

О. Н. Корсун, д-р техн. наук, проф. marmotto@rambler.ru,
 ФГУП "Государственный институт авиационных систем" ГИЦ РФ, г. Москва,
А. Ш. Габдрахманов, аспирант, besh5500@mail.ru, **Е. И. Михайлов**, студент, **М. З. Нахаев**, студент,
 Московский физико-технический институт, г. Москва,
А. К. Тулекбаева, канд. техн. наук, зав. каф.,
 Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, г. Чимкент, Республика Казахстан

Алгоритм автоматического распознавания речевых команд, инвариантный к изменению языка¹

Рассматривается проблема применимости разработанных помехоустойчивых алгоритмов автоматического распознавания речевых команд к другим языкам в целях совершенствования интерфейса бортового оборудования современных самолетов и других технических систем. Описываются алгоритм параметризации речевого сигнала, метод формирования эталона, алгоритм сравнения и подавления акустических помех, основанный на линейной регрессии и применении дополнительного микрофона. Представлены результаты нескольких серий экспериментов для русского, казахского и таджикского языков, показывающие, что описанные алгоритмы остаются работоспособными и не нуждаются в изменениях при распознавании слов на другом языке.

Ключевые слова: автоматическое распознавание речи, помехоустойчивые алгоритмы распознавание речи, речевое управление бортовым оборудованием самолета, инвариантность алгоритма к другим языкам

Введение

Одним из перспективных направлений развития интерфейса кабины пилотов современных самолетов является речевое управление бортовым оборудованием. Основным элементом системы речевого управления бортовым оборудованием самолетов является автоматическое распознавание речевых команд, эффективность которого определяется многими факторами, в том числе зависящими от условий полета. К числу таких факторов относятся акустические помехи различных видов [1], уровень которых на самолетах гражданской авиации может достигать 80 дБ. Устойчивость к воздействию акустических помех является одним из важнейших требований, предъявляемых к системам речевого управления бортовым оборудованием. Помимо этого немаловажным требованием к таким алгоритмам является их быстрая подстройка к новому языку, которая затруднена в распространенных методах распознавания, таких как скрытые марковские модели [2–7] и нейронные сети [3], поскольку они учитывают фонетическую транскрипцию слов и деление на слоги.

В статье рассматривается алгоритм, основанный на сравнении с эталонами слов, повышающий устойчивость распознавания в условиях воздействия аддитивных акустических шумов.

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 12-08-00670-а.

Исследуемый алгоритм основан на известных методах параметризации речевого сигнала, заключающихся в квантовании исходного акустического сигнала по времени, вычислении оценок спектральной плотности с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье, применении спектрального окна, вычислении Мел-спектральных и кепстральных преобразований [2–8]. Предложены методы сравнения, основанные на поиске максимального коэффициента корреляции и разложении по методу линейной регрессии. Второй подход обеспечивает высокий уровень помехозащищенности при использовании дополнительного микрофона [4].

В работе представлены результаты экспериментальной проверки работоспособности этого алгоритма при изменении языка.

1. Аналитическое преобразование сигнала

Записанный речевой сигнал в цифровом виде представляет собой набор параметров $\tilde{x}(N)$, где N — число отсчетов в файле. Для возможности обработки в системе автоматического распознавания необходимо выполнить следующую последовательность преобразований исходного временного сигнала [2]:

- предварительная фильтрация сигнала

$$x(n) = \tilde{x}(n) - \alpha \tilde{x}(n-1), \alpha = 0,95;$$

- выделение кадра сигнала

$$s_m(n) = x(m\Delta n + n), 0 \leq n \leq N_{FFT} - 1,$$

где

$$\Delta_n = N_{FFT} - \varepsilon N_{FFT},$$

N_{FFT} — длина быстрого преобразования Фурье в отсчетах (длина кадра), ε — отношение длины участка перекрытия к длине кадра, $0 \leq \varepsilon \leq 0,5$, m — номер кадра;

