

4. Мамедов, А. Т. Конструкционные и антифрикционные порошковые материалы [Текст] / А. Т. Мамедов. – Баку: Элм, 2005. – 460 с.

5. Мамедов, А. Т. Особенности структурообразования порошковых сталей [Текст] / А. Т. Мамедов, Н. П. Сергеева // Порошковая металлургия. – 1989. – № 3. – С. 101–105.

6. Анциферов, В. Н. Спеченные легированные стали [Текст] / В. Н. Анциферов, В. Б. Акименко. – М., 2003. – 188 с.

#### References

1. Korolev, Ju. M., Ljul'ko, V. G. (2007). Sostojanie razvitiya poroshkovej metallurgii Rossii v svete mirovych tendencij. «Poroshkovaja metallurgija v avtotraktornom mashinostroenii». Minsk, 23–27.

2. Gorohov, V. M., Zvonarev, E. V., Il'jushhenko, A. F., Kireev, P. N. (2005). Ustanovka dlja teplogo pressovanija me-

tallicheskih poroshkov-pervyj opyt primeneniya dlja polucheniya izdelij slozhnoj formy. «Novye materialy i izdelija iz metallischeskih poroshkov. Tehnologija. Proizvodstvo. Primenenie». Yoshkar-Ola, 41–44.

3. Graboj, I. Je., Arndt, T. (2005). Materialy Cate-meld kompanii BASF dlja lit'ja poroshkov pod davleniem. «Novye materialy i izdelija iz metallischeskih poroshkov. Tehnologija. Proizvodstvo. Primenenie». Yoshkar-Ola, 37–40.

4. Mamedov, A. T. (2005). Konstrukcionnye i anti-frikcionnye poroshkovye materialy. Baku: Jelm, 460.

5. Mamedov, A. T., Sergeeva, N. P. (1989). Osobnosti strukturoobrazovanija poroshkovyh stalej. Poroshkovaja metallurgija, 3, 101–105.

6. Anciferov, V. N., Akimenko, V. B. (2003). Spechen-nye legirovannye stali. Moscow, 188.

**Чингиз Ариф оглы Алиев**, докторант, Азербайджанский Технический Университет, пр. Гусейн Джавида, 25, г. Баку, Азербайджан, AZ1073  
E-mail: ariff-1947@mail.ru

УДК 629.7.07

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.58774

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО СУДНА

© О. В. Артеменко, Д. Ю. Артеменко

*Исследовано задачу принятия решения о возможности выполнения полета воздушного судна. Установлены методы формализации задачи. Получено схему задачи, представленную в виде ориентированного плоского графа без петель, математическую модель задачи принятия решения о выполнении полета. Предложен графический способ представления информации с помощью диаграмм в полярных координатах и программный продукт для АС ППИ*

**Ключевые слова:** задача принятия решения, формализация, математическая модель, диаграмма в полярных координатах

*Decision problem of the possibility of the aircraft flight was investigated. Methods of formalizing the task were established. The model of the problem provided in the form of oriented planar graph without loops and the mathematical model of the decision problem of the aircraft flight were obtained. The graphic way of presenting information using diagrams in polar coordinates and software for application in the AS PPI were proposed*

**Keywords:** decision problem, formalization, mathematical model, diagrams in polar coordinates

### 1. Введение

Повышение безопасности полетов является одной из наиболее важных научно-технических задач в авиационной сфере. Основная роль в поддержке безопасности полетов принадлежит экипажу воздушного судна (ЭВС), неадекватное принятие решений которым может привести к авиационному происшествию [1]. Предполетная подготовка ЭВС является одним из условий обеспечения безопасности полетов [2] и предусматривает изучение большого объема разноплановой информации для различных видов и условий полетов [3]. Итогом предполетной подготовки является принятие командиром воздушного судна (КВС) обоснованного решения о возможности выполнения полета. В настоящее время существует ряд проблем [3], связанных с оперативностью поиска и получения необходимых данных. В связи с этим

снижается качество и эффективность предполетной подготовки и затрудняется принятие правильного решения экипажем. Поскольку принятие решения КВС является сложным психологическим процессом, и неправильное решение пилота может привести к авиационному происшествию, актуальной является задача построения математической модели процесса принятия решения на вылет и разработка на ее основе автоматизированного модуля поддержки принятия решения в системе подготовки предполетной информации [4].

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В настоящее время в целях повышения безопасности полетов в состав автоматизированных систем управления воздушным движением (АС УВД)

включаются интеллектуальные модули – СППР (системы поддержки принятия решения), в которых реализована информационная поддержка авиационного оператора (АО). Они содействуют оперативному принятию решения экипажем ВС. АС УВД с элементами информационной поддержки, используемые в авиации, представлены в работах [5–8]. Элементы СППР включены в состав многих АС УВД, однако в службах предполетного информационного обслуживания СППР не использовались.

В целях предполетного обслуживания и обеспечения полета эксплуатанты используют ряд программных продуктов. Наиболее известными поставщиками указанных программ являются фирмы Jерpesen, SITA, Sabre, Skyplan, Lido и ряд других. Некоторые авиакомпании используют программное обеспечение собственной разработки [2]. Использование таких программ позволяет осуществлять аэронавигационное и метеорологическое обеспечение полётов, однако они имеют ряд недостатков и не всегда предоставляют оптимальные параметры для рейса. Также в таких программах не реализована информационная поддержка принятия решения о выполнении полета по маршруту.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью работы есть формализация задачи принятия решения (ПР) о возможности выполнения полета воздушного судна.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- построение математической модели задачи принятия решения о выполнении полета;
- на основании построенной математической модели разработать программный продукт для применения его в АС ППИ.

