

УДК 629.067

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ПИЛОТОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

П.М. ПОЛЯКОВ, М.В. КАРМЫЗОВ, С.В. МОНАХОВА

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Зубковым Б.В.**

В статье затронута проблема оценки подготовленности пилотов гражданской авиации в условиях авиакомпании с целью обеспечения безопасности полетов. В связи с этим предлагается проект комплексной методики оценки профессиональной подготовленности пилотов, условно разделённой на этапы ввода в строй, активной летной деятельности и совершенствования профессиональных навыков на случай возникновения особых ситуаций в полете.

**Ключевые слова:** подготовка пилотов, алгоритмическое обеспечение, безопасность полетов.

Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации свидетельствует, что по-прежнему преобладающим фактором в причинности авиационных происшествий является человеческий. Наибольшую угрозу безопасности полета в процессе летной эксплуатации ВС создают события, обусловленные ошибочными действиями при пилотировании и навигации [1]. В целом все негативные проявления человеческого фактора, создающие реальную угрозу безопасности полетов можно условно объединить в понятие «неподготовленность к выполнению профессиональных функций». В связи с этим предлагается проект комплексной методики оценки профессиональной подготовленности пилотов, условно разделенный на три этапа.

1. Ввод в строй (при отсутствии устойчивых оценок техники пилотирования).

Ввод в строй летного состава после летного училища или переучивания весьма сложный и дорогостоящий процесс. В свою очередь, переход на активную эксплуатацию в РФ самолетов нового поколения, таких как А-320, А-330, В-767, В-777, SSJ-100 и т.п., требует от летного состава определенных специфических навыков, которые невозможно приобрести в летных учебных заведениях, ориентированных на использование отечественной техники советского периода. Активное использование тренажерных компьютерных программ позволяет получить первоначальные навыки управления ВС. Тем не менее при грамотно проведенной программе ввода в строй данные недостатки можно устранить.

Формирование такой программы должно содержать не только необходимые базовые элементы, но и ориентироваться на проработку «слабых мест» пилота-стажера.

В качестве такой методики в рамках предлагается рассмотреть раздел теории, известной в литературе как выбросы случайных процессов [8] или задачи типа пересечений уровня.

Если поставить задачу вероятностного описания всех возможных будущих состояний системы, то такая задача будет крайне сложной и, быть может, невыполнимой. К счастью, для целей исследования часто бывает достаточно получить ответы на более простые вопросы. Например, такой: «С какой вероятностью к заданному моменту времени процесс управления ВС не выйдет из некоторых, заранее оговоренных эксплуатационных ограничений?». Задачи такого типа называются задачами о выбросах проблемы предсказания выхода случайного процесса на границу области, а именно – к проблеме обеспечения безопасности посадки летательных аппаратов, в частности самолетов. При этом речь идет не о простых примерах и модельных задачах, цель которых – лишь проиллюстрировать теорию, а о реальных конкретных проблемах, поставленных практикой. Покажем, как результаты решения задач о выбросах случайных процессов могут быть использованы для расчета вероятности успешной посадки, под которой понимается приземление на заданный участок посадочной поверхности с соблюдением в

момент начального касания поверхности требуемых ограничений на вертикальную скорость, углы тангажа, крена и другие важные характеристики полета. Указанные ограничения устанавливаются руководством по летной эксплуатации, а их нарушение ведет к авиационным событиям.

Рассмотрим реализацию (выборочную функцию)  $x(t)$  одномерного случайного процесса  $X(t)$  непрерывного аргумента  $t$ , заданного на каком-либо конечном промежутке, например  $[0, T]$ . Такая выборочная функция  $x(t)$  изображена на рис. 1. Будем предполагать ее непрерывной. Зафиксируем некоторое число  $x_0$ . Взаимное расположение различных участков реализации  $x(t)$  и уровня  $x_0$  можно описать с помощью следующих параметров:

$t^*$  – момент первого достижения уровня  $x_0$  реализацией  $x(t)$ ;

$N^+$  – число пересечений уровня  $x_0$  реализацией  $x(t)$  снизу вверх (на рис. 1  $N^+ = 3$ );

$N^-$  – число пересечений уровня  $x_0$  реализацией  $x(t)$  сверху вниз (на рис. 1  $N^- = 2$ );