- взвешивание кадра окном Ханна

$$s_m(n) = w_{H_2}(n) \tilde{s}_m(n),$$

где $w_{H_2} = 0,5 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi n}{N_{FFT} - 1} \right) \right)$ — окно Ханна;

- вычисление быстрого преобразования Фурье (Fast Fourier transform — FFT) и его модуля, или оценки спектральной плотности,

$$X_m(k) = FFT\{s_m(n)\} = \sum_{n=0}^{N_{FFT}-1} s_m(n) \cdot e^{j\frac{2\pi kn}{N_{FFT}}},$$

$$A_m(k) = |X_m(k)| = \sqrt{(\text{Re}(X_m(k)))^2 + (\text{Im}(X_m(k)))^2};$$

- расчет логарифма спектральной плотности

$$S_m(f_i) = \ln \left(\frac{1}{\Delta k} \sum_{k=k_{i,\min}}^{k_{i,\max}} A_m(k) \right),$$

где $\Delta k = k_{i,\max} - k_{i,\min} + 1$ — ширина спектральной полосы (не зависит от номера полосы), $k_{i,\min}$, $k_{i,\max}$ — индексы первой и последней частоты в спектральной полосе;

$$k_{i,\min} = \left\lfloor \frac{N_{FFT}}{f_s} \left(f_{\min} + \frac{f_{\max} - f_{\min}}{N_{frb}} (i - 1) \right) \right\rfloor + 1,$$

$$i = 2 \dots N_{frb}, k_{1,\min} = \left\lfloor \frac{N_{FFT}}{f_s} f_{\min} \right\rfloor,$$

$$k_{i,\max} = \left\lfloor \frac{N_{FFT}}{f_s} \left(f_{\min} + \frac{f_{\max} - f_{\min}}{N_{frb}} i \right) \right\rfloor, i = 1 \dots N_{frb},$$

$$f_i = f_{\min} + \frac{f_{\max} - f_{\min}}{N_{frb}} \left(i + \frac{1}{2} \right), i = 1 \dots N_{frb},$$

где f_i — частота, соответствующая середине i -й полосы, f_s — частота дискретизации, N_{frb} — число спектральных полос в параметрическом портрете.

Таким образом, в качестве параметров, характеризующих речевой сигнал, рассматривается полученная после всех преобразований последовательность логарифмов спектральной плотности в функции дискретных значений частоты, вычисленных на скользящем временном интервале длительностью 25...45 мс. Далее этот вариант, основанный на классическом определении спектральной плотности сигнала, будем называть спектральным.

В качестве другого варианта параметризации используется преобразование шкалы частот к шкале Мел-частот:

$$m(f) = 2595 \lg \left(1 + \frac{f}{700} \right) = 1127 \ln \left(1 + \frac{f}{700} \right).$$

Расчет соответствующего Мел-спектра осуществляется по следующим формулам:

$$S_{m, Me}(f_i) = \ln \left(\frac{1}{k_{i,\max} - k_{i,\min} + 1} \sum_{k=k_{i,\min}}^{k_{i,\max}} \varphi_i(k) A_m(k) \right),$$

где

$$f_i = m^{-1} \left(m(f_{\min}) + \frac{m(f_{\max}) - m(f_{\min})}{N_{frb} + 1} i \right), i = 1 \dots N_{frb},$$

где f_i — частота, соответствующая середине i -й полосы; $k_i = \left\lfloor \frac{N_{FFT}}{f_s} f_i \right\rfloor$ — индекс, соответствующий середине; $k_{i,\min}$, $k_{i,\max}$ — индексы первой и последней частот в спектральной полосе, $k_{i,\min} = k_i - 1$, $k_{i,\max} = k_i + 1$; f_s — частота дискретизации; $\varphi_i(k)$ — весовая функция.

