УДК 621.96

МОДЕЛЬ РЕШЕНИЯ МЕТЕОЗАВИСИМЫХ ЗАДАЧ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ БЕСПИЛОТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

В. В. Михайлов, А. В. Самсонов, В. А. Сумин

Военно-учебный научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж)

Поступила в редакцию 02.06.2014 г.

Аннотация. В работе представлен научно-методический аппарат оценки эффективности применения беспилотных комплексов при решении задач воздушной разведки в условиях метеорологической неопределенности. Построена математическая модель принятия оптимального метеозависимого решения, обеспечивающая рациональный выбор варианта использования беспилотных летательных аппаратов.
Ключевые слова: авиационная система; беспилотный комплекс; системный анализ; метеорологическая неопределенность.
Annotation. In the paper presents a scientific-methodological apparatus assess the effectiveness of unmanned vehicles for solving exploration in the aeronautical meteorological uncertainty. A mathematical model of the optimum meteodependent solutions, providing a rational choice of the use of unmanned aerial vehicles.
Keywords: aviation system; unmanned systems; system analysis; meteorological uncertainty.

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматривается разведывательный комплекс с беспилотными летательными аппаратами (БЛА), представляющий собой метеозависимую авиационную систему (АС), эффективность функционирования которой зависит от влияния и степени адекватности учета метеорологических условий [1, 2].

Актуальность исследования обуславливается тем, что в настоящее время в любой АС имеет место противоречие между требованиями к качеству оценки влияния на нее метеорологических факторов и возможностей существующего научно-методического аппарата (НМА). Уменьшить негативное влияние указанного противоречия предлагается путем анализа реализации метеозависимой модели поддержки принятия решений, обеспечивающей рациональный выбор варианта использования БЛА.

© Михайлов В. В., Самсонов А. В., Сумин В. А., 2014

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Постановка задачи на построение указанной модели состоит в следующем.

Пусть на вооружении беспилотных разведывательных комплексов состоят БЛА различных I типов. Необходимо осуществить поиск объектов противника в заданных районах. Возможность нахождения в районах поиска ложных целей в рамках данной работы не рассматривается. Метеорологические, географические и другие условия поиска в указанных районах различны. В каждом районе находится по одному объекту, и БЛА, обнаруживший объект противника в своем районе, переводится в другой, где поиск еще продолжается.

Формально, каждый из I типов БЛА характеризуется комплексным параметром:

$$\mathrm{q}_i = \left(q_{i1}, q_{i2}, ..., q_{il}, ..., q_{iL}\right), \ \forall i = \overline{1, I}, \qquad (1)$$

где $q_{i1}, q_{i2}, ..., q_{il}, ..., q_{iL}$ – количественные и качественные характеристики i-го типа БЛА: поисковые возможности, дальность действия, средств ведения разведки, скорость

полета, степень метеозависимости при осуществлении поиска, надежность обеспечения наведения на противника ударных сил и время наведения, скрытность ведения поиска, потребные эксплуатационные ресурсы и т.д. Общее количество имеющихся БЛА составляет N.

Территория ведения поиска разбита на M районов, в которых находится D объектов противника. При обнаружении объекта в своем районе (факт его идентификации однозначен и достоверен), БЛА переводится в район, где поиск еще продолжается. Необходимо реализовать такую поддержку принятия решения по перераспределению БЛА в условиях метеорологической неопределенности, чтобы все объекты противника были обнаружены не позднее момента времени T.

Процесс поиска объектов интерпретируется как случайный марковский процесс переходов некоторой системы в счетное число состояний. Переходы системы в различные состояния осуществляются с заданными интенсивностями в случайные моменты времени.

Структуру системы поиска объектов противника предлагается рассматривать как иерархию S уровней, каждый из которых содержит ряд состояний поисковой ситуации в момент времени $t \in [0, T]$.

Таким образом, за время Δt система способна перейти из одного состояния вышележащего уровня в одно из состояний нижележащего уровня поиска с определенной интенсивностью, которая по своей природе есть оценка математического ожидания двух очередных событий в единицу времени. Соответствующие статистические данные позволяют получить статистические оценки либо непосредственно этой величины, либо оценки математического ожидания промежутка времени между наступлениями двух очередных событий.

В рамках рассматриваемой задачи введено допущение, что поток событий пуассоновский (ординарен и не имеет последствий), тогда вышеуказанные параметры связаны между собой зависимостью [3]:

$$\lambda(t) = \frac{1}{\tau(t)}, \qquad (2)$$

где $\lambda(t)$ – статистическая оценка интенсивности событий для усло-вий обстановки на момент времени t; $\tau(t)$ – статистическая оценка математического ожидания промежутка времени между наступлениями двух очередных событий.

