

УДК 621.396.96

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-3-47-55

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОШИБОЧНОЙ РАБОТЫ ДИСПЕТЧЕРА

В.Е. БОРИСОВ¹, В.В. БОРСОВА², С.М. СТЕПАНОВ¹, А.И. СТЕПНОВА¹

¹Ульяновский институт гражданской авиации

имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск, Россия

²Авиакомпания «Россия», г. Москва, Россия

Человеческая ошибка считается причиной или одним из основных факторов большинства аварий. Ошибки не являются неким типом отклонений в поведении, они – естественный продукт всех усилий человека. Ошибки должны быть приняты как нормальный компонент любой системы, в которой взаимодействуют техника и человек. В авиации десятилетиями с 1960-х годов доля человеческого фактора (ЧФ) от общего числа причин авиационных происшествий оценивается постоянным ростом от 40–50 до 80–90 %. Эта цифра относится в основном к сертифицированному летному персоналу коммерческой авиации. С учетом полетов авиации общего назначения (АОН), техобслуживания, управления воздушным движением, инфраструктуры транспортного комплекса общая доля ЧФ оказывается более 90 %. По содержанию предмет ЧФ направлен на исследование человека в различных условиях и отношениях естественной среды обитания и техногенной деятельности. Концепция ЧФ направлена на поиски причин неудовлетворяющей деятельности и понимается как область выработки методов оптимизации безопасности деятельности. В понимании ошибочности человеческой деятельности лежит история чувств и представлений об ответственности и свободе воли. Ошибочные действия человека являются следствием множества одновременных и асинхронных процессов комплекса всех субъектов воздушного транспорта и социальной среды. Исследование природы ошибочных действий приводит к выводам о глубинном происхождении в структурах психики человека намерений, суждений и волеизъявления. Оценка последствий происходит на фоне изменяющейся среды и сознания индивида. Результаты чаще воспринимаются как не соответствующие первоначальным намерениям. Особую актуальность человеческий фактор приобретает при внедрении навигации, основанной на характеристиках (PBN). Выполнение международных стандартов по человеческому фактору ставит перед авиакомпаниями и службами УВД серьезные проблемы.

Ключевые слова: человеческий фактор, процесс забывания.

ВВЕДЕНИЕ

Влияние человеческого фактора на уровень аварий и катастроф является доминирующим во всех видах человеческой деятельности. Доля человеческого фактора в авиации оценена ИКАО и составляет от 60 до 80 %, в среднем 70 % за все время ее существования [1]. Если рассмотреть процентное соотношение факторов, влияющих на безопасность полетов для диспетчеров, осуществляющих непосредственное управление воздушным движением, то оно будет иметь вид:

- человеческий фактор (ошибки диспетчерского персонала) – 70 %;
- отказ оборудования воздушного судна – 15 %;
- отказ наземного оборудования – 10 %;
- метеословия – 5 %.

Анализ причин и расчет закономерностей рабочего процесса диспетчера может способствовать снижению количества ошибок, что непосредственным образом скажется на безопасности воздушного движения.

На основании свойства стабильности относительных частот можно с высокой степенью достоверности считать, что это отношение перенесется на интенсивность потоков возникновения инцидентов (И), серьезных инцидентов (СИ), аварий (А) и катастроф (К) [2, 3]. Таким образом, можно записать следующие соотношения:

$$\lambda_{\text{чфи}} = 0,7 \lambda_u; \lambda_{\text{чфси}} = 0,7 \lambda_{\text{си}}; \lambda_{\text{чфа}} = 0,7 \lambda_a; \lambda_{\text{чфк}} = 0,7 \lambda_k, \quad (1)$$

где λ_u – интенсивность потоков возникновения инцидентов;
 $\lambda_{\text{си}}$ – интенсивность потоков возникновения серьезных инцидентов;
 λ_a – интенсивность потоков возникновения аварий;
 λ_k – интенсивность потоков возникновения катастроф;
 $\lambda_{\text{чф}}$ – интенсивность потока ошибок, обусловленных человеческим фактором.

Индивидуальная величина интенсивности ошибок диспетчеров в течение их производственной деятельности подвержена изменениям. Эта величина зависит от стажа работы, возраста, физического состояния, роста профессиональных навыков. График зависимости безошибочной работы диспетчера от стажа приведен на рис. 1 [2].

