

УДК 004.94

Джума Л. Н., к.т.н., доцент. Тел.: +380 (93) 780 36 76. E-mail: ldzhuma@gmail.com

Пилипёнок О. Н., преподаватель. Тел.: +380 (66) 503 14 09. E-mail: oksana.pilipyonok@gmail.com  
(Кировоградская летная академия Национального авиационного университета)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЗОНЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ДИСПЕТЧЕРА TOWER

**Dzhuma L. M., Pilipyonok O. M. Modeling of the air traffic flow in the area of Tower controller's responsibility.** The paper is substantiated to the necessity of the air traffic flow modeling in the area of Tower controller's responsibility, which is the queuing system. It is identified the method, which is suitable for modeling. The empirical distributions of various aircraft flow parameters are approximated to continuous and discrete distribution laws. The table of modeling results is received.

**Keywords:** Tower controller, intellectual training system, an aircraft flow, distribution law

**Джума Л. М., Пилипёнок О. М. Моделирование потока воздушных судов в зоне ответственности диспетчера Tower.** У статті обґрунтована необхідність моделювання потоку повітряних суден (ПС) в зоні відповідальності диспетчера Tower, яка представляє собою систему масового обслуговування. Визначено метод, прийнятний для моделювання. Апроксимовані емпіричні розподіли різних параметрів потоку ПС безперервним і дискретним законам розподілу. Отримана таблиця результатів моделювання.

**Ключові слова:** диспетчер Tower, інтелектуальна навчальна система, потік повітряних суден, закон розподілу

**Джума Л. Н., Пилипёнок О. Н. Моделирование потока воздушных судов в зоне ответственности диспетчера Tower.** В статье обоснована необходимость моделирования потока воздушных судов (ВС) в зоне ответственности диспетчера Tower, представляющей собой систему массового обслуживания. Определен метод, приемлемый для моделирования. Аппроксимированы эмпирические распределения различных параметров потока ВС непрерывным и дискретным законам распределения. Получена таблица результатов моделирования.

**Ключевые слова:** диспетчер Tower, интеллектуальная обучающая система, поток воздушных судов, закон распределения

**Введение и постановка задачи.** Современному обществу необходимы компетентные специалисты, которые знают специфику своего дела и способны работать в постоянно изменяющихся условиях. Подготовка такого рода сотрудников возможна при соответствии процесса обучения реальной профессиональной деятельности. Речь идет о формировании у субъекта обучения способности анализировать реальные ситуации и выбирать адекватные пути решения практических задач за счет полученных знаний о предметной области.

Знания могут быть сформированы путем освоения теоретического материала и его закрепления эмпирически в виде умений и навыков. Такую возможность предоставляют различные автоматизированные обучающие системы, среди которых важное место занимают интеллектуальные обучающие системы.

Интеллектуальная (адаптивная) обучающая система – это обучающая система с элементами искусственного интеллекта [1]. Такая система, как правило, адаптируется по отношению к субъекту обучения и предоставляет ему возможность:

- тренировки;
- контроля знания;
- возврата к необходимому разделу обучения в случае выявления недостаточных или ошибочных знаний;
- предоставления дополнительных разъяснений.

Т.е. она позволяет адаптировать процесс обучения под особенности каждого конкретного субъекта обучения, работающего с данной системой.

В настоящее время на кафедре информационных технологий Кировоградской летной академии Национального авиационного университета проводятся научно-практические исследования по созданию интеллектуальной обучающей системы (ИОС) «Диспетчер Tower», которая дополнит существующую систему подготовки диспетчеров данного

профіля с акцентом на процессе принятия решений при управлении взлетно-посадочными операциями [2].

Среди прочих вопросов, связанных с данной разработкой, особая роль отводится вопросу моделирования потока воздушных судов в зоне ответственности диспетчера Tower, представляющей собой систему массового обслуживания [3]. Это объясняется тем фактом, что на своем рабочем месте диспетчер Tower постоянно имеет дело с вылетающими и заходящими на посадку ВС. Причем для обеспечения безопасного, упорядоченного и ускоренного потока воздушного движения ему необходимо обладать и уметь оперировать информацией о количестве ВС, с которым он будет работать, моментах их поступления в его зону ответственности, временных интервалах между поступлениями и категориях турбулентности в спутном следе. Количество ВС влияет на загруженность авиадиспетчера и должно учитываться при планировании его рабочей нагрузки (пропускной способности). Моменты поступления ВС в зону ответственности, временные интервалы между поступлениями и категории турбулентности в спутном следе принимаются во внимание в связи с минимумами эшеленирования, которых должен придерживаться диспетчер Tower.