$\tau^+$  – интервал между двумя последовательными пересечениями уровня  $x_0$  снизу вверх и сверху вниз, т.е. в любой промежуточный момент  $t$  из этого интервала выполнено условие  $x(t) > x_0$ ;

$\tau^-$  – интервал между двумя последовательными пересечениями уровня  $x_0$  сверху вниз и снизу вверх, т.е. в любой промежуточный момент  $t$  из этого интервала выполнено условие  $x(t) < x_0$ ;

$n$  – число локальных максимумов реализации  $x(t)$ , превышающих уровень  $x_0$ ;

$h$  – высота локального максимума, превышающего уровень  $x_0$ ;

$h_{\max}$  – высота наибольшего из локальных максимумов;

$t_{\max}$  – момент достижения максимума  $h_{\max}$ :  $x(t_{\max}) = h_{\max}$ .

Этот перечень в случае необходимости можно и расширить, вводя подобные параметры, связанные, например, с локальными минимумами реализации  $x(t)$ . Параметры  $h$ ,  $\tau^+$ ,  $\tau^-$  в пределах одной реализации могут принимать несколько значений (в зависимости от выбранного уровня  $x_0$ , рассматриваемой длины  $T$  и других свойств реализации  $x(t)$ ) и вместе с параметрами  $t^*$ ,  $N^+$ ,  $N^-$ ,  $t_{\max}$ ,  $h_{\max}$  изменяются случайным образом от одной реализации к другой, т.е. представляют собой случайные величины. Статистические характеристики этих случайных величин и вероятности связанных с ними событий и являются предметом изучения рассматриваемого раздела теории случайных процессов [8].

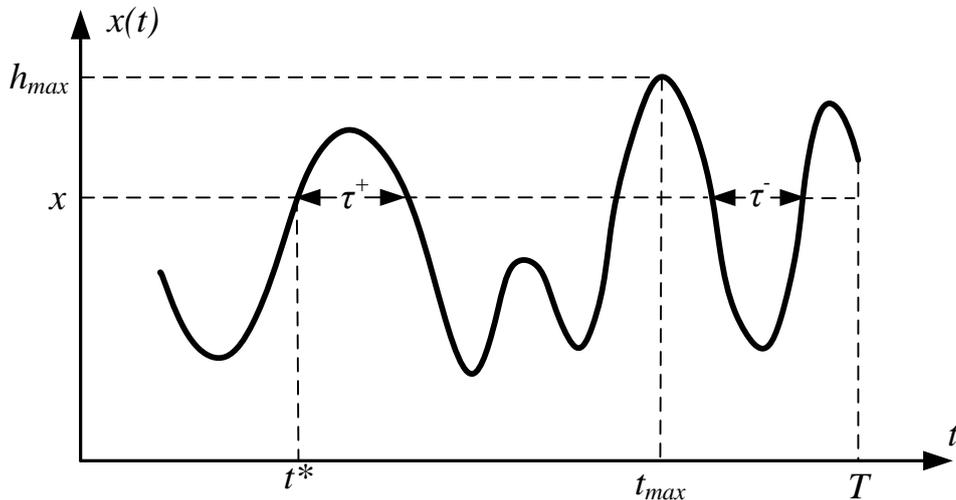


Рис. 1. Выборочная функция рассматриваемого процесса

В качестве примера использования данной теории, применительно к авиации, возникает необходимость в исследовании вероятностных свойств момента  $t^*$ . Такая задача в авиации является актуальной при оценке точности приземления самолета. В ней требуется оценить вероятность того, что приземление, т.е. начальное касание самолетом посадочной поверхности произойдет на заданном участке ( $l_1 > l_2$ ), где  $l$  – расстояние, отсчитываемое от передней кромки посадочной полосы. Если через  $H(l)$  обозначить случайный процесс изменения высоты полета

при посадке, то задача сводится к оценке вероятности того, что момент  $l^*$  первого достижения уровня  $h = 0$  процессом  $N(1)$  будет принадлежать промежутку  $(l_1 > l_2)$ .

По понятным причинам эта задача имеет большое практическое значение: от точности приземления зависят безопасность людей, находящихся на борту, и срок эксплуатации летательного аппарата.