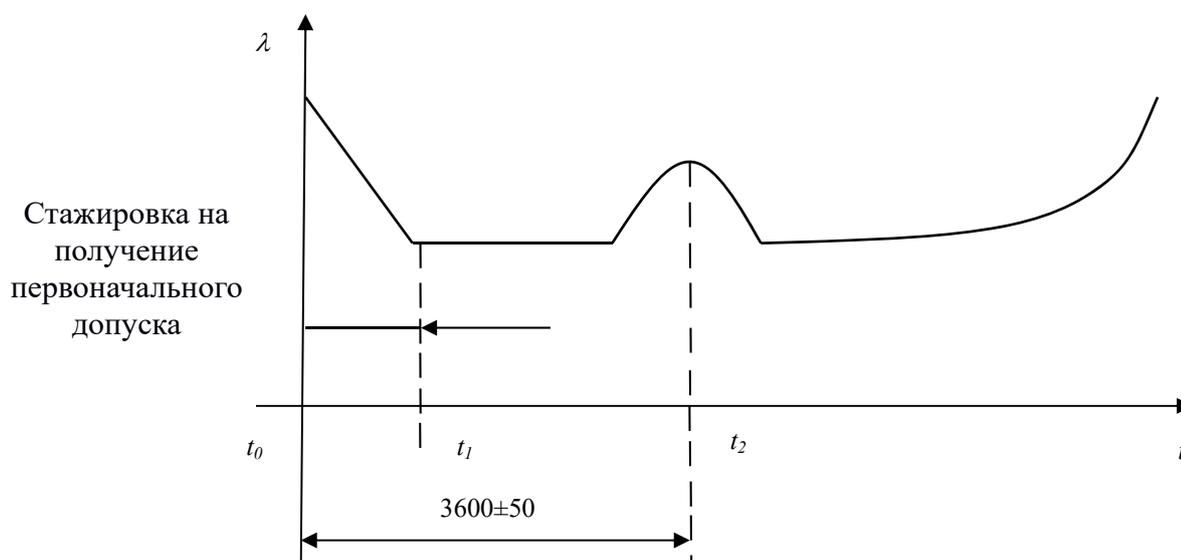


Рис. 1. Зависимость безошибочной работы диспетчера от стажа: λ – интенсивность ошибок;
 t – время работы; t_0 – начало стажировки; t_1 – окончание стажировки;
 t_2 – время появления самоуверенности

Fig. 1. The dependence of controller's error-free job during work: λ – intensity of errors; t – time of work;
 t_0 – start of training; t_1 – end of training; t_2 – appearance of self-confidence

У диспетчеров, отработавших 3600 часов, наблюдается снижение вероятности определения нештатных ситуаций. Данный вывод был сделан методом экспертной оценки работы диспетчеров на предприятии гражданской авиации.

По данным УВАУ ГА (И), при общем налете 280 часов на диспетчерском тренажере курсантами совершено 200 ошибок, из них четыре привели к срабатыванию сигнализации конфликтной ситуации. Отсюда можно определить интенсивность ошибок на этапе стажировки:

$$\lambda = \frac{196}{280} = 0,7 \text{ час}^{-1}, \quad \lambda = \frac{4}{280} = 0,01428 = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ час}^{-1}. \quad (2)$$

Профессиональный аспект играет важную роль в авиационной аварийности гражданской авиации [4]. Он включает ошибки, являющиеся следствием таких факторов, как:

- принятие неправильного решения, неадекватно возникшей ситуации;
- ошибочные действия при реализации решения.

Профессиональные ошибки могут быть следствием недоученности, т. е. неумения выполнить те или иные элементы, что, в свою очередь, обусловлено следующим: или диспетчера недостаточно учили, или он недостаточно усвоил предмет обучения [4].

Пусть показатель качества обучения W имеет количественное выражение и определяется многими факторами обучения, т. е. является функцией нескольких переменных. Эти факторы могут варьироваться или быть постоянными. Тогда можно записать

$$W = W(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m), \quad (3)$$

где x – факторы обучения;

$i = 1, n$ – номера варьируемых факторов;

$i = n + 1, m$ – номера неварьируемых или постоянных факторов.

В настоящее время существуют аналитические зависимости показателя качества обучения от факторов обучения. В предположении о линейной зависимости показателя качества W от факторов обучения, в соответствии с теорией чувствительности можно описать неизвестную зависимость рядом Тейлора при определении значений частных производных в точке, которая характеризует процесс обучения.