Если поток событий стационарный, выражение (2) примет вид:

$$\lambda = \frac{1}{\tau}. \qquad (3)$$

Статистическая оценка параметра τ может отсутствовать, а известна лишь экспертная оценка его наименьшего и наибольшего значения. Тогда математическое ожидание случайной величины τ определяется по правилу, применяемому в методе сетевого планирования [3, 4]:

$$\tau = \frac{3\tau_{\min} + 2\tau_{\max}}{5}. \qquad (4)$$

Интенсивности переходов в модели отражают важные особенности процесса поиска: типы БЛА и объектов, состав и свойства поисковой аппаратуры, способы ведения поиска и др., большинство из которых существенным образом подвержены изменению в широких пределах, в зависимости от воздействующих на них метеорологических условий.

Пусть способность БЛА C обнаружить объект в простых метео-рологических условиях составляет единицу, тогда при воздействии неблагоприятных метеорологических факторов C i-го типа БЛА равна [5]:

$$C_i = e^{-\sum_{f=1}^{F} \lambda_f \cdot t_f}, \forall i = \overline{1, I}, \qquad (5)$$

где λ_f – степень воздействия f-го неблагоприятного ме-теорологического фактора на БЛА i-го типа и его поисковые возможно-сти, t_f – время нахождения БЛА i-го типа под воздействием f-го неблагоприятного фактора.

Таким образом, располагая статистическими данными $C_1, C_2, ..., C_i, ..., C_I$ и прогнозом метеорологических условий районов поиска, интенсивности переходов системы рассчитываются для каждого БЛА, исходя из его тактико-технических особенностей и степени метеозависимости.

Направления переходов системы за время Δt должны отражать условия поиска. При этом с математической точки зрения все переходы системы за время Δt должны составлять полную группу несовместных событий [3].

Учитывая вышеизложенное, начальный (нулевой) уровень системы поиска, содержит все варианты начального распределения N БЛА по M районам, количество которых, согласно комбинаторному анализу, определяется как количество размещений $\left(A_N^M\right)_0$ из N элементов по M в каждом [6]:

$$\left(A_N^M\right)_0 = \frac{N!}{(N-M)!}. \qquad (6)$$

Для отражения характера поисковой ситуации каждое состояние системы описывается с помощью последовательности показателей $\left[(\delta,n)^1,(\delta,n)^2,...,(\delta,n)^m,...,(\delta,n)^M\right]_{S,J}^k$, где δ – бинарный параметр обнаружения объекта (0 – поиск объекта, 1 – объект найден); параметр n отражает количество БЛА, осуществляющих поиск в m-ом районе, k-го варианта распределения БЛА (число вариантов определяется выражением (6)), в J-ом состоянии на S-ом уровне поиска.

Состояния первого уровня отражают факт обнаружения объекта в одном из районов, следовательно, количество таких состояний будет:

$$\left(A_N^M\right)_1 = \left(A_N^M\right)_0 \cdot M. \qquad (7)$$

Вероятность обнаружения объектов противника во всех районах в один момент времени t пренебрежимо мала, поэтому не рассматривается.

Из каждого состояния первого уровня, строятся все комбинации перераспределения БЛА, обнаружившего в своем районе объект, по районам, где поиск еще продолжается. Следовательно, количество таких состояний, образующих второй уровень, составит:

$$\left(A_N^M\right)_2 = \left(A_N^M\right)_1 \cdot (M-1). \qquad (8)$$

Состояния, отражающие выявление второго объекта в одном из оставшихся районов, образуют третий уровень системы поиска, количество которых определяется как:

$$\left(A_N^M\right)_3 = \left(A_N^M\right)_2 \cdot (M-1). \qquad (9)$$

На четвертом уровне поиска выполняется перераспределение БЛА, нашедшего (нашедших) объект противника. Количество таких состояний составит:

$$\left(A_N^M\right)_4 = \left(A_N^M\right)_3 \cdot (M-2). \qquad (10)$$

Пятый уровень содержит состояния, отражающие выявление объекта в одном из оставшихся районах:

$$\left(A_N^M\right)_5 = \left(A_N^M\right)_4 \cdot (M-2). \qquad (11)$$

На шестом уровне вновь осуществляется процедура перераспределения освободившегося (шихся) БЛА по оставшимся районам.