## 2. Активная летная деятельность (при накоплении массива данных).

Для обеспечения достаточно высокой степени объективности оценки подготовленности пилотов к выполнению своих профессиональных функций актуально применение различных методов факторного анализа полетной информации. Полетная информация является важнейшим источником объективных данных о действиях экипажа, режимах полета, пространственном положении ВС и состоянии контролируемых систем. Использование полетной информации в предприятиях ГА РФ в соответствии с документом [5] вносит значительный вклад в повышение безопасности полетов. Однако можно утверждать, что информативность больших массивов полетной информации востребована далеко не полностью. Одним из методов "компьютерной статистики" [2], позволяющих повысить качество обработки данных в целях повышения объективности оценки подготовленности пилотов, может быть компонентный анализ или метод "главных компонент", являющийся частным вариантом факторного анализа.

Рассматривая параметрическую полетную информацию, совокупность отклонений от рекомендуемых (номинальных) значений параметров полета (пилотирования), можно представить как исходный многомерный вектор, который в определенном смысле характеризует качество выполнения полетов. Применение компонентного анализа существенно уменьшает размерность данного вектора, выделяет скрытые (латентные) факторы, определяющие значительную часть отклонений. Это позволяет оптимизировать процесс разработки корректирующих действий, направленных на устранение причин отклонений.

Задача формулируется следующим образом: используя материалы объективного контроля  $m$  полетов, заменить набор  $t$ -отклонений параметров полета (исходных признаков  $Z$ ) меньшим числом  $k < t$  стандартизованных ортогональных факторов или компонент, представляющих собой наиболее существенные латентные факторы отклонений.

Модель компонентного анализа в матричном виде представляется как

$$Z = WF,$$

где  $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_m)$  – случайный стандартизованный вектор исходных признаков;  $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$  – вектор факторов;  $W$  – матрица факторных нагрузок.

Матрица  $W$  вычисляется на основе собственных чисел и собственных векторов корреляционной матрицы  $R$  исходных признаков из соотношения

$$R = WW^T.$$

При этом достигается ортогональность столбцов матрицы  $W$ , что при решении системы уравнений  $Z = WF$  относительно  $F$  в свою очередь обеспечивает ортогональность найденных компонент.

При анализе данных, относящихся к конкретному экипажу за определенный период, достоинством метода является то, что он позволяет установить, какие отклонения главным образом снижают общее качество полетов этого экипажа и принять соответствующие меры.

Разумеется, для практического использования факторного анализа необходимо определить по номенклатуре учитываемых в исходных данных отклонений, возможно установление определенных весовых коэффициентов таким образом, чтобы выявленные латентные факторы объективно отражали снижение качества с точки зрения безопасности полетов.

Необходимо отметить, что предлагаемый метод не заменяет, а дополняет анализ полетной информации, проводимый в соответствии с [2] в летной службе. При надлежащей организации автоматизированной обработки и продуманной системе учета отклонений метод предоставит в распоряжение эксперта-аналитика дополнительные, научно-обоснованные данные о качестве

всех полетов каждого командира воздушного судна (КВС) за длительный период в компактном виде, а также позволит прогнозировать тенденции. Это поможет реализовать на практике проактивный подход к предотвращению авиационных происшествий, базирующийся в значительной степени на анализе массивов различных данных нормальной эксплуатации [9].

3. Совершенствование профессиональных навыков на случай возникновения особых ситуаций в полете.

Непосредственная оценка профессионально важных качеств летного состава в процессе его летной деятельности при отработке им возникновения особых ситуаций является достаточно сложной задачей. Возникновение подобных событий в процессе летной деятельности летных экипажей невелико, а моделирование их на тренажере до определенной степени условно, поскольку даже самый неблагоприятный исход не влияет на жизнь и здоровье. Тем не менее отработка данных процедур на тренажере является наиболее эффективным и приемлемым способом для повышения профессионально важных качеств пилотов.

Современные компьютерные системы, используемые в устройстве тренажеров, позволяют фиксировать значительное количество параметрической информации, которую впоследствии можно использовать для объективной оценки подготовленности и профессионализма пилотов.

Предлагаемый подход основан на теории развития интеллекта человека и интеллектуального потенциала, разработки концепции системного повышения потенциальных возможностей человека в авиации, его интеллекта как одного из решающих звеньев совершенствования. Работой по данному направлению деятельности занимался профессор А.Т. Коваленко.