**Основная часть.** При выборе математического аппарата для моделирования потока ВС анализировалось выполнение планов полетов в Одесском региональном структурном подразделении (РСП) Украэроруха за наиболее насыщенный период – август 2013 года и наименее насыщенный период – январь 2014 года.

Расчеты показали, что в августе план полетов был выполнен приблизительно на 88%, 12% рейсов по каким-либо причинам были перенесены/отменены (Рис. 1). В январе план полетов был выполнен приблизительно на 74%, а перенесены/отменены 26% рейсов (Рис. 2).

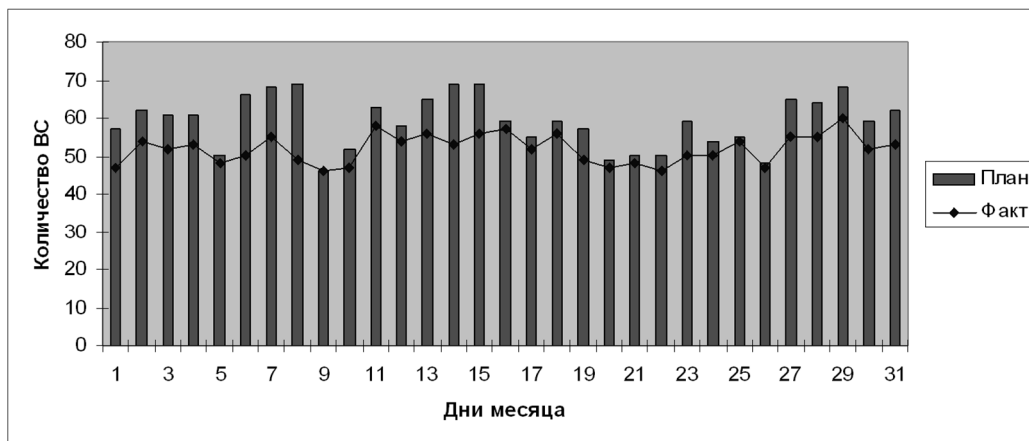


Рис. 1. Анализ фактического выполнения плана полетов в августе 2013 года

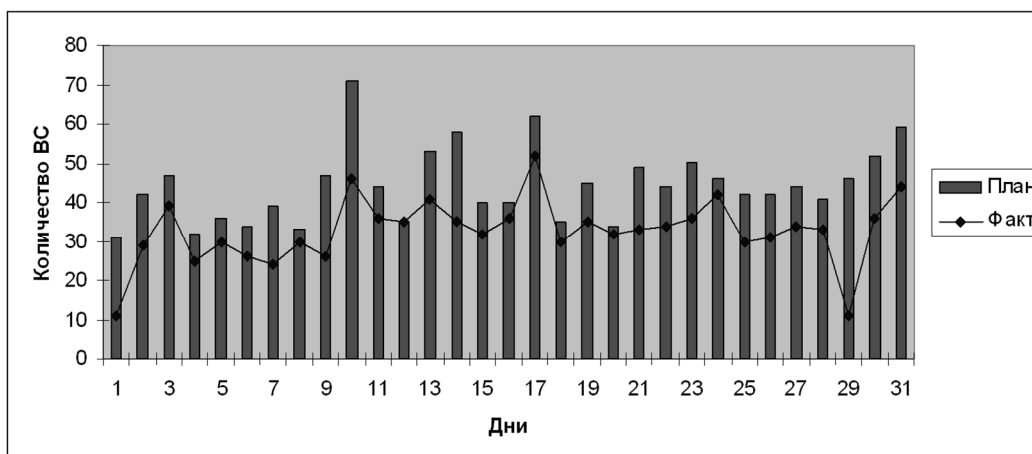


Рис. 2. Анализ фактического выполнения плана полетов в январе 2014 года

Проведений аналіз дозволяє говорити про потік повітряних судів в зоні відповідальності диспетчера Tower як таким (с математическої точки зору), що носить стохастический характер. Следователно, для його представлення в інтелектуальній навчаючій системі можна применити методи веројатностного моделювання.