Как видно из выражений (6–11), поиск представляет собой чередование уровней распределения (перераспределения) БЛА по районам и выявление од-ного из объектов противника. Обозначим через α количество районов в которых объекты при поиске выявлены, т.е. эти районы не участвуют в дальнейшем при распределении БЛА. Необходимо отметить следующее, при достижении $(M-\alpha)=2$ (т. е. остается два района, где поиск еще продолжается), последующий уровень выявления объекта и уровень распределения БЛА, будут содержать одинаковое количество состояний, равное удвоенному количеству состояний уровня для которого $(M-\alpha)=2$.

Последний S уровень содержит состояния отражающие факт обнаружения всех объектов. Следовательно, $\left(A_N^M\right)_S = \left(A_N^M\right)_0$.

Таким образом, при выполнении N БЛА метеозависимой задачи поиска D объектов противника в M районах, полная группа несовместных событий определяется как:

$$\begin{aligned} A_N^M = {} & \left(A_N^M\right)_0 + \left[\left(A_N^M\right)_0 \cdot M\right]_1 + \left[\left(A_N^M\right)_1 \cdot (M-1)\right]_2 + \\ & + \left[\left(A_N^M\right)_2 \cdot (M-1)\right]_3 + \left[\left(A_N^M\right)_3 \cdot (M-2)\right]_4 + \\ & + \left[\left(A_N^M\right)_4 \cdot (M-2)\right]_5 + \left[\left(A_N^M\right)_{S-7} \cdot (M-\alpha)\right]_{S-} \\ & + \left[\left(A_N^M\right)_{S-6} \cdot (M-\alpha)\right]_{S-5} + \left[\left(A_N^M\right)_{S-5} \cdot (M-\alpha+1)\right]_{S-4} + \\ & + \left[\left(A_N^M\right)_{S-4} \cdot (M-\alpha+1)\right]_{S-3} + \left[2 \cdot \left(A_N^M\right)_{S-3}\right]_{S-2} + \end{aligned} \qquad (12)$$

$$\left(\left(A_N^M\right)_{S-2}\right)_{S-1}+\left(A_N^M\right).$$

Полная совокупность состояний системы позволяет построить граф процесса поиска. Опираясь на который, и используя выражения (2–5), определяются интенсивности $\left(a_{j_1,j_2}^{s-1,s}\right)^k$, $\forall j_1=\overline{1,J}$, $j_2=\overline{1,J}$, $s=\overline{1,S}$ переходов системы из j_1-го состояния $s-1$-го уровня в j_2-е состояние s-го уровня поиска k-го распределения БЛА за время Δt.

Если рассмотреть одно из распределений БЛА (например, первое, т.е. $k=1$) для момента времени $t=\left]0,T\right]$ система находится в состоянии $\left[(\delta,n)^1,(\delta,n)^2,...,(\delta,n)^m,...,(\delta,n)^M\right]_{s,j}^1$, $\forall s=\overline{1,S}$, $j=\overline{1,J}$ с вероятностью $P_{s,j}^1(t)$, тогда для определения оценки вероятности нахождения системы в том или ином состоянии, необходимо указать, что при $t=0$:

$$P_{0,1}^1(0)=1,\ \sum_{s=1}^{S}\sum_{j=1}^{J}P_{s,j}^1(0)=0. \qquad (13)$$

Опираясь на подходы теории вероятностей [7], по графу процесса поиска строится система дифференциальных уравнений (СДУ), при этом уравнения со-стояний, описывающие перераспределение БЛА, учитывают потребное на это время $\left(\beta_{x,y}^k\right)_i$, выражающееся как плотность потока прибытия БЛА i-го типа из района x в район y для каждого k-го варианта распределения, исходя из его скоростных характеристик, протяженности пути и метеорологических условий, оказывающих влияние при этом (обход прогнозируемых зон грозовой деятельности, обледенения и т. д.):

$$\left(\beta_{x,y}^k\right)_i=\frac{1}{\left(t_{x,y}^k\right)_i},\ \forall k=\overline{1,K},\ i=\overline{1,I},\ x,y\in M, \qquad (14)$$

где $\left(t_{x,y}^k\right)_i$ – расчетное время перехода i-го типа БЛА из района x в район y.

С целью обеспечения учета потребного времени прибытия БЛА в «свой» район поиска из пункта запуска, дифференциальные уравнения, описывающие состояния первого уровня поиска составляются также с учетом (14), для этого случая $x\notin M$ и является пунктом запуска БЛА.