Ряд факторов может иметь свою градацию, так, например: состав ППС, фонд зарплаты ППС по должностям (ассистент, ст. преподаватель, доцент и т. д.). В этом случае i -фактор имеет указатель группы градации j , т. е. x_{ij} , m – число градаций.

Разложение в ряд Тейлора выполняется в точке, которая характеризует процесс обучения в настоящее время и обозначаемое:

$$W_0 = W(x_{10}, \dots, x_{n0}, x_{n+1,0}, \dots, x_{m0}).$$

Тогда в общем виде можно представить разложение в следующем образом:

$$W = W_0 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{dW}{dx_i} \right)_0 \Delta x_i, \quad \text{если } W - W_0 = \Delta W, \quad \text{то} \quad (4)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{dW}{dx_{ij}} \right)_0 \Delta x_{ij}.$$

Разложение выполнено в предположении о линейной зависимости показателя качества от факторов обучения. Ясно, что чем выше показатель качества обучения W или приращение показателя качества ΔW , тем лучше.

Однако все факторы обучения имеют экономическую оценку и, следовательно, имеют ограничения, например: фонд зарплаты, число часов на дисциплину, количество курсантов на одного преподавателя, количество книг на одного курсанта и т. д.

Тогда в общем случае можно записать систему ограничений:

$$\begin{cases} m_1 \\ \sum_{j=1} \Delta x_{1j} \leq c_1; \\ m_i \\ \sum_{j=1} \Delta x_{ij} \leq c_i; \\ m_n \\ \sum_{j=1} \Delta x_{nj} \leq c_n. \end{cases} \quad (5)$$

Формулы (4) и (5) совместно образуют новую задачу, которая решена в теории линейного программирования (величина ΔW является целевой функцией).

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{dW}{dx_{ij}} \right)_0 \Delta x_{ij} \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^{m_i} \Delta x_{ij} \leq c_i (i = 1, n) \end{cases}$$

В случае применения дискретной формы представления факторов обучения, можно расширить задачу, понимая величину Δx_i как дискретную переменную, принимающую два значения: 0 и 1.

При описании реального учебного процесса, как в учебных заведениях, так и во время стажировки на рабочем месте диспетчера, надо определить величину частной производной по экспериментальным данным, которые возможно собрать в учебных заведениях и на предприятиях гражданской авиации.

$$\left(\frac{dW}{dx_{ij}} \right)_0 = \frac{\Delta W}{\Delta x_{ij}} = \frac{W - W_0}{x_{ij} - x_{ij0}}, \text{ при прочих равных условиях.}$$

Эргономический аспект включает в себя ошибки, вызванные следующими факторами [2]:

- модельными особенностями автоматизированного рабочего места диспетчера;
- неполным соответствием расположения кнопок управления и частоты их использования при большой интенсивности полетов;
- неблагоприятной организацией связи со смежными пунктами и службами.

Психологический аспект включает ошибки, обусловленные следующими психологическими особенностями личности:

- сниженной способностью к прогнозированию развития ситуации;
- недостаточно объективной самооценкой, приводящей к принятию решений, реализация которых объективно не под силу данному члену экипажа (пилоту);
- недостаточно профессиональной (технологической) дисциплинированностью;
- склонностью к принятию необоснованных решений (авантюристичность, неоправданная «лихость» и т. п.);
- пониженной стрессоустойчивостью;
- неполной психологической совместимостью между диспетчерами смены.

Внешняя среда включает в себя неблагоприятные условия выполнения полета, такие как:

- плохая погода на базовом аэродроме;
- грозовая деятельность в пространстве.

Кроме того, в этот аспект включены факторы, связанные взаимодействием во время работы:

- ошибки пилота;
- конфликты со специалистами других служб.

К социальному аспекту относятся факторы авиационных происшествий, связанные с условиями работы диспетчеров.

Наиболее значимыми из этих факторов являются ошибки, небрежность и невнимательность диспетчеров.

Изменения интенсивности ошибок диспетчера происходит в следующих случаях:

- повышение квалификации (периодический процесс);
- переобучение на сектор;

- изменение ответственности (перевод на должность старшего или руководителя полетов);
- изменение режима работы.

Это средние цифры за весь период подготовки специалистов [4, 5]. Если рассмотреть процесс переучивания на смежный сектор, то зависимость будет иметь вид рис. 2.

Индивидуальный поток ошибок диспетчера является нестационарным потоком, т. е. является нестационарным пуассоновским потоком [2].