Для отримання веројатностних моделей потоку повітряних судів були зібрані, проаналізовані і приведені до необхідного для моделювання виду статистическі данні про рейси, виконанні в Одесеском РСР Украероруха в августі 2013 року і январі 2014 року.

На основанні інформації об операційних характеристиках систем масового обслуговування, інструктивних данних для робочого місця диспетчера Tower, попередньої підготовки статистических данних і їх аналізу моделювались:

- моменти поступлення в систему обслуговування (зону відповідальності диспетчера Tower) заходящих на посадку і вилетаючих ВС;
- временні інтервали между заходящими на посадку і вилетаючими ВС;
- кількість ВС, обслуговуваних на робочем місці диспетчера Tower.

В процесі обробки данних по моментам поступлення прилетаючих-вилетаючих ВС і временним інтервалам между ними їх емпірическе розподілення апроксимировано шести неперервним законам розподілення.

При моделюванні кількості ВС, проходящих через зону відповідальності диспетчера Tower емпірическе розподілення апроксимировано чотирем дискретним законам розподілення. При этом целесообразно применити графіческий метод, позволяющий візуально оцінити міру відповідності. При об'ємі виборки  $n=50-60$  ВС збігання стають більш очевидними. При об'ємі виборки менше 40 ВС визначення закону розподілення стає затруднителним.

Емпірическе розподілення моментів поступлення вимог в систему обслуговування найбільш точно збігає з нормальним (Рис. 3) і рівномірним (Рис. 4) законами розподілення.

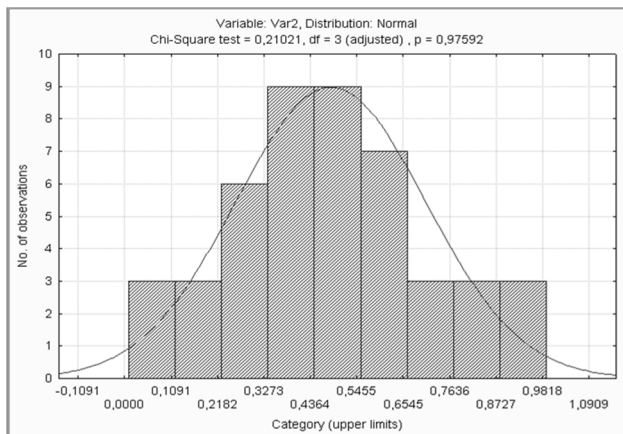


Рис. 3. Модель моментів поступлення вимог в систему обслуговування, відповідна нормальному закону розподілення;  $n=47$

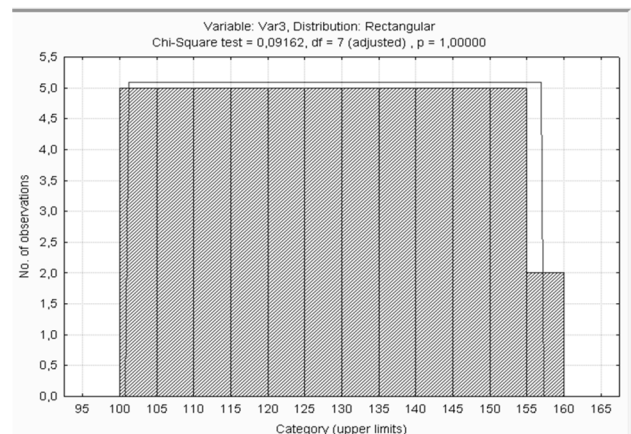


Рис. 4. Модель моментів поступлення вимог в систему обслуговування, відповідна рівномірному закону розподілення;  $n=55$

Учитывая, что параметр  $p$  для модели моментів поступлення вимог в систему обслуговування, відповідної нормальному закону розподілення складає 0,97592, а, відповідної рівномірному закону розподілення – 1,00000, при моделюванні будемо використовувати данні веројатностні закони розподілення.

Емпірическе розподілення временних інтервалів между заявками на обслуговування найбільш точно збігло з експоненціальним законом (Рис. 5), і менш точно, но с прийнятними параметрами – с логнормальним (Рис. 6) і гамма-розподіленнями.