Вводя допущение, что наведение ударных сил и поражение объектов достоверно и одинаково по временным параметрам во всех случаях применения БЛА, показателем эффективности U выполнения метеозависимой задачи является вероятность обнаружения разведывательными БЛА всех объектов противника к моменту времени T:

$$\left(U^{(v)}(T)\right)^k=\left(P_{1,2,...,d}^{(v)}(T)\right)^k, \qquad (15)$$
$$\forall v=\overline{1,V},\ k=\overline{1,K},\ d=\overline{1,D},$$

где v – вариант использования разведывательных БЛА.

Для оценки эффективности предложенного подхода, необходимо вероятности, полученные из выражения (15) сравнить с вероятностями выявления всех объектов без перераспределения БЛА:

$$U(T)=\left(P_{1,2,...,d}(T)\right),\ \forall d=\overline{1,D}. \qquad (16)$$

В качестве дополнительных показателей оценки эффективности целесооб-разно использовать вероятности обнаружения к моменту времени T лишь двух объектов противника с перераспределением БЛА и без:

$$\left(U_{d1,d2}^{(v)}(T)\right)^k=\left(P_{d1,d2}^{(v)}(T)\right)^k,\ d1\neq d2, \qquad (17)$$
$$\forall d1=\overline{1,D},\ d2=\overline{1,D},\ k=\overline{1,K},$$
$$U_{d1,d2}(T)=P_{d1,d2}(T). \qquad (18)$$

Расчеты следует произвести для всех вариантов использования БЛА и получить графики зависимости показателей эффективности от времени.

Предложенная модель поисковой ситуации позволяет получить сравнительную оценку эффективности применения БЛА для различных вариантов их применения. В свою очередь, в условиях выполнения ме-теозависимой задачи оперативно-тактической разведки последнее обстоятельство способствует повышению качества поддержки принятия метеозависимых решений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве примера, построение математической модели поиска выполним для частного случая в размерности $N=M=D=3$.

Нулевой уровень системы поиска, согласно выражению (6) содержит 6 комбинаций, а

всего состояний (выражение (12)) при данной размерности поисковой ситуации составит 210.

Рассмотрим первую из шести комбинаций. Все уровни поиска, содержащие соответствующие состояния, образуют поисковый граф, который представлен на рис. 1. Опираясь на граф, и обозначив $\frac{\partial P}{\partial t}$ через $\dot{P}$, для каждого уровня поиска строятся дифференциальные уравнения.

Для нулевого уровня поиска:

$$\dot{P}^1_{0,1} = -\left(a^{0,1}_{1,1} + a^{0,1}_{1,2} + a^{0,1}_{1,3}\right) P^1_{0,1}; \qquad (19)$$

для первого:

$$\dot{P}^1_{1,1} = -\left(a^{1,2}_{1,1} + a^{1,5}_{1,1} + a^{1,2}_{1,2}\right) P^1_{1,1} + a^{0,1}_{1,1} P^1_{0,1} + \beta_{0,1}, \quad (20)$$

$$\dot{P}^1_{1,3} = -\left(a^{1,2}_{3,5} + a^{1,5}_{3,1} + a^{1,2}_{3,6}\right) P^1_{1,3} + a^{0,1}_{1,3} P^1_{0,1} + \beta_{0,3};$$

второго:

$$\dot{P}^1_{2,1} = -\left(a^{2,3}_{1,1} + a^{2,5}_{1,1} + a^{2,3}_{1,2}\right) P^1_{2,1} + a^{1,2}_{1,1} P^1_{1,1} + \beta_{1,2}, \quad (21)$$

$$\dot{P}^1_{2,6} = -\left(a^{2,3}_{6,11} + a^{2,5}_{6,1} + a^{2,3}_{6,12}\right) P^1_{2,6} + a^{1,2}_{3,6} P^1_{1,3} + \beta_{3,1};$$

третьего:

$$\dot{P}^1_{3,1} = -\left(a^{3,4}_{1,1} + a^{3,5}_{1,1}\right) P^1_{3,1} + \left(a^{2,3}_{1,1} + a^{2,5}_{1,1} + a^{2,3}_{1,2}\right) P^1_{2,1}, \quad (22)$$

$$\dot{P}^1_{3,12} = -\left(a^{3,4}_{12,12} + a^{3,5}_{12,1}\right) P^1_{3,12} + \left(a^{2,3}_{6,11} + a^{2,5}_{6,1} + a^{2,3}_{6,12}\right) P^1_{2,6};$$

четвертого:

$$\dot{P}^1_{4,1} = -a^{4,5}_{1,1} P^1_{4,1} + \left(a^{3,4}_{1,1} + a^{3,5}_{1,1}\right) P^1_{3,1} + \beta_{2,3}, \quad (23)$$

$$\dot{P}^1_{4,12} = -a^{4,5}_{12,1} P^1_{4,12} + \left(a^{3,4}_{12,12} + a^{3,5}_{12,1}\right) P^1_{3,12} + \beta_{2,1};$$