В целом по одному авиапредприятию общий поток ошибок всех диспетчеров не будет зависеть от времени, т. е. он будет стационарным.

Ошибки диспетчеров в пределах одного авиапредприятия являются суммой индивидуальных потоков. В этом случае потоки разнесены по времени за счет прихода молодых специалистов и ухода диспетчеров на пенсию, времени выполнения работы в усложненных условиях и т. д.

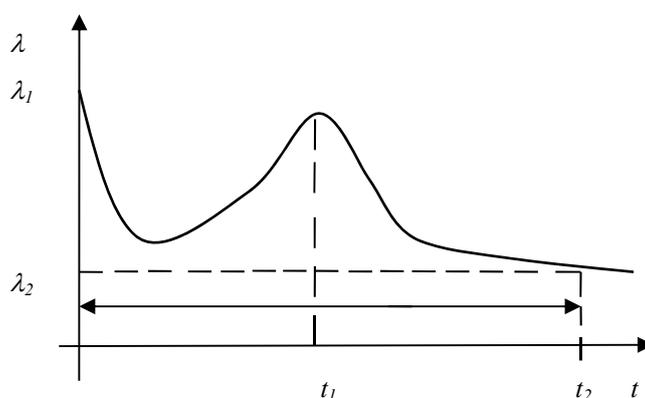


Рис. 2. Зависимость интенсивности ошибок на конец переучивания:

λ_1 – начальная интенсивность ошибок; λ_2 – интенсивность ошибок на конец переучивания;
 t_0 – начало переучивания; t_1 – появление самоуверенности; t_2 – окончание переучивания

Fig. 2. The dependence of errors intensity at the end of retraining:

λ_1 – initial intensity of errors; λ_2 – intensity of errors at the end of retraining; t_0 – start of retraining;
 t_1 – appearance of self-confidence; t_2 – end of retraining

Таким образом, происходит усреднение интенсивности ошибок. Суммарный поток будет простейшим, т.е. интенсивность ошибок этого потока будет постоянной $\lambda_\Sigma = \text{const}$ и безошибочная работа может быть определена по формуле

$$P(t) = \exp(-\lambda_\Sigma t), \quad (6)$$

где $P(t)$ – безошибочная работа диспетчера;

λ_Σ – интенсивность ошибок суммарного потока.

Средний индивидуальный поток рассчитывается по формуле

$$\Lambda = \frac{\lambda_\Sigma}{N}, \quad (7)$$

где Λ – средний индивидуальный поток;

λ_Σ – интенсивность ошибок суммарного потока;

N – общее количество диспетчеров.

Общий поток λ_{Σ} может характеризовать качество организации работы на данном конкретном авиапредприятии.

Влияние факторов на интенсивность ошибок может быть учтено через коэффициенты нагрузки, принятые в теории надежности^{1,2}. Они определяются по формуле

$$K_{H_i} = \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{ном}}, K_{H_i} > 0, \quad (8)$$

где $\Phi_{ном}$ – номинальное значение фактора;
 Φ_{max} – наибольшее значение негативного фактора;
 K_{H_i} – коэффициент нагрузки.

Эти коэффициенты могут быть больше и меньше единицы и входят в формулу вероятности безошибочной работы мультипликативно:

$$P = \exp(-\lambda_{\Sigma} t \prod_{i=1}^n K_{H_i}). \quad (9)$$

Подход, основанный на экспоненциальной зависимости вероятностей ошибок оператора от процессов обучения и забывания, базирующийся на открытии в психофизиологии Германа Эббингауза в 1895 г., был рассмотрен в работе [6].

Процесс забывания может быть описан линейным дифференциальным уравнением (рис. 3)

$$\tau_3 \frac{du}{dt} + ku = 0, \quad (10)$$

$$u(0) = u_0 k, \quad (11)$$

где τ_3 – постоянная времени забывания;
 k – коэффициент передачи;
 u – текущая успеваемость;
 u_0 – степень обучающего воздействия (входное воздействие).