### 4. Материалы и методы исследований

Для формализации задачи ПР о выполнении полета ВС по маршруту было использовано математическое моделирование. Основным процессом, выполняемым для решения задачи, является процесс обработки информации, необходимой для принятия соответствующего решения. Объем этой информации достаточно большой, содержится в разнообразных формах (графической, текстовой, кодированной и т. п.) и отражает различные факторы (нормативные, метеорологические и др.).

Предлагаемая схема формализации состоит в том, что: из множества факторов определяющих возможность или невозможность полета ВС по маршруту, характеризующих начало этого полета, его выполнение и завершение, выделяется конечное множество факторов (подфакторов), которое в соответствии с действующими нормативными документами позволяют принять решение о возможности или невозможности полета ВС по маршруту; ситуация, описы-

ваемая выделенными факторами (подфакторами) моделируется созданием знаковой модели (математической модели) [9]. Такая модель дает способ упорядочения имеющейся информации и алгоритм обработки этой информации.

Это существенно упрощает процесс принятия решения. Информация, определяющая и соответствующая рассматриваемой задаче, не изменяется в результате создания модели и представляется в виде, удобном для дальнейшего использования. Применение ПК для визуального представления исходной информации и результатов ее обработки позволяет учитывать сложный динамический характер (изменение во времени) содержание необходимой информации.

#### 4. 1. Построение математической модели и исходные положения для формализации задачи принятия решения о выполнении полета

На этапе подготовки к полету ЭВС изучает большой объем информации. Анализ действующих документов (ИКАО, Министерства транспорта и связи Украины) показал, что командир воздушного судна принимает решение о возможности выполнения полета по маршруту после анализа и учёта основных факторов, обеспечивающих успешное выполнение полета. Основным нормативным документом, регулирующим принятие указанного решения, является [3], на основании которого были выделены основные факторы, влияющие на принятие решения на вылет, а также их подфакторы.

К основным отнесём также другие факторы, которые должны учитываться для успешного проведения полета ВС по маршруту, обусловленные конкретными особенностями маршрута полета. Они могут быть указаны при анализе проведения конкретных полетов. Все факторы и их подфакторы представлены в виде табл. 1.

Факторы, которые в соответствии с действующими нормативами позволяют принять решение по возможности (невозможности) полета ВС по маршруту закодированы буквами английского алфавита A, B, C, ..., Z. Некоторые факторы представлены системой подфакторов кодируемых соответствующей малой буквой с индексом, например:  $a_1, a_2, a_3, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots$  и т. д. Таким образом, некоторые факторы представляются вектором размерности  $n$ , координатами которого считаются соответствующие подфакторы.

Схема ПР о начале полета ВС по маршруту может быть представлена в виде ориентированного плоского графа без петель [10] (рис. 2), вершины которого являются кодами факторов (подфакторов), выражающих существенные признаки информации о рассматриваемом явлении, а ребра графа, соединяющие вершины, показывают последовательность событий при учете (или игнорировании) того или иного фактора.

Таблица 1

## Описание и кодирование факторов (подфакторов)

Сектор	№ п/п	Код фактора	Описание фактора (подфактора)
I	1	$T_N$	Тип ВС
	2	A	Взлетная и посадочная масса ВС
	3	$a_{adm1}$	предельно допустимая взлетная масса
	4	$a_1$	взлетная масса фактическая (коммерческая загрузка и вес топлива):
	5	$a_{11}$	коммерческая загрузка
	6	$a_{12}$	вес топлива
	7	$a_{adm2}$	предельно допустимая посадочная масса
	8	$a_2$	посадочная масса фактическая (с учетом выработки топлива):
	9	$a_{21}$	вес топлива на полет
II	10	B	Метеорологические условия по аэродрому вылета:
	11	$B_1$	$(H_{НГО} \times RVR)$ высота нижней границы облачности и видимость на ВПП фактические
	12	$B_2$	$(H_{НГО} \times RVR)$ допустимые:
	13	$B_{21}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ КВС – минимум КВС
	14	$B_{22}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ ВС – минимум ВС
	15	$B_{23}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ АД вылета – минимум АД
	16	$B_3$	боковая составляющая ветра ( $U_6$ ) фактическая
	17	$B_4$	$U_6$ допустимая:
	18	$B_{41}$	$U_6$ допустимая (табличная) для конкретного $T_N$
19	$B_{42}$	коэффициент сцепления на ВПП для конкретного $T_N$	
III	20	C	Наличие (0) или отсутствие (1) опасных метеоявлений (ОМЯ) по маршруту
	21	$c_1$	гроза
	22	$c_2$	град
	23	$c_3$	сильная болтанка
	24	$c_4$	сильный сдвиг ветра
	25	$c_5$	сильное обледенение
	26	$c_6$	смерч
	27	$c_7$	ураган
	28	$c_8$	сильная пыльная буря
29	$c_9$	сильные ливневые осадки	
IV	30	D	Метеорологические условия по аэродрому назначения
	31	$d_1$	$(H_{НГО} \times RVR)$ высота нижней границы облачности и видимость на ВПП фактические
	32	$d_2$	$(H_{НГО} \times RVR)$ допустимые:
	33	$d_{21}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ КВС – минимум КВС
	34	$d_{22}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ ВС – минимум ВС
	35	$d_{23}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ АД назначения – минимум АД
	36	$d_3$	боковая составляющая ветра ( $U_6$ ) фактическая
	37	$d_4$	$U_6$ допустимая:
	38	$d_{41}$	$U_6$ допустимая (табличная) для конкретного $T_N$
39	$d_{42}$	коэффициент сцепления на ВПП для конкретного $T_N$	
V	40	E	Прогнозируемые метеоусловия на АД назначения
	41	$e_1$	$(H_{НГО} \times RVR)$ фактические (прогнозируемые)
	42	$e_2$	$(H_{НГО} \times RVR)$ допустимые:
	43	$d_{21}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ КВС
	44	$d_{22}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ ВС
	45	$d_{23}$	$(H_{НГО} \times RVR)$ АД
	46	$e_3$	$U_6$ фактическая
	47	$e_4$	$U_6$ допустимая
	48	$d_{41}$	$U_6$ допустимая (табличная) для конкретного $T_N$
49	$d_{42}$	коэффициент сцепления на ВПП для конкретного $T_N$	
VI	50	F	Подача плана полета (FPL) в Евроконтроль (IFPS)
VII	51	H	Состояние АД вылета, назначения и воздушная обстановка
	52	$h_1$	состояние АД вылета
	53	$h_2$	состояние АД назначения
	54	$h_3$	воздушная обстановка
VIII	55	I	Техническая готовность и годность ВС к полету
IX	56	K	Готовность ЭВС к выполнению полета
X	57	L	Выбор запасного аэродрома (ЗА)

