

УДК 621.73.06

Харченко М.В.

аспірант

Національного авіаційного університету,

викладач

Кременчуцького льотного коледжу

Національного авіаційного університету

МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАЗЕМНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й ПЕРЕВЕЗЕНЬ В АЕРОПОРТУ

MODEL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF GROUND SERVICING AND TRANSPORTATION IN AIRPORT

АНОТАЦІЯ

У статті сформовано модель технологічних процесів обслуговування повітряних суден, пасажирів і багажу в аеропорту. У процесі роботи аеропорту виділено технологічні операції, з'ясовано їх роль і місце в технологічному графіку наземного обслуговування рейсів. На базі статистичного матеріалу, наданого двома аеропортами України, побудовано моделі технологічних операцій, що встановлюють зв'язки між їх найважливішими параметрами й характеристиками обслуговуваних рейсів.

Ключові слова: моделювання, аеропорт, наземне обслуговування, інформаційна система.

АННОТАЦІЯ

В статті сформирована модель технологических процессов обслуживания воздушных судов, пассажиров и багажа в аэропорту. В процессе работы аэропорта выделены технологические операции, выяснены их роль и место в технологическом графике наземного обслуживания рейсов. На базе статистического материала, предоставленного двумя аэропортами Украины, построены модели технологических операций, устанавливающих связи между их важнейшими параметрами и характеристиками обслуживаемых рейсов.

Ключевые слова: моделирование, аэропорт, наземное обслуживание, информационная система.

ANNOTATION

The article describes a simulation model of technological processes of aircrafts, passengers and luggage services in the airport. Within the framework of airport production, the author points out major technological processes and their part in the technological schedule of flights ground handling. On the basis of the extensive statistical material given by a number of airports of Ukraine, the author has constructed stochastic models of technological operations establishing communications between their key parameters and characteristics of flight handling.

Keywords: simulation modelling, airport, ground services, information system.

Постановка проблеми. Сучасні умови авіатранспортного ринку вимагають від аеропортових підприємств підвищення якості надаваних перевізникам і користувачам повітряного транспорту послуг, скорочення тимчасових витрат на обслуговування й забезпечення вимог щодо безпеки та регулярності перевезень. Одним із напрямів практичного вирішення цієї проблеми є оптимізація технологічних параметрів аеропортових комплексів на базі логістичного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою діяльності аеропортів і використання принципів удосконалення обслуговування в різних галузях економіки займалися такі укра-

їнські науковці, як В.М. Загорулько, В.В. Запорожець, А.Т. Тофанчук, О.Й. Косарев, В.І. Крітова, Ю.Ф. Кулаєв, В.І. Личик, В.І. Щелкунов, Г.М. Юн та інші.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Водночас із наявними питаннями ефективного функціонування аеропортів на сьогодні немає досліджень, пов'язаних із моделюванням технологічних процесів наземного обслуговування та перевезень в аеропортах України.

Метою статті є розроблення моделі технологічних процесів обслуговування повітряних суден, пасажирів і багажу в аеропорту.

Виклад основного матеріалу. Логістичне моделювання передбачає багаторазове відтворення (прогін) на ЕОМ процесу функціонування досліджуваної системи зі збереженням його логістичної структури й послідовності протікання в часі з урахуванням впливу випадкових факторів [3]. Оскільки основна виробнича діяльність аеропорту полягає в реалізації технологічних процесів обслуговування рейсів, що включають певний набір операцій, склад, тривалість і трудомісткість яких залежить від параметрів рейсу, то як одиничний прогін логістичної моделі береться процес обслуговування одного рейсу. Логістична модель технології наземного обслуговування рейсу повинна містити таке:

1) універсальний алгоритм здійснення процесу, що містить опис послідовності та взаємозв'язку операцій;

2) імовірнісні моделі окремих технологічних операцій, які включають статистичний розподіл ключових параметрів операцій, таких як тимчасова тривалість, кількість персоналу, що залучається, кількість використовуваних технічних засобів тощо.

