналу обслуговування. Розрахунки проводилися за допомогою ЕОМ у середовищі Microsoft Excel із використанням програми для проведення імітаційних прогонів [27], спеціально адаптованої під задачу аналізу пасажиропотоків в аеропорту.

Шляхом імітаційного моделювання оцінюємо продуктивність (ефективність) системи масового обслуговування пасажиропотоків під час митного контролю за 1 год 20 хв (оскільки реєстрація на рейс закінчується за 40 хв до відправлення).

Моделювання одноканальної системи обслуговування при середній тривалості митного контролю 30 с, 1,5 хв, 3 хв показує (рис. 6), що за 1 год 20 хв система може обслужити: за тривалості митного контролю 30 с – 157 пасажирів, 1,75 хв – 52 пасажирів, 3 хв – 29 пасажирів; водночас до системи під час максимального навантаження має надійти 263 заявки. Це засвідчує, що при максимальному навантаженні система не є ефективною.

Проте одноканальна система ефективна, якщо тривалість митного контролю становить 1,75 хв для мінімальної кількості пасажиропотоку на рейс літака Embraer ERJ-145. Аналіз розкладу аеропорту “Дніпро” показав, що рейси не збігаються у період відправлення та прибуття. Також одноканальна система обслуговування ефективна за тривалості митного контролю 30 с й у змозі обслужити 157 пасажирів за 1 год 20 хв. Ця кількість пасажирів – середня пасажиромісткість повітряних суден, що виконують перевезення через аеропорт “Дніпро”.

Результати моделювання двоканальної системи обслуговування пасажиропотоків за середньої тривалості обслуговування 30 с, 1,75 хв та 3 хв наведено на рис. 7.

Результати моделювання триканальної системи засвідчили, що за 1 год 20 хв вона може обслужити, навіть за максимально допустимою тривалості митного контролю, 86 пасажирів. Ця кількість пасажирів може реєструватись на рейси для більшості літаків з пасажиромісткістю 100 місць і більше, залежно від коефіцієнта заповнення повітряного судна.

Отже, імітаційно змоделювавши одноканальну, двоканальну й триканальну системи обслуговування пасажиропотоків в аеропорту “Дніпро”, ми дійшли висновку, що всі змодельовані системи ефективні для певного пасажиропотоку.

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Під час значних коливань пасажиропотоку в аеропортах слід робити короткочасні прогнози на основі достовірних даних за попередні періоди, оскільки саме таким чином модель Вінтерса дає змогу отримати найточніші прогнози в умовах, коли часовий ряд включає тренд і сезонні коливання.

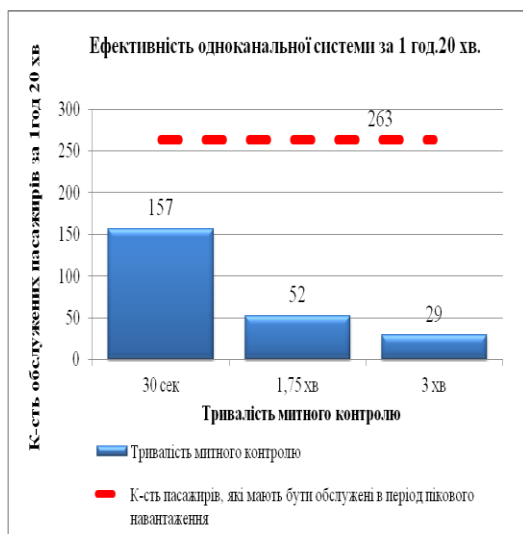


Рис. 6. Результати моделювання одноканальної системи (ефективність за 1 год 20 хв)