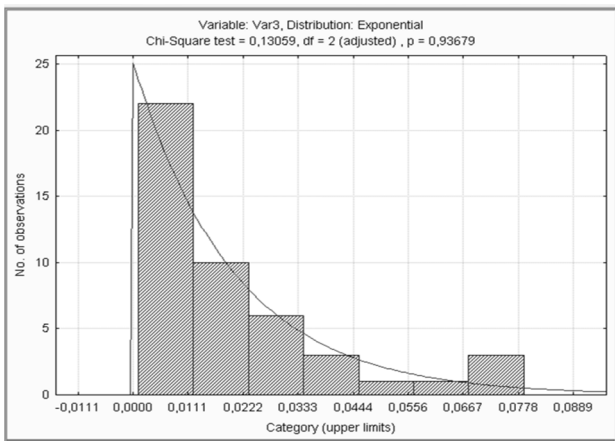


Рис. 5. Модель временных интервалов между заявками на обслуживание, соответствующая экспоненциальному закону распределения;  $n=47$

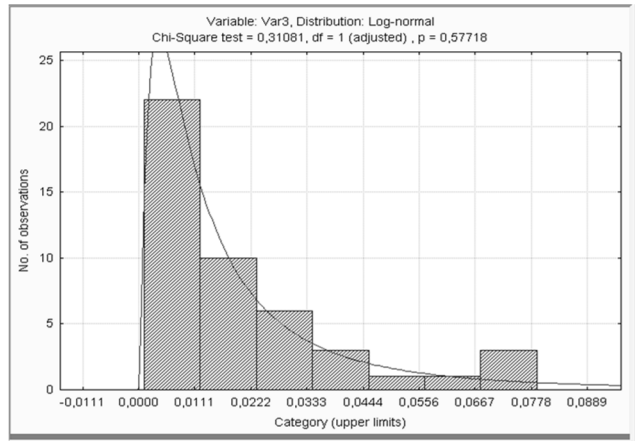


Рис. 6. Модель временных интервалов между заявками на обслуживание, соответствующая логнормальному закону распределения;  $n=47$

Эмпирические распределения количества ВС в наиболее загруженный и наименее загруженные периоды работы наиболее точно совпадают с биномиальным распределением (Рис. 7) и распределением Пуассона (Рис. 8), соответственно.

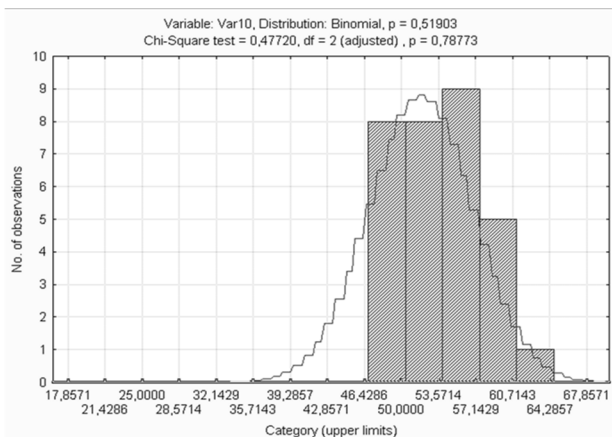


Рис. 7. Модель количества ВС по самому загруженному периоду, соответствующая биномиальному закону распределения;  $n_{cp}=52$

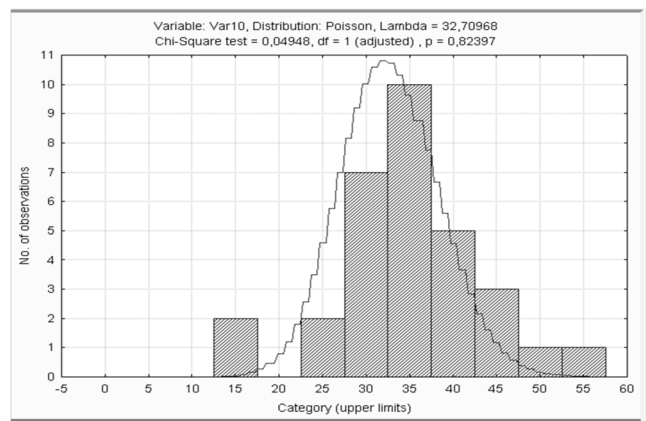


Рис. 8. Модель количества ВС по самому незагруженному периоду, соответствующая распределению Пуассона;  $n_{cp}=32$