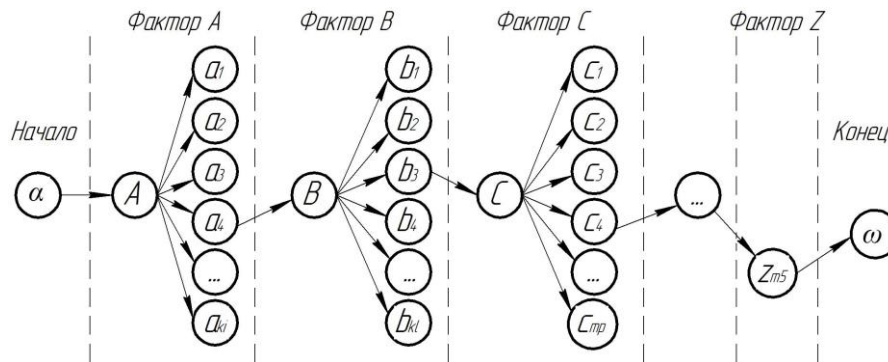


Рис. 2. Схема ориентированного плоского графа задачи ПР о начале полета ВС по маршруту:  $\alpha, \omega$  – начальная и конечная вершины графа

Факторы и подфакторы систематизированы по их кодам. Начальная вершина графа  $\alpha$  всегда соединена с начальным фактором А. Каждый фактор соединяется одним ребром с каждым из своих подфакторов. Конечная вершина графа  $\omega$  всегда соединена одним ребром с одним из последних подфакторов  $z_m$ . Такого вида граф описывает некоторую последовательность возможных событий при переборе вариантов в ПР.

Принимаем: для ПР о начале полета самолета по маршруту выделено  $m \in N$  факторов А, В, С, ... Z; один или несколько факторов имеют максимальное количество подфакторов  $k$ .

Для выравнивания количества подфакторов во всех факторах добавляем необходимое количество фиктивных подфакторов в факторах, имеющих меньше, чем  $k$  подфакторов. Тогда система подфакторов, описывающих информацию необходимую и достаточную для решения рассматриваемой задачи описывается матрицей размера  $m \times k$ , где  $m$  – количество факторов,  $k$  – максимальное количество подфакторов.

Вышеизложенное позволяет считать задачу ПР о начале полета ВС по маршруту задачей о выборе, что относится к задачам комбинаторной математики [11]. В комбинаторике, конфигурацией считается любая система подмножеств данного множества состоящего из конечного количества  $n \in N$  элементов ( $n$  – множеств). Предмет комбинаторики – свойства  $k$  – множеств данного  $n$  – множества ( $k \leq n$ ), с учетом различных условий. По классификации Тараканова В. Е. [11] рассматриваемая задача есть задача поиска (или выбора) с учетом дополнительных условий, конфигураций, связанных с исходными (заведомо существующими). Одним из способов, упрощающих решение таких задач есть использование  $(0,1)$  – матриц или бинарных решающих матриц [12].

Ориентированный плоский граф описывается матрицей смежности. В данной задаче, представленной ориентированным графом (рис. 2), матрица смежности строится следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \\ 0 & \end{cases} ;$$

1 – если соответствующий подфактор имеет значение 1, то есть в результирующей бинарной матрице  $a_{ij} = 1$ ; 0 – в противном случае.

Ребра графа, соединяющие один из предыдущих подфакторов  $p_i$  и следующий фактор  $S$  могут не учитываться в матрице смежности. По умолчанию (из способа конструирования графа) таким ребрам всегда приписывается значение 0.

Начальный и конечный ребра графа соответствуют строчкам (векторам)

$$\overrightarrow{\alpha A} = (1, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{k-1 \text{ символов}}), \quad \overrightarrow{z_m \omega} = (\underbrace{0, 0, \dots, 0}_{k-1 \text{ символов}}, 1).$$

Тогда матрица смежности  $A(G)$  ориентированного плоского графа для данной задачи содержит  $n + 2$  строк,  $k$  – колонок и имеет вид:

$$A(G) = \begin{pmatrix} 1, 0, 0, \dots, 0 \\ 0, 0, 1, \dots, 0 \\ 0, 0, 0, \dots, 0 \\ \dots \\ 0, 0, 0, \dots, 1 \end{pmatrix}.$$

Отметим очевидные свойства матрицы  $A(G)$  следующие из способа ее построения: каждая строка содержит только один элемент равный 1; всегда  $a_{11} = a_{n+2,k} = 1$ , то есть первый элемент первой строки и последний элемент последней строки всегда равны единице; количество единиц в  $A(G)$  равно  $n + 2$ ; главная диагональ  $A(G)$  содержит нули во всех строках, кроме первой и последней; матрица  $A(G)$  в отличие от матрицы смежности соответствующего неориентированного графа не обязана быть симметричной.