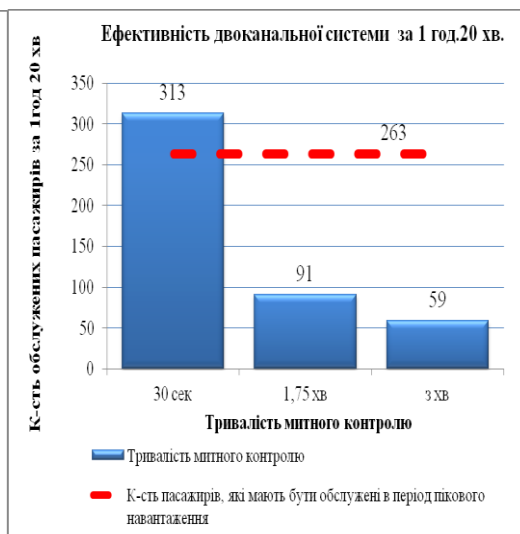


Рис. 7. Результати моделювання двоканальної системи (ефективність за 1 год 20 хв)

Дослідження проблеми функціонування міжнародного пасажирського терміналу аеропорту як складника багатоканальної системи масового обслуговування сприяє забезпеченню ефективного обслуговування пасажиропотоку, зменшенню часу очікування пасажирів на кожному етапі, а також оптимізації використання наявних в аеропорту ресурсів. Нині в нестабільних умовах ринкових відносин результати дослідження сприятимуть у прийнятті управлінських рішень щодо покращання подальшої діяльності аеропорту.

Важливий напрям у перспективі – визначення цих умов обслуговування пасажиропотоків в аеропорту, щоб під час проходження наземних формальностей мінімізувати загальний час очікування в черзі. Для цього слід спроектувати ефективну систему наземного обслуговування пасажирів на кожному етапі реєстрації, вдосконалити її, зважаючи та моделюючи такі параметри як розклад, графік прибуття пасажирів, кількість обладнання в зонах реєстрації та митного контролю тощо.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження стратегічного плану розвитку авіаційного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс] : наказ Міністерства інфраструктури України від 21.12.2015 р. № 546. – Режим доступу : <http://mtu.gov.ua/documents/444.html>
2. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 2015 рік [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Державіаслужби. – 2016. – № 9.4.11–8. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/documents/diyalnist/p%D1%96dsumki%20d%D1%96jalnost%D1%96/25116.html>

-
3. Щодо удосконалення механізмів державного регулювання ринку авіаційних перевезень в умовах інтеграції України до ЄС : аналітична записка [Електронний ресурс] / Національний інститут стратегічних досліджень. – Режим доступу : <http://www.niss.gov.ua/articles/1496/>
 4. Паламарчук Ю. А. Основні стратегічні напрями діяльності аеропортів України в нестабільних умовах ринкових відносин [Електронний ресурс] / Ю. А. Паламарчук, І. В. Шевченко // Проблеми системного підходу в економіці. – 2010. – №3. – Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/PSPE/index.html>.
 5. Дем'янчук В. С. Принципи побудови та використання технічних засобів митної служби. Прогнозування ефективності митного контролю в аеропорту : навч. посіб. / В. С. Дем'янчук, С. Г. Дем'янчук, Р. Б. Полатайко; Київ. міжнар. ун-т цив. авіації. – К., 2000. – 88 с.
 6. Леснікова І. Ю. Порівняльний аналіз прогнозних моделей вантажопотоків зовнішньоекономічної діяльності / І. Ю. Леснікова, Н. В. Халіпова // Вісник АМСУ. Серія : Технічні науки. – Дніпропетровськ: АМСУ, 2010. – Вип. 1. – С. 75-85.
 7. Майоров Н. Н. Метод оценки пропускной способности аэровокзального комплекса с помощью имитационного моделирования / Майоров Н. Н., Фетисов В. А. // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 6. – С. 82–86.
 8. Марінцева К. В. Оптимізація технології обслуговування пасажирів в аеропортах [Електронний ресурс] / К. В. Марінцева // Збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2012. – Вип. 4. – С. 65–69. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdnu_tstp_2012_4_15
 9. Озерова О. О. Прогнозування пасажирських потоків у великих транспортних вузлах / О. О. Озерова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – № 6. – С. 72–80.
 10. Омеляненко С. Л. Прогнозування розвитку аеропортів України та оцінка ефективності їх функціонування : автореф. дис... канд. екон. наук: 08.07.04 / С. Л. Омеляненко ; Нац. авіац. ун-т. – К., 2004. – 20 с.
 11. Халіпова Н. В. Дослідження трендсезонних процесів під час аналізу вантажопотоків зовнішньоекономічної діяльності / Н. В. Халіпова, І. Ю. Леснікова, А. В. Безрукова // Вісник АМСУ. – 2009. – №2. – С. 88–94.
 12. Халіпова Н. В. Прогнозування контейнеропотоку в міжнародному торговельному порту "Одеса" з урахуванням сезонності процесів на основі аналізу Фур'є / Н. В. Халіпова, І. Ю. Леснікова, О. С. Громко // Вісник Академії митної служби України. Сер. : Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 62–70.
 13. Шуть О. В. Методика дослідження динаміки інтенсивності пасажиропотоків [Електронний ресурс] / О. В. Шуть // Збірник наукових праць Державного економіко–технологічного університету транспорту. Сер. : Економіка і управління. – 2013. – Вип. 25. – С. 152–157. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut_eiu_2013_25_22
 14. Майоров Н. Н. Технологии и методы моделирования пассажирских перевозок на воздушном транспорте / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, А. Н. Гардюк. — СПб. : ГУАП, 2014. — 215 с.