В качестве третьего варианта параметризации рассматривается преобразование исходного временного сигнала в Мел-кепстральные коэффициенты, являющиеся косинусным преобразованием рассмотренных выше Мел-спектральных коэффициентов [5, 6, 8].

В предлагаемом алгоритме все слова при параметризации приводятся к матрицам одинаковой размерности. Опытным путем было установлено, что при распознавании слов средней длины рациональное число кадров, при котором малы и число ошибок, и вычислительная сложность, равно 17. Рациональное число частотных полос при частоте регистрации 22 кГц для спектрального и Мел-спектрального методов параметризации равно 35, а для Мел-кепстрального типа параметризации — 10. Исходя из этих параметров и в зависимости от длительности записи при преобразовании вычисляется соответствующая длина кадра.

На рис. 1 (см. вторую сторону обложки) приведен график результатов описанного выше спектрального варианта параметрического портрета слова "пилотаж".

2. Составление эталонов слов

Для работы алгоритма распознавания необходимо создать эталоны, с которыми и будет проводиться сравнение полученных сигналов. Для создания эталона, учитывая вариативность длительности произношения, целесообразно выбрать слова близкой длительности. Для этого необходимо из мас-

сива реализаций каждого слова для одного или нескольких дикторов отобрать такие, для которых будет выполняться условие

$$|N_i - M(N)| < 0,5\sigma(N),$$

где N_i — длительность реализации слова в отчетах; $M(N)$ — математическое ожидание длительности слов для данной выборки; $\sigma(N)$ — среднеквадратическое отклонение (СКО) длительностей слов.

Коэффициент при СКО в общем случае может изменяться.

Далее формируется портрет эталонного слова путем осреднения параметрических портретов всех отобранных на предыдущем этапе слов. Под осреднением понимается вычисление среднего арифметического для каждой ячейки матрицы эталона по соответствующим значениям матриц отобранных ранее слов. Сформированные таким образом эталоны в дальнейшем используются для сравнения с портретом неизвестной речевой команды, т. е. для ее распознавания.

3. Алгоритм распознавания речевой команды на основе коэффициентов корреляции

В качестве методов сравнения неизвестного слова с эталонными словами предлагается несколько алгоритмов. Один из них основан на вычислении соответствующих коэффициентов корреляции. Этот алгоритм сравнения неизвестного слова с эталонами состоит из нескольких этапов. На первом этапе для исходного звукового файла вычисляется его параметрический портрет (двумерная матрица) описанным выше способом. На втором этапе для вектора, полученного путем "вытягивания" матрицы по столбцам вверх, вычисляются коэффициенты корреляции с каждым из эталонных векторов, полученных таким же способом. На третьем этапе принимается решение о том, что неизвестное слово соответствует тому эталону, для которого полученный коэффициент корреляции максимален.

Заметим, что при таком методе формирования параметрических портретов неизвестных слов и эталонов и методе сравнения отсутствует привязка к особенностям языка и к фонетической транскрипции слова, которая имеет место при распознавании другими известными методами, как например, в методе скрытых марковских моделей [2]. Ограничительным является лишь условие, что распознаваемое и эталонное слова должны быть на одном языке.

Достоинство рассматриваемого алгоритма состоит также в возможности формирования эталона по малому числу дикторов, что уменьшает требования к объему речевого материала для обучающих выборок. Так, в представленных ниже экспериментах для всех языков эталоны формировались по запи-

сям только одного диктора, примерно по 15 реализациям каждого слова.

Для проверки работоспособности алгоритма распознавания был собран речевой материал дикторов-носителей языка для нескольких существенно различных языков: русского (12 дикторов), казахского (5 дикторов) и таджикского (3 диктора).

Каждый диктор произносил 3 слова, примерно по 50 реализаций каждого.

Результаты представлены в табл. 1—3.

По результатам видно, что разработанный метод продолжает показывать высокий уровень распознавания при переходе к речевому материалу на других языках.