Последовательность вершин  $(\alpha, v_1, v_2, v_3, \dots, v_r, \omega)$  ориентированного графа  $G$  называется маршрутом. Число  $d = r + 2$  характеризует длину маршрута и дает наименьшее количество элементарных операций перебора вариантов при решении задачи ПР о начале полета ВС по маршруту. Очевидно, что в рассматриваемой задаче граф  $G$  не может иметь замкнутых контуров, в том числе невозможно совпадение его начальной и конечной вершины.

Ориентированный граф  $G$  и его матрица смежности  $A(G)$  позволяет упростить и ускорить ПР в рассматриваемой задаче. (Конечно, при правильной предварительной обработке информации, относя-

щейся к задаче). Например, если величина  $[i, j]$  характеризует последовательность расположения стрелок в соответствующем графе и  $[i, j] = \begin{cases} 1, & \text{если} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$ , 1 – если вершины  $i$  и  $j$  графа соединены стрелкой; 0 – в противном случае.

При  $i, j = 0, 1, \dots, 9$  матрица  $A(G)$  имеет вид:

$$A(G) = \begin{pmatrix} [0,0] & [0,1] & [0,2] & \dots & [0,9] \\ [1,0] & [1,1] & [1,2] & \dots & [1,9] \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ [9,0] & [9,1] & [9,2] & \dots & [9,9] \end{pmatrix}$$

и содержит 100 бинарных (то есть принимающих независимо друг от друга значений 0 или 1) функций. Тогда всего возможно  $2^{100}$  различных матриц указанного вида, характеризующих последовательность событий (то есть композицию альтернатив). Конечно, ряд вариантов лишен смысла (и это очевидно сразу), например  $[i, i]=1$  при любом  $i$ . Но все-таки эти варианты выделяются и анализируются.

Описывая решение произвольной задачи выбора, отметим, что для начала процесса решения необходимо иметь некоторые критерии, которые можно назвать основаниями выбора (ОВ). Они, в свою очередь, могут быть разделены на объективные (учитываемые всегда, основные (О)) и субъективные (СК), которые определяют выбор лица принимающего решение (ЛПР).

Так, условие, что всегда  $[i, i]=0$  можно считать объективным критерием. Выделение и коди-

рование множества факторов, определяющих возможность или невозможность начала полета ВС по маршруту с достаточным основанием можно считать субъективным критерием. Этот выбор кроме учета нормативных документов определяется личным опытом ЛПР. Деление ОВ на О и СК далеко неоднозначно. Различные ЛПР имеют различный личный опыт и поэтому их наборы О и СК в общем случае также различны. Кроме того все процессы окружающего мира происходят во времени или с течением времени, изменяются их характеристики. Таким образом А альтернатив  $[i, j]$  и их количество зависит от времени, как и связи между альтернативами, и их возможные композиции аналогично зависят от времени ОВ.

Решением задачи считается такой план  $P(t)$  – последовательных действий, который при принятых  $ОВ(t)$  наилучшим образом удовлетворяет СК, то есть содержит некоторую композицию  $K(t)$  множества альтернатив  $A(t)$ . В такой постановке даже простые практические задачи весьма сложны и требуют для построения решения за приемлемый отрезок времени упрощающих допущений. В приложении ПР о выполнении полета ВС по маршруту вышеописанная схема говорит о необходимости выбора оптимального количества факторов (подфакторов) которые не приводили бы к потере необходимой информации с тем что бы ориентированный граф  $G$  (рис. 2) имел как можно меньше ребер или как можно меньшую длину маршрута  $d = r + 2$ . Ориентированный плоский граф задачи принятия решения на вылет представлен на рис. 3.