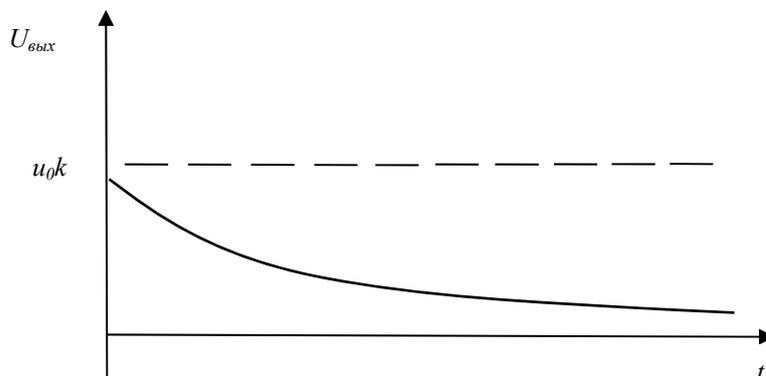


Рис. 3. Процесс забывания: $u_0 k$ – сохранившийся в памяти материал; t – время обучения
 Fig. 3. The process of forgetting: $u_0 k$ – material preserved in the memory; t – training time

¹ Воздушный кодекс Российской Федерации. М.: Воздушный транспорт, 1997.

² Руководство по профессиональной подготовке персонала обслуживания воздушного движения гражданской авиации. Утверждено Распоряжением ФСБТ РФ от 01.02.2000 г.

$$u(t) = C_1 e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (12)$$

$$C_1 = u_0 k \text{ или } u(t) = u_0 k (1 - e^{-\frac{t}{\tau_3}}). \quad (13)$$

Процесс забывания – неизбежный процесс, который непрерывно происходит с обученным лицом³ [7]. Ясно, что $\tau_3 > \tau_0$, т. е. это условие возможности обучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс забывания у диспетчера происходит периодически, после определенного промежутка времени, как после получения первоначального допуска, так и после получения последующих допусков и переучивания. Чем больше проходит времени с момента окончания стажировки, тем меньше становится показатель $u_0 k$, а следовательно, для уменьшения вероятности забывания, необходимо проводить систематическое повторение материала.

На предприятиях для этих целей проходят техучебы периодичностью раз в месяц, а также курсы повышения квалификации. Для проверки практических навыков проводятся занятия на диспетчерском тренажере [8]. Однако такая подготовка проходит при получении допусков и подготовке к осенне-зимнему и весенне-летнему периоду.

Необходимо довести тренажерную подготовку до системного характера, что возможно только при свободном проведении занятий на тренажере в любое время, удобное для диспетчера, осуществляющего непосредственно УВД. Процесс забывания индивидуален для каждого человека в отдельности и зависит от дополнительных факторов, таких как количество допусков, период прохождения курсов повышения квалификации, однако расчет и построение кривых забывания, позволяют перейти к сравнению по вероятности ошибки педагогического и базового вариантов. В результате можно получить приращение вероятности безошибочного выполнения своих функций персоналом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Плотников Н.И.** Ресурсы пилота. Надежность: монография. Новосибирск: ЗАО ИПЦ «АвиаМенеджер», 2013. 264 с.
2. **Лебедев А.М.** Метод расчета ожидаемого предотвращенного ущерба от авиационных происшествий: монография. Ульяновск: УВАУ ГА, 2007. 155 с.
3. **Степанов С.М., Степнова А.И.** Человеческий фактор при автоматизации процесса управления воздушным движением // Научный вестник УВАУ ГА (И). 2015. № 7. С. 77–80.
4. **Овчаров В.Е.** «Человеческий фактор» в авиационных происшествиях: метод. материалы / Межгосударственный авиационный комитет. М.: Энергия, 2005. 13 с.
5. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. М.: Наука, 1964. 576 с.
6. Авиационная психология и человеческий фактор: учеб.-метод. пособие / сост. Д.А. Евстигнеев. Ульяновск: УВАУ ГА, 2005. 103 с.
7. **Зубков Б.В., Рыбалкин В.В.** Человеческий фактор и безопасность полетов. М.: МГТУ ГА, 1994. 68 с.
8. Подготовка авиационного персонала в области человеческого фактора: учеб.-метод. пособие / сост. Д.А. Евстигнеев. Ульяновск: УВАУ ГА, 2009. С. 4–5.

³ Руководство по профессиональной подготовке персонала обслуживания воздушного движения гражданской авиации. Утверждено Распоряжением ФСБТ РФ от 01.02.2000 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Борисов Владимир Евгеньевич, заведующий кафедрой управления воздушным движением и навигации Ульяновского института гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, ve_borisov@mail.ru.

Борсоева Вера Владимировна, старший специалист авиакомпании «Россия», borsoeva_vera@mail.ru.

Степанов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры АТ Ульяновского института гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, uvauga-kvs@yandex.ru.

Степнова Анастасия Ивановна, аспирант кафедры АТ Ульяновского института гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, nast9679@yandex.ru.