Однако эффективность распознавания на основе максимума коэффициента корреляции существенно снижается в условиях акустического шума. Поэтому в работе [4] предложен способ распознавания, основанный на методе линейной регрессии и применении дополнительного микрофона, краткое описание которого дано в следующем разделе.

Таблица 1
Доля ошибок распознавания слов на русском языке, %
(эталон — Н-ов (Россия))

Слово	Метод параметризации		
	Спектральный	Мел-спектральный	Мел-кепстральный
Слово 1	0,5	0,5	0
Слово 2	0	1,1	10,2
Слово 3	0	0	0,5
Итог	0,2	0,5	3,2

Таблица 2
Доля ошибок распознавания слов на таджикском языке, %
(эталон — Е-в (Таджикистан))

Слово	Метод параметризации		
	Спектральный	Мел-спектральный	Мел-кепстральный
Слово 1	0	0	0
Слово 2	0,8	0,8	0,8
Слово 3	0,6	0,6	1,9
Итог	0,4	0,4	0,9

Таблица 3
Доля ошибок распознавания слов на казахском языке, %
(эталон — С-т (Казахстан))

Слово	Метод параметризации		
	Спектральный	Мел-спектральный	Мел-кепстральный
Слово 1	0	0	4,2
Слово 2	13,1	6,3	0
Слово 3	0,9	4,2	4,7
Итог	4,2	3,3	3,1

4. Метод подавления акустических помех, основанный на множественной линейной регрессии и применении дополнительного микрофона

Для распознавания слов как в спокойной акустической обстановке, так и в условиях шума был разработан алгоритм [4], заключающийся в разложении вектора параметрического портрета слова по базису векторов параметрических портретов эталонных слов. Для записей с шумом в базис необходимо также включить нормированный вектор параметрического портрета шума. Рассмотрим этот подход подробнее.

Предлагаемый алгоритм основан на соотношениях, представленных в предыдущих разделах. Кроме того, в алгоритме используется множественная линейная регрессия портрета слова на эталоны и портрет сигнала шума. Данный подход требует наличия дополнительного микрофона, отстоящего от диктора на расстоянии 30...70 см и измеряющего сигнал акустической помехи. Сигнал шума преобразуется в последовательность наборов параметров по тому же алгоритму, что и записанный речевой сигнал. Затем из эталонов и портрета сигнала помехи строится матрица регрессоров

$$Z = \|\tilde{e}_1, \tilde{e}_2, \tilde{e}_3, \dots, \tilde{e}_n, \tilde{n}\|,$$

где $\tilde{e}_i = \frac{e_i}{\|e_i\|}$, $\tilde{n} = \frac{n}{\|n\|}$ — нормированные эталоны и портрет шума.

Далее, в соответствии с методом множественной линейной регрессии вычисляются коэффициенты разложения портрета речевой команды на вектор-столбцы матрицы Z :

$$x = Z^T \beta + \varepsilon,$$

где x — портрет неизвестной речевой команды; β — столбец с коэффициентами разложения; ε — вектор ошибок.

Оценка вектора β имеет вид

$$\hat{\beta} = (ZZ^T)^{-1}Zx.$$

При распознавании речевой команды, представленной в виде "портрета" x , выбирается эталон, который соответствует наибольшему коэффициенту регрессии. При этом ожидается, что большая часть составляющей вектора x , содержащая аддитивную помеху, при разложении проецируется на вектор нормированного портрета шума, что уменьшает влияние шума на распознавание.

Результаты проверки работоспособности данного алгоритма для русского языка как в спокойной акустической обстановке, так и в условиях аддитивных шумов подробно представлены в работе [4].

Результаты для слов на таджикском и казахском языках в спокойных условиях показаны в табл. 4, 5.