Полученные данные подтверждаются также исследованиями Купина В. В. в работе [4]. Но следует отметить, что Купин В.В. использует понятия отдельный и суммарный поток ВС и рассматривает соответствие данных потоков законам распределения в часы пик и по часам суток с целью разработки новых нормативов пропускной способности диспетчерских пунктов для повышения эффективности организации воздушного пространства.

**Результаты, выводы и рекомендации.** Основные научные результаты, полученные на данном этапе исследования, связаны с изучением закономерностей для рабочего места диспетчера Tower. В работе использованы операционные характеристики систем массового обслуживания, описывающие поток ВС, что позволило выделить основные направления моделирования. Обосновано применение математического аппарата вероятностного моделирования. При аппроксимации эмпирических распределений различных параметров потока ВС непрерывным и дискретным законам распределения получены (Табл. 1):

- модель моментів поступлення в систему обслуговування (зону відповідальності диспетчера Tower) заходящих на посадку и вилетающих ВС;
- модель временних інтервалів між заходящими на посадку и вилетающими ВС;
- модель количества ВС, обслуговуваних на робочем месте диспетчера Tower.

**Результаты моделирования для потока ВС** Табл. 1

Параметры потока ВС	Закон распределения
Время прибытия в зону ответственности диспетчера Tower заходящих на посадку и вилетающих ВС	<b>Непрерывные распределения</b>
	<b>Равномерное</b> p=1, $\chi^2=0,09$ , n=47, n=58 p=0,99, $\chi^2=0,089$ , n=32
	<b>Нормальное</b> p=0,98, $\chi^2=0,21$ , n=47 p=0,8, $\chi^2=1,01$ , n=58 p=0,73, $\chi^2=1,28$ , n=51
Временные интервалы между заходящими на посадку и вилетающими ВС	<b>Гамма-распределение</b> p=0,73, $\chi^2=1,3$ , n=47
	<b>Экспоненциальное</b> p=0,94, $\chi^2=0,13$ , n=47 p=0,43, $\chi^2=1,67$ , n=58
	<b>Лог-нормальное</b> p=0,58, $\chi^2=0,3$ , n=47
Количество ВС, обслуговуваних на робочем месте диспетчера Tower в течение суток	<b>Гамма-распределение</b> p=0,48, $\chi^2=0,5$ , n=47
	<b>Дискретные распределения</b>
	<b>Биномиальное</b> p=0,79, $\chi^2=0,48$ (средняя нагрузка $n_{cp}=52$ ВС в сутки)
	<b>Пуассона</b> p=0,82, $\chi^2=0,05$ (средняя нагрузка $n_{cp}=32$ ВС в сутки)

Такое многообразие моделей позволит решить одну из важнейших задач разработки интеллектуальной обучающей системы «Диспетчер Tower», связанную с автоматизацией генерирования упражнений различного уровня сложности, т.к. рассмотренные параметры потока ВС являются одним из факторов, определяющих сложность ситуации для рабочего места диспетчера Tower.

### Литература

1. Технологии интеллектуальных обучающих систем [Электронный ресурс] / – Режим доступа : <http://galuev11.narod.ru/1/index.htm>. – 26.01.2015 г.
2. Джума Л. Н. Совершенствование модели информационного обеспечения интеллектуальной обучающей системы «Диспетчер Tower» / Л. Н. Джума, О. Н. Пилипенко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – №5 (33). – С. 48-57.
3. Джума Л. Н. Автоматизация процессов труда в системе управления воздушным движением / Л. Н. Джума, О. Н. Паскаль // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2010. – Вип. 9 (51). – С. 155-160.
4. Купин В. В. Оценка интенсивности потоков воздушных судов в часы пик в системе управления воздушным движением: автореферат дис. ...кандидата технических наук: 05.22.13 / Акад. гражд. Авиации. – Санкт-Петербург, 2004. – 23 с.

Дата надходження в редакцію: 24.07.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Ю. В. Кравченко