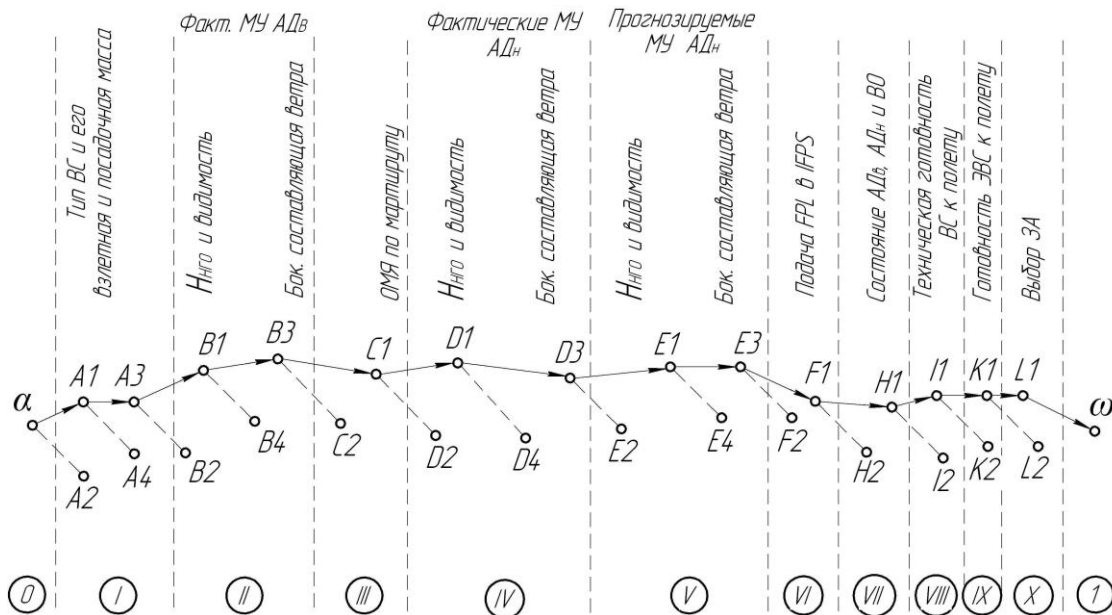


Рис. 3. Ориентированный плоский граф задачи принятия решения о выполнении полета

Формализация процесса принятия решения и построение его математической модели позволит исследовать этот процесс и определить порядок действий КВС при принятии решения на вылет [12].

Для построения математической модели предлагается метод организации информации в виде бинарной решающей матрицы и построения на ее основе диаграммы, позволяющей оценить ситуацию [12].

Учитываемые факторы могут быть расположены в виде матрицы. При этом составляются одновременно четыре матрицы: фактических (исходных) значений факторов; директивных (допустимых) значений факторов; нормативных значений факторов, где указаны схемы сравнения элементов клеток двух матриц и формирования соответствующего символа в соответствующей клетке бинарной решающей матрицы; матрица принятия решения или бинарная решающая матрица. Для рассматриваемой задачи исходная матрица (фактические данные) имеет вид:

$$A_0 = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & \dots & \dots & T_N & \dots & \dots & T_{19} & T \\ a_1 & a_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A \\ b_1 & b_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B \\ c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & c_6 & c_7 & c_8 & c_9 & C \\ d_1 & d_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D \\ e_1 & e_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E \\ f_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F \\ h_1 & h_2 & h_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H \\ i_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K \\ l_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{pmatrix}.$$

Директивная матрица построена следующим образом:

$$A_N = \begin{pmatrix} a_{adm1} & a_{adm2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A \\ b_2 & b_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & C \\ d_2 & d_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D \\ e_2 & e_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{pmatrix}.$$

Для выравнивания размеров матриц клетки отсутствующих подфакторов во всех трёх матрицах заполняются символом 0 и не учитываются при принятии решения. Далее была составлена таблица критериев в целях анализа состояния подфакторов на момент принятия решения [13], оценка состояния подфакторов – не превышают ли они установленные минимумы. Для этого были разработаны критерии оценки для каждого подфактора. При анализе имеющейся информации по конкретному фактору  $A_k$  возможны следующие ситуации: фактор присутствует или отсутствует. Принимаем в первом случае  $F(A_k)=1$ , во втором случае  $F(A_k)=0$ ; решение с учётом фактора  $A_k$  принимается при выполнении условия  $F(A_k) \vee F(A_k)_{adm}$ , где  $\vee$  – один из знаков  $>$  или  $<$ ;  $F(A_k)$  – имеющееся исходное значение (величина) фактора  $A_k$ ;  $F(A_k)_{adm}$  – допускаемая (директивная) величина (значение) фактора.

Если между директивным и исходным значениями фактора установлено соотношение  $F(A_k) \vee F(A_k)_{adm}$  то соответствующая клетка матрицы приня-

тия решений заполняется соответственно 1 или 0 при выполнении или невыполнении указанного соотношения. Окончательная (бинарная) матрица оценки факторов (матрица 3) содержит только символы 0 и 1.

Бинарная решающая матрица рассматриваемой задачи (в данном случае состояние подфакторов, удовлетворяющее возможности выполнения полета):

$$A(G) = \begin{pmatrix} T_{11} & \dots & T_{1N} & T \\ 1 & 0 & 0 & A \\ 1 & 0 & 0 & B \\ 1 & 0 & 0 & C \\ 1 & 0 & 0 & D \\ 1 & 0 & 0 & E \\ 1 & 0 & 0 & F \\ 1 & 0 & 0 & H \\ 1 & 0 & 0 & I \\ 1 & 0 & 0 & K \\ 1 & 0 & 0 & L \end{pmatrix}.$$

Символ 0 означает, что данный элемент – фактор, который не учитывается при принятии решения или является фиктивным фактором (подфактором). Символ 1 означает, что данный фактор (подфактор) учитывается при принятии решения. Символы 0 и 1 являются числовыми значениями логических переменных  $x_i$  величин действительных элементов матрицы 3 (булевых переменных):

$$x_i = \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $n \in N$ , количество элементов строки матрицы.

Для вычисления величин действительных элементов матрицы и введения фиктивных её элементов использован табличный процессор Excel программного пакета Microsoft Office операционной системы Windows.

Анализ состояния каждого фактора характеризуется суммарной оценкой его подфакторов. Для этого была составлена таблица критериев для определения состояния факторов по результатам оценки их подфакторов [13].

Если при составлении матрицы (3) учтены все подфакторы, определяющие данный полёт, то решение КВС о начале полёта по маршруту:

– принимается, если все числовые значения логических переменных  $x_i$  действительных элементов матрицы равны 1;

– не принимается, если не все числовые значения логических переменных  $x_i$  действительных элементов матрицы равны 1, т. е. множество этих значений содержит хотя бы один элемент 0.