Таблица 4

Результаты распознавания слов без шума на таджикском языке методом линейной регрессии (эталон — Е-в (Таджикистан))

Слово	Метод параметризации		
	Спектральный	Мел-спектральный	Мел-кепстральный
Слово 1	0	0	0
Слово 2	0,8	0,8	0,8
Слово 3	0,6	0,6	11,9
Итог	0,4	0,4	4,2

Таблица 5

Результаты распознавания слов без шума на казахском языке методом линейной регрессии (эталон — С-т (Казахстан))

Слово	Метод параметризации		
	Спектральный	Мел-спектральный	Мел-кепстральный
Слово 1	0	0,5	2,4
Слово 2	18,8	9,1	0
Слово 3	0,98	1,9	4,7
Итог	5,8	3,5	2,5

По этим данным видно, что уровень распознавания для слов без шума примерно соответствует уровню распознавания с помощью коэффициента корреляции (см. табл. 1–3).

Однако для случая распознавания слов из предложенных подходит только метод, основанный на применении линейной регрессии, так как он позволяет учитывать информацию о шуме с дополнительного микрофона. Для экспериментальной проверки работоспособности алгоритма в условиях аддитивного шума был проведен эксперимент, состоящий из двух этапов. На первом этапе диктор зачитывал слова в спокойных условиях. На втором этапе, не меняя положения основной гарнитуры, проводили запись шума, в том числе и на дополнительный микрофон. Далее в программной среде MATLAB смешивали две записи. Таким образом, были получены записи слов в условиях аддитивного шума. В эксперименте была задействована запись шума кабины пилотов пассажирского самолета двух уровней: 80 и 90 дБ (максимально допустимые уровни шума в кабинах самолетов гражданской авиации [1]).

Ниже приведены результаты распознавания как в случае применения дополнительного микрофона, так и без него. Для более наглядного представления эффективности применения информации с дополнительного микрофона, по которой раскладывается шумовая составляющая основного сигнала, результаты изображены в виде диаграмм, на которых по оси ординат отложена доля ошибок (%) для трех методов параметризации. Для слов на таджикском языке сравнительные результаты представлены на рис. 2 (см. вторую сторону обложки),

слов на казахском языке — на рис. 3 (см. вторую сторону обложки).

Как видно из рис. 2, 3, число ошибок значительно сокращается при распознавании данным алгоритмом слов в условиях аддитивного шума. Минимальное число ошибок показывает спектральный метод параметризации. Для него использование информации с дополнительного микрофона дает также и наибольшее снижение ошибок — в 3...9 раз.

Таким образом, предложенный помехоустойчивый алгоритм распознавания продолжает сохранять все свои свойства (высокое качество распознавания, дикторнезависимость, помехозащищенность) и при изменении языка, причем не требуется внести в алгоритм каких-либо изменений.

Заключение

В статье рассмотрен алгоритм автоматического распознавания, построенный в соответствии с известным принципом сравнения с эталоном слова, и его помехоустойчивая модификация [4], использующая линейную регрессию и дополнительный микрофон.

Проведены экспериментальные исследования по оцениванию характеристик данных алгоритмов для речевого материала на нескольких языках. Показано, что предложенные алгоритмы, показавшие хорошее качество распознавания для малословарной системы на русском языке [4], полностью сохраняют свои свойства, в том числе и помехоустойчивость, при решении аналогичных задач на казахском и таджикском языках. В частности, сохраняется возможность формирования эталона по речевому материалу только одного диктора.

Направлениями дальнейшего совершенствования алгоритма являются расширение набора распознаваемых слов и переход к распознаванию речевых команд, состоящих из фраз.

Авторы выражают особую благодарность за помощь в наборе речевого материала на казахском языке сотрудникам кафедры "Стандартизация и сертификация" Южно-Казахстанского Государственного университета им. М. Ауэзова, г. Чимкент, Республика Казахстан: преподавателю магистру Бакытжанову Сабиту, старшему преподавателю магистру Сарсенбай Сабыру Омирбаевичу, канд. техн. наук доценту Ешанкулову Амирхану Айткуловичу, преподавателю магистру Жолдасбековой Гаухар Шаяхметовне, преподавателю магистру Макулбековой Гульназ Оразбековне.