Раціональні обмеження за рівнем деталізації вимагають, щоб створювана модель відображала лише той набір технологій, який є принципово важливим під час оптимізації процесу обслуговування перевезень. Для формування такого набору операцій потрібно таке:

1) розглянути технологію обслуговування рейсів, виділивши основні операції, що найбільшою мірою впливають на загальну трива-

лість обслуговування, і використані ресурси. Результатом цієї процедури має бути модельний технологічний графік, який вклучає операції критичного шляху, справедливого для більшості типів повітряних суден (далі – ПС);

2) проаналізувати льотно-технічні й комерційні характеристики, а також параметри технологічних процесів наземного обслуговування різних типів ПС з метою їх обґрунтованого групування, що дає змогу значно знизити обсяг вихідних даних, які використовуються моделлю;

3) побудувати моделі технологій, що входять у модельний технологічний графік. Результатами цих моделей повинні бути тривалості описуваних операцій і потрібні ресурси для їх виконання.

Отже, характеристики технологічних процесів, такі як склад і тривалість технологічних операцій, задіяні сили й засоби, залежать від багатьох факторів, головними з яких є тип ПС, категорія рейсу та перевезення, рівень механізації й автоматизації технічного обслуговування. Найбільш повним складом виконуваних операцій наземного обслуговування відрізняються рейси, що належать до категорії зворотних і дещо меншою мірою транзитних [5]. Подальший аналіз обмежений цими двома видами рейсів.

Безпосереднє використання в моделі реальних технологічних графіків обслуговування рейсів, що розробляються й застосовуються в діючих аеропортах, неможливе через низку причин, серед яких найбільш істотні – це, поперше, різноманітність варіантів графіків, що

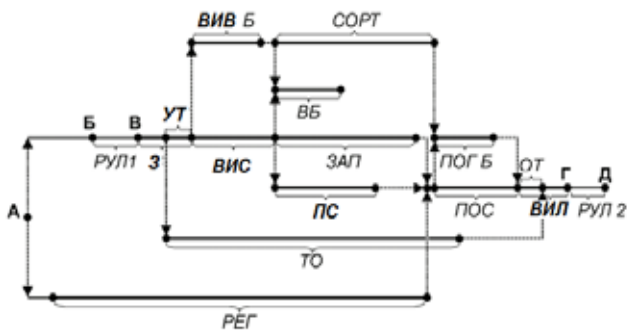


Рис. 1. Модельний технологічний графік підготовки ПС до вильоту:

події: А – надходження повідомлення про рух ПС, Б – посадка ПС, В – прибуття ПС на місце стоянки (далі – МС), Г – відправлення ПС із МС, Д – виліт ПС; операції (або тимчасові інтервали): РЕБ – реєстрація квитків і оформлення багажу пасажирів, котрі вилітають; РУЛ 1 – рух ПС на МС; З – зустріч ПС на МС; УТ – установка трапа; ВИС – висадка та доставка в аеровокзал пасажирів; ВИБ Б – вивантаження багажу і транспортування його в багажні приміщення аеровокзалу; ВБ – видача багажу пасажирам, які прилетіли; ЗАП – заправка ПС паливом; ПС – прибирання салону; ТО – роботи з ТО; ПОС – доставка пасажирів, котрі вилітають, до ПС і посадка в ПС; СОРТ – сортування й комплектація по рейсах багажу пасажирів, які вилітають; ПОГ Б – транспортування до ПС і вантаження багажу пасажирів, котрі вилітають; ВИБ – роботи з випуску ПС зі стоянки; ВІД – прибирання трапа; РУЛ 2 – рух ПС з МС

розрізняються залежно від типу ПС, категорій рейсу й перевезення тощо; по-друге, надмірна деталізація відображуваного процесу обслуговування. Проте наявні графіки можуть бути використані як основа для побудови розроблюваного модельного технологічного графіка. Операції, що вклучаються в цей графік, мають задовольняти трьом вимогам:

1) виконуватися обов’язково або в більшості випадків під час обслуговування транзитних або зворотних рейсів;

2) перебувати (або мати можливість перебувати) на критичному шляху процесу;

3) мати значну, істотну для розглянутого рівня деталізації моделі тривалість.

Модельний технологічний графік, що вклучає операції, які володіють перерахованими вище властивостями, і коректний для опису процесу обслуговування більшості типів ПС, подано на рис. 1.

Незважаючи на те що параметри операцій залежать від типу ПС, значення їх змінюються в широких межах, а в низці випадків деякі з операцій узагалі виключаються з технологічного процесу, це не призводить до порушення зв’язків між операціями й «руйнуванням» графіка.