В этом случае КВС должен выяснить причину появления нулевого значения (неверно введенные исходные данные, сбой системы поддержки решения и т. п.). Практически это выполняется проверкой схемы вычисления величины элемента, имеющего значение 0. После устранения всех нулевых числовых значений логических переменных  $x_i$  может быть принято решение о возможности полёта по маршруту.

**4. 2. Графическое представление исходной информации для принятия решения**

Для визуализации состояний факторов был выбран графический метод. Целесообразность графического представления информации для принятия решения заключается в наглядности и обзорности. Поэтому графическое представление информации имеет большое значение: 83 % всей информации, которую воспринимает человек из окружающего мира, поступает через зрительный анализатор [12]. В последние годы роль наглядных представлений быстро возрастает. Это обусловлено, с одной стороны, появлением нового подхода к статистической обработке данных (анализ данных), а с другой – расширением возможностей использования наглядного представления информации в новых поколениях ПК. Анализ возможных графических методов (гисто-

граммы, дерево решений и др.) показали нецелесообразность их применения для поставленной задачи, т. к. в задаче принятия решения о выполнении полета по маршруту необходимо оценивать ситуации одновременно по всем факторам. Большую наглядность имеет способ представления информации с помощью диаграмм в полярных координатах. Нами в [13] было детально описано и реализовано графическое представление задачи принятия решения на вылет.

**4. 3. Реализация программного продукта для анализа возможности выполнения полета**

Данная подсистема реализована на языке программирования Delphi 5 в виде режима работы «Возможность вылета» [4]. После авторизации для входа в режим «Возможность вылета» появляется окно с его функционалом – рис. 4.

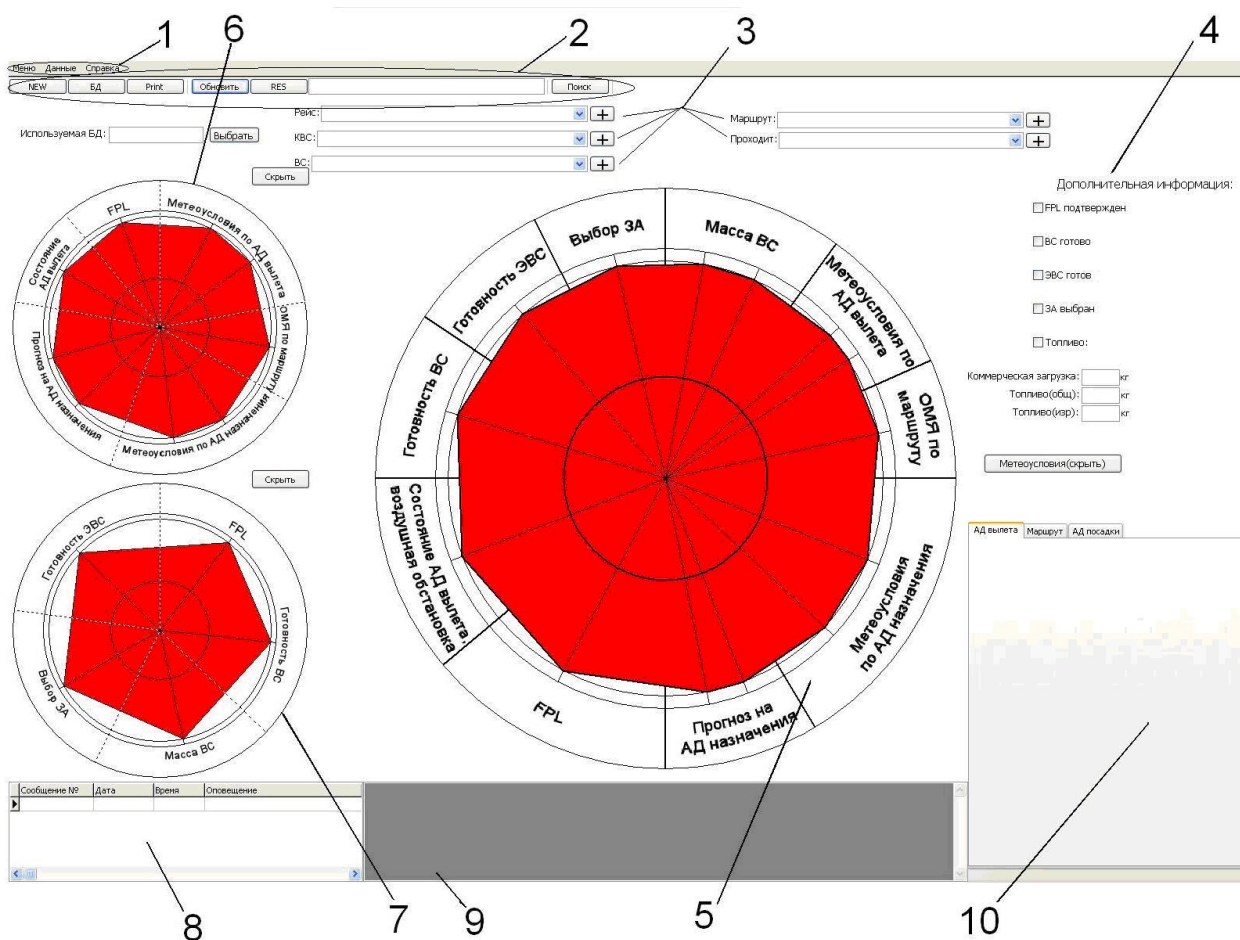


Рис. 4. Интерфейс диалогового окна

Интерфейс диалогового окна включает: 1 – панель управления программой; 2 – панель быстрого доступа к наиболее часто используемым операциям; 3 – поля выбора информации из БД и ее редактирования; 4 – дополнительная информация – включает данные, которые вносятся в ручном режиме для построения диаграмм принятия решения на вылет; 5 – основная диаграмма в полярных координатах – графически указывает на возможность принятия решения на вылет и отмечает соответствие условий для принятия решения на вылет нормам – при загрузке программы все значения