THE PROBABILITY DETERMINATION OF ERROR-FREE AIR TRAFFIC CONTROLLER OPERATION

Vladimir E. Borisov¹, Vera V. Borsoeva², Sergei M. Stepanov¹, Anastasiia I. Stepnova¹

¹Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Ulyanovsk, Russia

²Rossia Airlines, Moscow, Russia

ABSTRACT

Human error is considered to be a cause or one of the main factors in most accidents. Errors are not a certain type of deviation in behaviour; they are a natural product of all human efforts. Errors must be accepted as a normal component of any system, in which humans and technology interact. In aviation for decades since 1960-ies the share of the human factor (HF) from the total number of aviation accident reasons is estimated by the constant growth from 40–50 to 80–90% [1]. This figure refers generally to the certified flight personnel of commercial aviation. Taking into account flights of General aviation (GA), maintenance, air traffic control, transport infrastructure, the overall share of the HF is over 90%. The subject content of HF focuses on the study of man in various conditions and relations to natural habitat and anthropogenic activities. The HF concept is aimed at finding the reasons for unsatisfactory activity and is understood as a field of methods development to optimize safety. In the understanding of human activities inaccuracy is the history of feelings and ideas about responsibility and free will. Erroneous human actions are the result of many simultaneous and asynchronous processes of air transport subjects and the social environment. The study of the nature of erroneous actions leads to conclusions about the deep origin in the human mentality structures of intentions, opinions and expression of the will. Consequence evaluation takes place during changing environment and individual consciousness. The results are often perceived as not corresponding to the original intentions. The human factor acquires special relevance at introduction of the navigation based on characteristics (PBN). Airline companies and services of Air Traffic Control (ATC) face serious problems while implementing the international standards on human factor.

Key words: human factor, forgetting process.

REFERENCES

1. Plotnikov, N.I. (2013). *Resursi pilota. Nadezhnost* [Resources pilot. Reliability]: monograph. Novosibirsk: CAO IPC “Aviatio Management”, 264 p. (in Russian)
2. Lebedev, A.M. (2007). *Metod rascheta ozidaemogo predotvrachennogo ucherba ot aviacionnih proichestviy* [The method of calculating the expected avoided damage from the accident]: monography. Ulyanovsk: Ulyanovsk Higher Civil Aviation School, 155 p. (in Russian)
3. Stepanov, S.M. and Stepnova, A.I. (2015). *Chelovecheskiy faktor pri avtomatizacii processa upravleniya vozducnim dvisheniem* [The human factor in the automation of air traffic control]. Scientific Bulletin UVAU GA, no. 7, pp. 77–80. (in Russian)

4. **Ovcharov, V.E.** (2005). "*Chelovecheskiy faktor*" v aviacionnih proishestviyah [The human factor in aircraft accidents]: teaching material. The interstate aviation Committee. Moscow: Energy, 13 p. (in Russian)
5. **Vencel, E.S.** (1964). *Teoria veroiatnostey* [Theory of probability]. Moscow: Science, 576 p. (in Russian)
6. **Evstegneev, D.A.** (2005). *Aviacionnaya psihologia I chelovecheskiy faktor* [Aviation psychology and human factors]: textbook. Ulyanovsk: UVAU GA, 103 p. (in Russian)
7. **Zubkov, B.V. and Ribalkin, V.V.** (1994). *Chelovecheskiy faktor I bezopasnost poletov* [Human factor and flight safety]. Moscow: MGTU GA, 68 p. (in Russian)
8. **Evstegneev, D.A.** (2009). *Podgotovka aviacionnogo personala v oblate chelovecheskogo faktora* [The aviation personnel training in human factor: methodical Instructions on studying of discipline]. Ulyanovsk: UVAU GA (I), pp. 4–5. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir E. Borisov, Head of the Air Traffic Control and Navigation Chair, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, ve_borisov@mail.ru.

Vera V. Borsoeva, Senior Specialist of Rossiia Airlines, borsoeva_vera@mail.ru.

Sergei M. Stepanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aviation Technique Chair, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, uvauga-kvs@yandex.ru.

Anastasiia I. Stepnova, Postgraduate of the Aviation Technique Chair, Ulyanovsk Civil Aviation Institute, nast9679@yandex.ru.

Поступила в редакцию 08.09.2017
Принята в печать 15.05.2018

Received 08.09.2017
Accepted for publication 15.05.2018