Імітаційне моделювання, яке ґрунтується на використанні логістичної моделі досліджуваних процесів, передбачає наявність статистичних даних, що описують ці процеси. При цьому точність і адекватність моделі зростає зі збільшенням обсягу накопиченої статистики.

Упровадження в низці аеропортів автоматизованих інформаційних систем (далі – ІС) управління діяльністю надає можливість уникнути тривалих і трудомістких процедур збирання статистики шляхом використання матеріалів, що зберігаються в базах даних (далі – БД) цих систем, які докладно й усебічно описують технологічні процеси аеропорту.

Статистичні дані, почерпнуті з БД ІС, слугують вихідною «сировиною» для побудови можливих розподілів характеристик технологічних операцій. У статті для створення моделі технології (за винятком заправки паливом) використовуються матеріали БД ІС українського аеропорту ПОКП «Аеропорт-Полтава», умовно названого «Аеропорт N».

Через низку причин дані, що характеризують заправку НД паливом, відсутні у БД ІС Аеропорту N, тому використана статистика, накопичена протягом 2010–2012 рр. у БД аналогічної ІС ЛЮКП «Міжнародний аеропорт Луганськ», званого далі «Аеропорт K».

Аналіз статистичного матеріалу дав змогу провести групування ПС, що обслуговуються в розглянутих аеропортах, із виділенням трьох сукупностей. Ці сукупності названі «категорії ПС». Найбільш характерні для досліджуваних аеропортів ПС поділилися за категоріями так:

• категорія I – Ту-154, Boeing-757-200, Boeing-737-400, Airbus-320;

- категорія II – Ту-134, Як-42, Boeing-737-200, Boeing-737-500, А-319;
- категорія III – Ан-24, АН-26.

Аналіз статистики виявив залежність характеристик операцій не тільки від типу ПС, а й від категорії перевезення – на міжнародних (далі – МПЛ) або внутрішніх (далі – ВПЛ) повітряних лініях. ПС категорії III на МПЛ не використовувалися. Обслуговування ПС менших категорій не розглядалося.

Отже, побудова модельного технологічного графіка й виділення сукупностей ПС (з урахуванням категорії перевезення) дає змогу перейти до формування статистичних моделей окремих операцій для кожної сукупності. Зазначені моделі повинні відображати зв'язки між тривалістю операцій, кількістю персоналу й технічними засобами, їх технічними характеристиками й іншими параметрами.

У результаті оброблення статистичних даних ІС Аеропорту N були отримані параметри емпіричних і згладжуваних теоретичних розподілів тривалості 14 найважливіших операцій та інтервалів часу: обсяг вибірки – кількість рейсів відповідних категорій, інформація про які використовувалася в ході статистичного аналізу; вибіркоче середнє; вибірковий коефіцієнт варіації; рівень значимості критерію згоди; Пірсона; тривалість виконання операції (або інтервалу часу); випадкова величина; емпірична кількість спостережень, потрапили в певний інтервал; теоретичне оцінювання кількості спостережень.

Нами було досліджено матеріали, що характеризують обслуговування близько 2 000 оборотних рейсів, виконаних літаками різних типів на МПЛ і на ВПЛ протягом 2010–2012 рр.

Для оцінювання помилок вибірок використовувалася формула [3]:

$$S_{\bar{x}} = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{n}} \sqrt{1 - \frac{n}{N}},$$

де S – стандартна помилка вибіркового середнього; N – обсяг генеральної сукупності. Помилка ні для однієї з вибірок не перевищила задовільну величину – 4,5%.

Аналіз отриманих даних дав змогу висунути гіпотезу про належність останніх випадкових величин певного теоретичного закону розподілу.

З використанням стандартного формалізму критерію згоди χ^2 Пірсона, викладеного, наприклад, у [2, с. 73], була проведена перевірка можливості згладжування емпіричних розподілів трьома найбільш простими законами, що відбивають особливості досліджуваних процесів: логарифмічно нормального, гамма-, а також Вейбулла.

Усі три закони описуються трьома параметрами й характеризуються позитивною асиметрією, що робить правомірною гіпотезу про можливість їх використання. Перераховані закони розподілу забезпечили для різних вибірок неоднакову якість згладжування, однак найбільш універсальним, який забезпечує найви-

щий рівень значимості в більшості випадків, виявився гама-розподіл.