обнулены; 6, 7 – вспомогательные диаграммы – указывают соответственно на информацию получаемую в автоматическом режиме, и информацию вводимую в ручном режиме – «Дополнительную информацию». FPL, в зависимости от способа его подтверждения, может входить в разные диаграммы; 8 – информация по работе программы – показывает основные изменения, происходящие в программе, и регистрирует их; 9 – расширенная информация по сообщению – отображает расширенную информацию по выбранному сообщению; 10 – метеоусловия – отображает метеоусловия на АД

вылета, АД назначения и по маршруту, показывает сравнение на соответствие нормам.

При соответствии нормам – все диаграммы в центре окрашены в зеленый цвет и замкнуты, т. е. выполнение полета возможно и рекомендуется принять решение на вылет.

### 5. Результаты исследований

В результате исследований получено форматированное описание задачи принятия решения о возможности полета воздушного судна, которое стало основой разработки автоматизированного модуля принятия решения на вылет. Для максимальной наглядности предложен графический способ представления информации с помощью диаграмм в полярных координатах и реализован в программном продукте для применения его в АС ППИ.

### 6. Обсуждения результатов исследования

В дальнейшем планируется расширить эту модель факторами, которые характеризуют человека-оператора: характеристики Ч-О, с учетом факторов, влияющих на принятие решения: психофизиологические; индивидуально-психологические; социально-психологические [14]; возможности человека-оператора и границы изменения характеристик Ч-О при ПР.

### 7. Выводы

1. С помощью методов математического моделирования формализовано задачу принятия решения о возможности выполнения полета воздушным судном, что дало возможность получить способ упорядочения имеющейся информации и алгоритм ее обработки.

2. Разработан программный продукт интерфейса автоматизированного модуля принятия решения на вылет командиром воздушного судна.

3. Предложенная модель сокращает время на анализ факторов влияющих на выполнение полета и минимизирует возможность ошибок при принятии правильного решения, что повышает качество предполетной подготовки и безопасность полетов в целом.

### Литература

1. Швец, В. А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период 1998–2007 гг [Текст] / В. А. Швец, О. Н. Алексеев. – К.: Госавиаадминистрация, 2008. – 83 с.

2. Лебедев, С. Б. Основы теоретической подготовки диспетчеров по обеспечению полетов [Текст] / С. Б. Лебедев. – К.: Авиакомпания «Международные авиалинии Украины», 2005. – 796 с.

3. Порядок прийняття рішення на виліт та приліт повітряних суден цивільної авіації України за правилами польотів за приладами [Текст]. – Наказ Державіаслужби України від 28.04.05 р., № 295, 2005. – 14 с.

4. Артеменко, О. В. Моделирование автоматизированной системы подготовки предполетной информации [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / О. В. Артеменко. – К., 2010. – 203 с.

5. Неделько, В. Н. Обеспечение эффективности информационно-поддержки принятия решений в автоматизированных системах обслуживания воздушного движения с элементами искусственного интеллекта [Текст]: автореф.

дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / В. Н. Неделько. – К., 2002. – 183 с.

6. Глухих, И. Н. Интегрированные автоматизированные системы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении воздушным движением (теория, модели, алгоритмы, принятие решений) [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.16 / И. Н. Глухих. – Самара, 2000. – 34 с.

7. Москвичев, В. В. Информационная поддержка решений диспетчера для управления вынужденной посадкой воздушных судов вне аэродрома [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / В. В. Москвичев. – К., 1998. – 178 с.

8. Сікірда, Ю. В. Моделювання системи підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних польотних ситуаціях [Текст]: автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Ю. В. Сікірда. – К., 2004. – 184 с.

9. Новик, И. Б. Моделирование и аналогия [Текст] / И. Б. Новик, А. И. Уемов. – М.: Наука, 1968. – С. 256–293.

10. Тарасов, В. О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: Теорія, синтез, ефективність [Текст] / В. О. Тарасов, Б. М. Герасимов, І. О. Левін, В. О. Корнійчук. – К.: МАКНС, 2007. – 336 с.

11. Тараканов, В. Е. Комбинаторные задачи и (0,1) матрицы [Текст] / В. Е. Тараканов. – М.: Наука, 1985. – 191 с.

12. Науман, К. Принять решение – но как? [Текст] / К. Науман; под ред. Ю. П. Адлера. – М.: Мир, 1987. – 198 с.

13. Артеменко, О. В. Построение математической модели процесса принятия решения на вылет командиром воздушного судна [Текст] / О. В. Артеменко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2010. – Вип. 23. – С. 115–122.

14. Харченко, В. П. Графоаналітичні моделі прийняття рішень людиною-оператором аеронавігаційної системи [Текст] / В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – № 1. – С. 5–17.

### References

1. Shvec, V. A., Alekseev, O. N. (2008). Analiz sostojanija avarijnosti grazhdanskih vozdušnyh sudov Ukrainy za period 1998–2007 gg. Kyiv: Gosaviaadministracija, 83.

2. Lebedev, S. B. (2005). Osnovy teoreticheskoj podgotovki dispetčerov po obespečeniju poletov. Kyiv: Aviakompanija «Mezhdunarodnye avialinii Ukrainy», 796.