Список литературы

1. **ГОСТ 20296—81.** Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума в салонах и кабинах экипажа и методы измерения шума. М.: Госкомитет по стандартам, 1981. 9 с.
2. **Рабинер Л. Р.** Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях при распознавании речи: Пер. с англ. // Тр. института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (ТИИЭР). 1989. Т. 77, № 2. С. 86—120.
3. **Swietlicka I., Kuniszyk-J'ozkowiak W., Smolka E.** Artificial neural networks in the disabled speech analysis // Proc. of Computer Recognition System 3. 2009. Vol. 57. P. 347—354.
4. **Корсун О. Н., Габдрахманов А. Ш.** Помехозащищенный алгоритм речевого управления бортовым оборудованием самолета // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 4. С. 3—7.
5. **Peinado A. M., Segura J. C.** Speech Recognition over Digital Channels: Robustness and Standards. NJ: John Wiley & Sons, 2006. 274 p.
6. **Rabiner L., Juang B. H.** Fundamentals of Speech Recognition. Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1993. 507 p.
7. **Wisniewski M., Kuniszyk-J'ozkowiak W., Smolka E., Suszynski W.** Automatic detection of disorders in a continuous speech with the hidden Markov models approach // Proc. of Computer Recognition Systems 2. 2008. Vol. 45. P. 445—453.
8. **O. Chia Ai, Hariharan M., Yaacob S., Sin Chee L.** Classification of speech dysfluencies with MFCC and LPCC features // Expert Systems with Applications. Vol. 39. P. 2157—2165.

Algorithm for an Automatic Recognition of the Speech Commands, Invariant to Languages

O. N. Korsun, marmotto@rambler.ru✉, State Research Institute of Aviation Systems, State Scientific Center of the Russian Federation, Moscow, 125319, Russian Federation,
A. Sh. Gabdrakhmanov, besh5500@mail.ru, **E. I. Mihajlov**, **M. Z. Nahaev**,
Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Moscow, 141700, Russian Federation,
A. K. Tulekbaeva, South Kazakhstan State University named after M. O. Auezov,
Chymkent, 160012, Republic of Kazakhstan

*Corresponding author: Korsun Oleg N., D. Sc., Professor,
State Research Institute of Aviation Systems, State Scientific Center of the Russian Federation,
Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: marmotto@rambler.ru*

*Received on April 23, 2015
Accepted on May 15, 2015*

The topic of the article is the problem of applicability of the developed robust algorithms for an automatic recognition of the speech commands to the other languages in order to improve the interface of the onboard equipment of modern aircraft and other technical systems. Resistance to acoustic noise is one of the most important requirements to the on-board equipment of the voice control system. This paper describes the algorithms of parameterization of the speech signal, a method for formation of a pattern and algorithm for recognition of the individual words by comparison with the standards of words. Also, a noise resistance algorithm is described, which is based on a linear regression and application of an additional microphone, and intended to improve the acoustic noise resistance of the automatic speech command recognition. In this algorithm the mix of portraits of the recognized words and noises are compared simultaneously with the patterns and the signals from an additional microphone. The additional microphone is positioned at a distance of 0,3–0,7 m from a speaker in order to fix predominantly the acoustic noises in the cockpit. The report presents the results of several experiments for the Russian, Kazakh and Tajik languages, showing a high probability of recognition of the commands for the on-board equipment control in the conditions of additional noises with the level of 80–90 dB, which corresponds to the maximal admissible noise values in the cockpit of a modern long-range aircraft. The results also prove that the described algorithms can work well and do not require any changes for recognition of words in other languages.

Keywords: automatic speech recognition; noise-resistant algorithms of speech recognition; voice control of the aircraft equipment, algorithm invariant to languages

Acknowledgements: This work was supported by a grant from the Russian Foundation for Basic Research, project No. 12-08-00670-a.