Формула щільності гама-розподілу ймовірностей має такий вигляд [2]:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s, \\ \frac{\beta^{-\alpha}}{\Gamma(\alpha)} (x-s)^{\alpha-1} e^{-\frac{(x-s)}{\beta}}, & x > s \end{cases},$$

де α – параметр форми; β – масштабний параметр; s – параметр стану або зсув розподілу.

З метою спрощення формованої моделі тільки гама-закон використовується для опису тривалості всіх операцій. У тих випадках, коли жоден із перерахованих законів не забезпечує задовільного згладжування, ми отримуємо параметри гама-розподілу, що доставляють мінімум статистики критерію χ^2 Пірсона.

Поряд із тривалістю розглянуто такі важливі характеристики технологічних операцій, як кількість персоналу й технічних засобів, що вимагаються для їх виконання.

Реєстрація квитків проводиться за порейсовою схемою, яка не вимагає сортування багажу, за якою кількість стійок, що відводиться для обслуговування пасажирів рейсу, коливається від однієї до трьох, залежно від типу ПС, категорії рейсу й перевезення, очікуваної кількості пасажирів та інших факторів. Розподіл кількості стійок для НД II категорії подано на рис. 1.

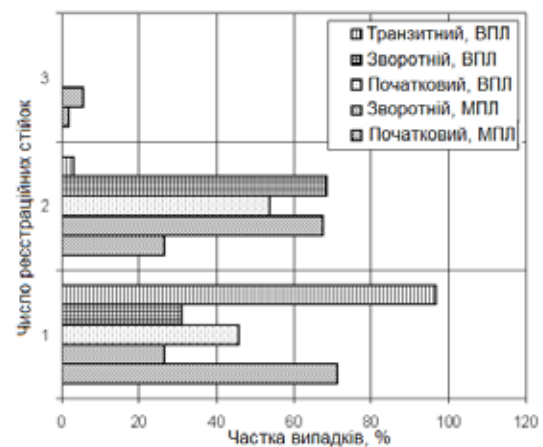


Рис. 1. Розподіл кількості реєстраційних стійок

Кожна стійка обслуговується двома співробітниками служби перевезень. Посадка, висадка пасажирів включає також час доставки до літака або від нього. Доставка здійснюється перонними автобусами або рідше пішки. Піший прохід пасажирів до і від ПС категорії III спостерігався в 25% випадків, ПС категорії II – у 10% випадків. Пасажири ПС категорії I практично завжди доставлялися автобусами. Як правило, для доставки використовувався один автобус. Іноді (приблизно у 3% випадків) використовувався другий автобус. Приблизно така сама частка випадків, коли спеціалізований автобус використовувався для доставки па-

сажирів VIP-класів обслуговування регулярних рейсів. Для посадки-висадки пасажирів у більшості випадків використовувався єдиний трап. Якщо ПС було оснащено бортовим трапом, то, як правило, використовувався цей трап.

Тривалість навантаження й вивантаження багажу включає також витрати часу на його транспортування по перону, для чого використовуються автомобілі з підйомним кузовом, електро- або автовізком. Відповідальний за їх виконання персонал включає двох співробітників аеропорту.

Прибирання салону здійснюється бригадою прибиральників у складі від 1–2 чоловік (для ПС II та II категорії) до 4–6 чоловік (для ПС I категорії) із використанням автобуса.

Для транзитного ТО виявляється залежність тривалості тільки від категорії ВС, але не від категорії перевезення. В умовах аеропорту N кількість виконавців коливається в межах від 2–3 чоловік для ПС категорії III до 4–6 чоловік для ПС категорії I. Роботи з огляду, перевірки систем, прийому та випуску таких літаків, таких як Boeing-737, Airbus-319, Airbus-320, виконуються однією людиною.

Заправку ПС паливом від інших операцій відрізняє та обставина, що її тривалість являє собою випадкову величину, яка складається під впливом найбільш численного комплексу різно-рідних випадкових факторів і здатна змінюватися в досить широких межах. Тут тривалість заправки ПС визначається як композиція низки випадкових величин за формулою:

$$T_3 = \frac{1}{N} \left(\frac{V}{G'} + \frac{V}{G''} \right) + E \left[\frac{V}{v_{T3} N} \right] T_{\text{доп}},$$

де V – об'єм палива, що заправляється, залежить від категорії ПС і відстані перевезення; N – кількість одночасно використовуваних авіапаливозаправників (АПЗ); G' – продуктивність системи заправки ПС; G'' – продуктивність наповнення цистерни АПЗ на пункті наливу; v_{T3} – місткість цистерни АПЗ; $T_{\text{доп}}$ – час на підготовчо-заключні операції в ПС і на пункті наливу, а також на пересування АПЗ по перону; $E[\cdot]$ – оператор округлення до найближчого більшого цілого.