3. Poryadok pryjnyattya rishennya na vylit ta prylyt povitryanyx suden cyvil'noyi aviacyi Ukrainy za pravylamy pol'otiv za prykladamy (2005). Nakaz Derzhaviasluzhby Ukrainy vid 28.04.05, № 295, 14.

4. Artemenko, O. V. (2010). Modelirovanie avtomatizirovannoy sistemy podgotovki predpoletnoj informacii. Kyiv, 203.

5. Nedel'ko, V. N. (2002). Obespechenie jeffektivnosti informacionnoj podderzhki prinjatija reshenij v avtomatizirovannyh sistemah obsluzhivaniya vozdušnogo dvizhenija s jelementami iskusstvennogo intellekta. Kyiv, 183.

6. Gluhih, I. N. (2000). Integrirovannye avtomatizirovannye sistemy intellektual'noj podderzhki prinjatija reshenij pri upravlenii vozdušnym dvizheniem (teorija, modeli, algoritmy, prinjatje reshenij). Samara, 34.

7. Moskvichev, V. V. (1998). Informacionnaja podderzhka reshenij dispetčera dlja upravlenija vynuždennoj posadkoj vozdušnyh sudov vne ajerodroma. Kyiv, 178.

8. Sikirda, Yu. V. (2004). Modelyuvannya systemy pidtrymky pryjnyattya rishen' aviadyspetčera v pozashtatnyx pol'otnyx sytuacijax. Kyiv, 184.

9. Novik, I. B., Uemov, A. I. (1968). Modelirovanie i analogija. Moscow: Nauka, 256–293.



10. Tarasov, V. O., Herasymov, B. M., Levin, I. O., Kornijchuk, V. O. (2007). *Intelektual"ni systemy pidtrymky pryjnyattya rishen": Teoriya, syntezy, efektyvnist*". Kyiv: MAKNS, 336.

11. Tarakanov, V. E. (1985). *Kombinatornye zadachi i (0,1) matricy*. Moscow: Nauka, 191.

12. Nauman, K.; Adler, Ju. P. (Ed.) (1987). *Prinjat' reshenie – no kak?* Moscow: Mir, 198.

13. Artemenko, O. V. (2010). *Postroenie matematicheskoy modeli processa prinjatija reshenija na vyet komandirov vozdušnogo sudna. Tehnika v sil'skogospodars'komu virobnictvi, galuzeve mashinobuduvannja, avtomatizacija*, 23, 115–122.

14. Xarchenko, V. P., Shmel"ova, T. F., Sikirda, Yu. V. (2011). *Hrafoanalitichni modeli pryjnyattya rishen" lyudyno-operators'komu aeronavichajnoyi systemy. Visnyk Nacional'noho aviacijnoho universytetu*, 1, 5–17.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Осадчий С. І.  
Дата надходження рукопису 21.12.2015*

**Артеменко Ольга Васильевна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационных технологий, Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, ул. Добровольского, 1, г. Кировоград, Украина, 25005  
E-mail: o\_artemenko@list.ru

**Артеменко Дмитрий Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра сельскохозяйственного машиностроения, Кировоградский национальный технический университет, пр. Университетский, 8, г. Кировоград, Украина, 25006  
E-mail: adu2006@inbox.ru

УДК 62-503.57

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.58815

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ В СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНЕРЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

© Ю. М. Ковриго, А. С. Бунке, П. В. Новиков

*Рассмотрен метод динамической коррекции для достижения необходимого запаса устойчивости систем регулирования инерционными объектами в условиях изменения режима работы технологического оборудования. Предложены структурные решения канала динамической коррекции, приведены методики настройки. Выполнено имитационное моделирование переходных процессов, проведены расчет и сравнение показателей качества регулирования. Применение указанных методик позволяет обеспечить достаточный запас устойчивости при сохранении высокого качества функционирования систем регулирования*

**Ключевые слова:** регулирование, робастность, запас устойчивости, качество функционирования, динамическая коррекция, инерционный объект

*The paper considers dynamic correction method to achieve the required safety factor, regulatory inertia objects under changing operational conditions. Structural solutions of correction channel are proposed and their tuning methods are given. Simulation of transients is completed, calculation and comparison of quality control indexes are given. The application of these techniques ensures sufficient stability margin while maintaining the quality of functioning regulatory systems*

**Keywords:** control, robustness, performance quality, stability margin, dynamic correction, inertial object

### 1. Введение

Достижение высокого качества функционирования многих важнейших контуров регулирования объектов теплоэнергетики является актуальной задачей. Исследования настройки систем автоматического регулирования (САР), вызванные, с одной стороны, новыми возможностями современной контроллерной техники, а с другой – повышенными требованиями к надежности и эффективности, дали поразительные результаты. Количество методик возросло на порядок: если на конец XX в. оно не превышало 200, то в настоящее время, согласно [1], их число достигло 1731 (563 для ПИ- и 1168 для ПИД-алгоритмов). В связи с этим встает вопрос: почему, несмотря на огромные усилия, нет нескольких, до-

статочно универсальных и принятых практикой эффективных методов?

Для простых случаев, когда требования к качеству функционирования невысоки, модель адекватная, ситуация с возмущениями ясная, система работает в режиме стабилизации, проблем с настройкой систем не возникает. Такие условия работы составляют 20–25 % для систем регулирования в промышленности. В то же время по разным оценкам 50–55 % систем регулирования показывают лучшие результаты при ручном управлении, поэтому либо частично работают в автоматическом режиме, либо вообще его не используют (25–30 %) [1, 2]. В действительности проблема имеет комплексный характер и у нее нет простого решения.