For citation:

Korsun O. N., Gabdrakhmanov A. Sh., Mihajlov E. I., Nahaev M. Z., Tulekbaeva A. K. Algorithm for an Automatic Recognition of the Speech Commands, Invariant to Languages, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 9, pp. 599–604.

DOI: 10.17587/mau.16.599-604

References

1. **GOST 20296—81.** *Samolety i vertolety grazhdanskoi aviatsii. Dopustimye urovni shuma v salonakh i kabinakh ekipazha i metody izmeneniya shuma* (Aircraft and helicopter of civil aviation. Acceptable noise levels in flight decks and in salons and methods of noise measurement), Moscow, State Committee for Standards of the Soviet Union, 1981, 9 p.

2. **Rabiner L. R.** *Skrytye markovskie modeli i ikh primeneniye v izbrannykh prilozheniyakh pri raspoznavanii rechi* (Hidden markov models and their application in selected applications in speech recognition), *Trudy Instituta Inzhenerov po Elektrotekhnike i Radioelektronike* (TIER), 1989, 77 (2), pp. 86–120.

3. **Swietlicka I., Kuniszyk-J'ozkowiak W., Smolka E.** Artificial neural networks in the disabled speech analysis, *Proceedings of Computer Recognition System* 3, 2009, vol. 57, pp. 347–354.

4. **Korsun O. N., Gabdrakhmanov A. Sh.** *Pomekhozashchishchennyi algoritm rechevogo upravleniya bortovym oborudovaniem samoleta* (Noise resistant algorithm of voice control of aircraft equipment), *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2014, no. 4, pp. 3–7.

5. **Peinado A. M., Segura J. C.** *Speech Recognition over Digital Channels: Robustness and Standards*, NJ, John Wiley & Sons, 2006, 274 p.

6. **Rabiner L., Juang B. H.** *Fundamentals of Speech Recognition*, Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1993, 507 p.

7. **Wisniewski M., Kuniszyk-J'ozkowiak W., Smolka E., Suszynski W.** Automatic detection of disorders in a continuous speech with the hidden Markov models approach, *Proceedings of Computer Recognition Systems* 2, 2008, vol. 15, pp. 445–453.

8. **O. Chia Ai, Hariharan M., Yaacob S., Sin Chee L.** Classification of speech dysfluencies with MFCC and LPCC features, *Expert Systems with Applications*, 2012, vol. 39, pp. 2157–2165.

УДК 004.8(075.8)

DOI: 10.17587/mau.16.604-616

А. В. Смеюха, студент, annatutta@gmail.com,

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),

Б. Е. Федунов, д-р техн. наук, проф, нач. сектора, boris_fed@gosniias.ru,

ГосНИИАС, Москва

Математическое моделирование процесса решения тактических задач экипажем антропоцентрического объекта

Показана возможность создания математической модели работы оператора в типовых быстрых ситуациях (ТБС) функционирования антропоцентрических объектов (пилотируемых летательных аппаратов, транспортных средств и других технических систем с операторами). Модель оператора разрабатывается для каждой ТБС и состоит из двух блоков: блока имитации бортовых алгоритмов (ИБА), поставляющих информацию на информационно-управляющее поле (ИУП) в этой ТБС, и блока ситуационного управления (БСУ), имитирующего алгоритмы деятельности оператора при имеющейся текущей информации на ИУП и с имеющимися там органами управления.

Описывается процедура совместной разработки графа решений оператора и схемы бортовых алгоритмов в ТБС, необходимых для создания упомянутой математической модели работы оператора в ТБС. Также представлена совместная разработка ИБА и БСУ.

На примере антропоцентрического объекта "Истребитель F-16М3" демонстрируется работоспособность предлагаемого подхода.

Ключевые слова: типовые быстрые ситуации, информационно управляющее поле, бортовое алгоритмическое и индикационное обеспечение, граф решений оператора, блок ситуационного управления, блок имитации бортовых алгоритмов