Через відсутність даних у БД ІС деяких із випадкових величин, що входять у наведену формулу, їх значення приймаються за іншими

джерелами й вважаються рівномірно розподіленими [1]. Характеристики низки інших випадкових величин розглянуті нижче.

Слабка розгалуженість мережі авіаліній аеропорту К полегшує облік обсягів палива, що заправляється. Приклад результатів такого обліку поданий на рис. 2, де відображені полігони розподілу маси палива, що заправляється в ПС для виконання рейсу, зарахованого до маси його максимального запасу. Розглянуто заправки двох певних літаків, які виконують рейси на двох авіалініях, а саме: Ту-154 Б-2 – на лінії, протяжністю 1 900 км, Ту-134 Б – на лінії, протяжністю 2 400 км.

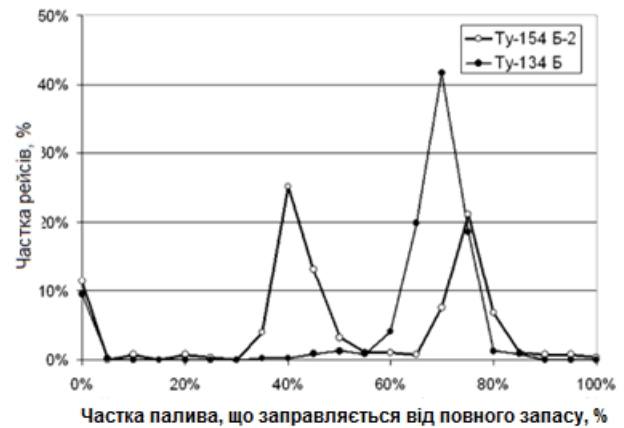


Рис. 2. Статистичний розподіл характеристик операції заправки паливом ПС Ту-154 Б-2 та Ту-134 Б

Загалом дані ІС свідчать про значний розкид кількості палива, що заправляється, причому приблизно в 10% усіх випадків в аеропорту ПС не заправлялося, для польоту використовувався наявний запас палива.

В аеропорту К, що не відрізняється високою інтенсивністю руху, заправка виконується одним АПЗ, що виконують у разі необхідності кілька під'їздів до ПС, що заправляється. Для заправки літаків, які належать до I та II категорій, використовуються АПЗ типу АПЗ-22, для ПС менших категорій – АПЗ-10,5. Час на під'їзд і від'їзд АПЗ становить 3–5 хв.

Аналіз статистичних даних дав змогу розглянути продуктивність заправки як нормально розподілену випадкову величину, що залежить від

Таблиця 1
Характеристики розподілу тривалості заправки ПС паливом

Параметри розподілу	Категорія ПС, тип паливозаправника			
	I, АПЗ-22	II, АПЗ-22	III, АПЗ-22	III, АПЗ-10,5
n	1731	1373	246	257
$\bar{\mu}$, л/хв	930,45	657,52	497,88	310,03
\bar{k}	0,25	0,18	0,29	0,32
μ , л/хв	927,86	656,87	498,58	310,99
k	0,25	0,18	0,29	0,33
ρ^*	0,06	0,13	0,01	0,01

Таблиця 2

Результати оптимізації

інтенсивність потоку, ВС/ч	2		3		4		5		6		7	
	(факт)		(прогноз)		(прогноз)		(прогноз)		(прогноз)		(прогноз)	
$t_{ож}, хв$	10	2	10	2	10	2	10	2	10	2	10	2
Мінімальна чисельність обслуговуючих засобів і персоналу												
Транспортери багажу	8	8	8	8	8	9	9	10	10	11	11	11
Трапи	12	12	14	14	16	17	18	19	20	21	22	23
АПЗ	5	5	6	7	7	8	8	8	8	9	9	10
Багажні каруселі	5	5	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8
Стійки реєстрації	11	11	12	13	15	15	16	17	18	19	20	21
Бригади ТО	7	7	8	9	10	10	11	11	11	12	13	13
Бригади прибиральників	5	6	6	7	7	8	8	8	8	9	9	10

категорії ПС і типу АПЗ. Результати перевірки статистичної гіпотези, подано в таблиці 1, де – математичне очікування згладжуючого нормального розподілу, k – його коефіцієнт варіації.