Теоретической основой оценки интеллекта человека и интеллектуального потенциала является энергетический критерий саморазвития системы "экипаж–самолет–среда". Он основан на разности скоростей накопления и расхода энергии в условиях, выбираемых системой из множества допустимых сочетаний объективных законов и ограничений, накладываемых на оптимизируемую систему "экипаж–самолет–среда" [3]. В относительной форме данный критерий может быть представлен в следующей математической форме

$$K = \frac{K_i}{K_{эм}},$$

где  $K_{эм}$  - реально достигнутое наибольшее значение критерия  $K$ , принимаемое за эталон, т.е. величина  $K$  характеризует относительные возможности оцениваемой системы по достижению наилучших результатов в смысле выживаемости.

Энергетический критерий является обобщенным выражением известного парного критерия: "эффективность – затраты", т.е. между ними устанавливается фундаментальная связь.

На практике могут применяться и другие варианты критериев, т.е. человек и тем более коллектив выполняют некоторые прямые функциональные обязанности, качество выполнения которых подлежит развернутой оценке. В связи с этим для практического использования рекомендуется обобщенная мера успешного функционирования интеллекта, интеллектуального потенциала в виде  $M$ -мерного вектора возможностей выполнять каждый из  $j = 1, 2, \dots, m$  – видов деятельности и жизнеобеспечения, достигая в них наилучших результатов по предлагаемому критерию [6].

В соответствии с предложенным делением, на каждом этапе предлагается использование различных методик оценки подготовленности пилотов к выполнению ими полетов. При этом предполагается автоматизированная обработка получаемых оценок для повышения их объективности.

Необходимо отметить, что предлагаемые алгоритмы оценки подготовленности пилотов к выполнению профессиональных функций позволит повысить объективность оценки, скорректировать индивидуальные программы летной подготовки, повысить качество организации летной работы, особенно в части формирования экипажей ВС, и в конечном итоге повысить безопасность полетов в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2011 году. - М.: Управление государственного надзора за безопасностью полетов. Ространснадзор, 2012.
2. **Боровиков В.** STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. - 2-е изд. (+ CD). - СПб.: Питер, 2003.
3. **Попов Ю.В., Балашов С.В.** Квалиметрия профессионально-важных качеств человека в системе «Экипаж – Самолет – Среда» по принципу «золотого сечения».
4. **Пугачев В.С.** Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Наука, 1979.
5. Руководство по организации сбора, обработки и использования полетной информации в авиапредприятиях ГА РФ. - М.: Воздушный транспорт, 2001.
6. **Саати Т.** Принятие решений. - М.: Радио и связь, 1993.
7. **Сакач Р.В., Зубков Б.В., Давиденко М.Ф. и др.** Безопасность полетов. - М.: Транспорт, 1989.
8. **Семаков С.Л.** Выбросы случайных процессов. Приложения в авиации. - М.: Наука, 2005.
9. **Doc 9858AN/474.** Руководство по управлению безопасностью полетов. - Монреаль: ИКАО, 2013.

**ALGORITHMIC SUPPORT OF ASSESSMENT OF THE PREPARED CIVIL AVIATION PILOTS FOR PERFORMING PROFESSIONAL FUNCTIONS****Polyakov P.M., Karmyzov M.V., Monakhova S.V.**

The article deals with the problem of providing an assessment of pilots training for work the airlines in order to ensure flight safety. In this regard, a draft comprehensive methodology for assessing professional training of pilots is offered. It is divided into three stages: 1) introduction into profession; 2) active flight activity and stage in improving professional of skills in case of incidents or accidents in flight.

**Key words:** pilot training, providing algorithmic, flight safety.

**Сведения об авторах**

**Поляков Павел Михайлович**, 1956 г.р., окончил МИИГА (1979), доцент кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, автор 15 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов оценка опасных факторов, связанных с обеспечением безопасности полетов.

**Кармызов Максим Валерьевич**, 1984 г.р., окончил МГТУ ГА (2007), кандидат технических наук, автор 10 научных работ, ведущий инженер департамента управления безопасностью полетов ОАО «Аэро-флот», область научных интересов – обеспечение безопасности полетов, внедрение системы управления безопасностью полетов.

**Монахова Светлана Валерьевна**, окончила МГТУ ГА (2000), кандидат технических наук, заведующая заочным отделением ЕАТК им. В.П. Чкалова – филиала МГТУ ГА, автор 8 научных работ, область научных интересов – подготовка специалистов в области гражданской авиации, производственная безопасность.