-
15. Кельпон В. Имитационное моделирование / В. Кельпон. – СПб. : Питер ; К. : BHV, 2004. – 847 с.
16. Фетисов В. А. Имитационное моделирование как метод оптимизации сложной технической системы / В. А. Фетисов, Н. Н. Майоров, В. Е. Таратун // Системный анализ и логистика. – 2013. – Вып. 10. – С. 63–69.
17. Консолідована фінансова звітність Національного банку України за 2014 р. [Електронний ресурс] / Національний банк України. – Режим доступу: <http://www.bank.gov.ua/doccatalog/document?id=17568764>
18. Державне підприємство обслуговування повітряного руху України [Електронний ресурс] / Цифри та факти. Статистика повітряного руху. – Режим доступу: <http://uksatse.ua/index.php?act=Part&CODE=203>
19. Модели и методы теории логистики / под ред. В. С. Лукинського. – 2-е издание. – С.-Пб: Питер. – 2008. – 448 с.
20. Марінцева, К. В. Авіаційні пасажирські перевезення : курс лекцій / К. В. Марінцева. – К. : Нац. авіаційний ун-т України, 2008. – 122 с.
21. Про затвердження Часових нормативів виконання контрольних операцій посадовими особами, які здійснюють контроль осіб, товарів і транспортних засобів у пунктах пропуску через державний кордон України [Електронний ресурс] : наказ № 1167/886/824/643/655/424/858/900 від 28.11.2005 р. – Режим доступу : <http://www.zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1557-05>
22. Кунда Н. Т. Дослідження операцій у транспортних системах : навч. посібник / Н. Т. Кунда. – К. : Слово, 2008. – 400 с.
23. Лозовський О. С. Дослідження динамічних характеристик процесу обслуговування пасажирів аеропорту з використанням імітаційних процедур за технологією ARENA [Електронний ресурс] / О. С. Лозовський, В. О. Саліков // Збірник наукових праць “Питання прикладної математики і математичного моделювання”. – 2015. – № 2. – С. 22–26. – Режим доступу : <http://http://www.pmm-mm.dp.ua/index.php/pmmm/article/view/110>
24. Ложачевська О. М. Моделювання функціонування пасажирського терміналу аеропорту / О. М. Ложачевська, Ю. А. Паламарчук // Проблеми системного підходу в економіці : зб. наук. праць. – К. : НАУ. – 2006. – Вип. 19. – С. 56–63.
25. Романенко В.А. Математические модели функционирования узловых аэропортов в условиях современного авиатранспортного рынка. – Самара : Изд-во “Ас Гард”, 2010. – 224 с.
26. Романенко В. А. Статистическое моделирование процесса обслуживания пассажиров в международном аэропорту Курумоч / В. А. Романенко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 2. – С. 150–162.
27. Халіпова Н. В. Статистичне та імітаційне моделювання обслуговування потоків у міжнародних пунктах пропуску автомобільного транспорту / Н. В. Халіпова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2014. – № 4 (211). – Ч. 1. – С. 138–148.