Розподіл емпіричних значень і графік згладжуючого нормального розподілу для продуктивності заправки ПС II категорії подані на рис. 2.

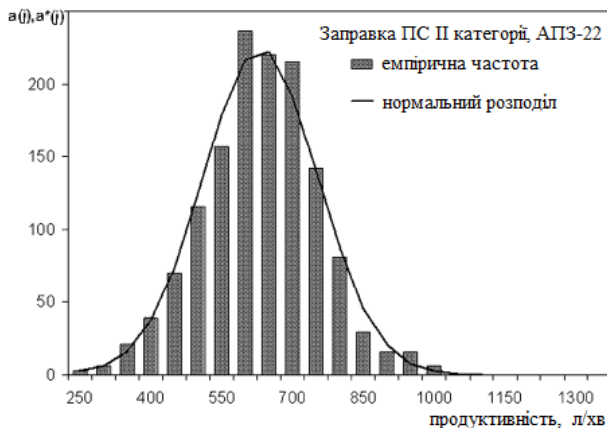


Рис. 2. Статистичний розподіл характеристик операції заправки ПС II категорії паливом

Подані вище характеристики технологічних операцій, отримані на основі оброблення статистичних даних, загалом збігаються з аналогами, що наводяться в нормативній в спеціальній літературі, яка слугує певною гарантією адекватності сформованої моделі. Статистична модель програмно реалізована на базі системи імітаційного моделювання GPSS World.

Описана вище модель може бути використана під час вирішення широкого спектру завдань, пов'язаних з аналізом і оптимізацією технологічних і техніко-економічних параметрів системи обслуговування перевезень аеропортів. Визначено мінімальну кількість, що забезпечує виконання заданих обмежень за якістю обслуговування ПС і пасажирів. У ролі згаданих обмежень виступає тривалість очікування обслуговування, яка з надійністю 0,95 не повинна перевищити задану величину $t_{ож}$. Модель буду-

валася для пікових рівнів інтенсивності потоку ПС, які спостерігалися в аеропорту N протягом останніх років, так і прогнозних. Ухідні потоки ПС і пасажирів у розглянутому прикладі вважалися стаціонарними пуассонівськими. Розподіл ПС за категоріями відбувся відповідно до статистики, що міститься в БД ІС розглянутого аеропорту.

Результати вирішення оптимізаційної задачі для двох обраних значень подані в таблиці 2.

Висновки. Результати оптимізації кількості засобів обслуговування перевезень є базою для оцінювання рівня інвестицій у розвиток аеропорту. Отже, модель технологічних процесів обслуговування наземних перевезень є ефективним інструментом комплексної оптимізації, аналізу та прогнозування параметрів логістичного комплексу аеропорту як складної системи.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Авіаційна наземна техніка. Спеціальні вимоги. – К. : Держспоживстандарт України. – (Національний стандарт України). – Ч. 7 : ДСТУ EN 12312-7:2010. Устаткування для наземного руху повітряних суден (EN 12312-7:2005 + A1:2009, IDT). Чинний від 2012.07.01. – К., 2013. – IV. – 13 с.
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
3. Коробецький Ю.П. Імітаційне моделювання економічних систем: [навч. посіб.] / Ю.П. Коробецький, А.В. Велігура, Я.В. Соколова ; Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2012. – 411 с.
4. Кривонос Ю.М. Выборочный метод оценки количественных признаков объектов генеральной совокупности и ряды динамики : [учеб. пособие по правовой статистике для курсантов, студ. и слушателей] / Ю.М. Кривонос, Н.Н. Шилан ; Луганский ин-т внутренних дел. Кафедра оперативнорозыскной деятельности. – Луганськ : РИО ЛИВД МВД Украины, 2001. – 60 с.
5. Мутлак Н. Управління процесами технічного обслуговування повітряних суден в аеропорту з використанням автоматизованої системи : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.20 / М. Нуралдін ; Національний авіаційний ун-т. – К., 2001. – 18 с.