и для пятого:

$$\dot{P}^1_{5,1} = 1 - \sum_{j=1}^{3} P^1_{1,j} - \sum_{j=1}^{6} P^1_{2,j} - \sum_{j=1}^{12} P^1_{3,j} - \sum_{j=1}^{12} P^1_{4,j}. \quad (24)$$

С целью упрощения, в выражениях (19–24) индекс k у интенсивностей $\left(a^{s-1,s}_{j_1,j_2}\right)^k$, k и i у плотностей потоков переходов БЛА $\left(\beta^k_{x,y}\right)_i$ опущены.

Для основного показателя эффективности, выражение (15) имеем 12 вари-антов применения БЛА:

$$U^{(1)}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{2,1}(T) + P^1_{3,1}(T) + P^1_{4,1}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(2)}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{2,1}(T) + P^1_{3,2}(T) + P^1_{4,2}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(3)}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{2,2}(T) + P^1_{3,3}(T) + P^1_{4,3}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(4)}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{2,2}(T) + P^1_{3,4}(T) + P^1_{4,4}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(5)}(T) = P^1_{1,2}(T) + P^1_{2,3}(T) + P^1_{3,5}(T) + P^1_{4,5}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(6)}(T) = P^1_{1,2}(T) + P^1_{2,3}(T) + P^1_{3,6}(T) + P^1_{4,6}(T) + P^1_{5,1}(T), \qquad (25)$$
$$U^{(7)}(T) = P^1_{1,2}(T) + P^1_{2,4}(T) + P^1_{3,7}(T) + P^1_{4,7}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(8)}(T) = P^1_{1,2}(T) + P^1_{2,4}(T) + P^1_{3,8}(T) + P^1_{4,8}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(9)}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{2,5}(T) + P^1_{3,9}(T) + P^1_{4,9}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(10)}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{2,5}(T) + P^1_{3,10}(T) + P^1_{4,10}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(11)}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{2,6}(T) + P^1_{3,11}(T) + P^1_{4,11}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(12)}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{2,6}(T) + P^1_{3,12}(T) + P^1_{4,12}(T) + P^1_{5,1}(T),$$

которые необходимо сравнить с вероятностями выявления всех объектов противника без перераспределения БЛА, таких вариантов три:

$$U^{(1)}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{5,1}(T),$$
$$U^{(2)}(T) = P^1_{1,2}(T) + P^1_{5,1}(T), \qquad (26)$$
$$U^{(3)}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{5,1}(T).$$

Дополнительные показатели эффективности примут вид:

$$U^{(1)}_{1,2}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{2,1}(T) + P^1_{3,1}(T),$$
$$U^{(2)}_{1,3}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{2,2}(T) + P^1_{3,4}(T),$$
$$U^{(3)}_{2,1}(T) = P^1_{1,2}(T) + P^1_{2,3}(T) + P^1_{3,5}(T),$$
$$U^{(4)}_{2,3} = P^1_{1,2}(T) + P^1_{2,4}(T) + P^1_{3,7}(T), \qquad (27)$$
$$U^{(5)}_{3,2}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{2,5}(T) + P^1_{3,9}(T),$$
$$U^{(6)}_{3,1}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{2,6}(T) + P^1_{3,11}(T).$$

Тогда вероятности обнаружения к моменту времени T лишь двух объектов противника без перераспределения БЛА:

$$U^{(1)}_{1,2}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{2,1}(T) + P^1_{3,2}(T),$$
$$U^{(2)}_{1,3}(T) = P^1_{1,1}(T) + P^1_{2,2}(T) + P^1_{3,3}(T),$$
$$U^{(3)}_{2,1}(T) = P^1_{1,2}(T) + P^1_{2,3}(T) + P^1_{3,6}(T),$$
$$U^{(4)}_{2,3}(T) = P^1_{1,2}(T) + P^1_{2,4}(T) + P^1_{3,8}(T), \qquad (28)$$
$$U^{(5)}_{3,2}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{2,5}(T) + P^1_{3,10}(T),$$
$$U^{(6)}_{3,1}(T) = P^1_{1,3}(T) + P^1_{2,6}(T) + P^1_{3,12}(T).$$

Рис. 1. Граф системы поиска для $N = M = D = 3$ (1 из 6 распределений БЛА; индексы k у интенсивностей опущены)

Построенные дифференциальные уравнения (19–24) решаются с примене-нием специализированного программного обеспечения. По полученным результатам расчетов для всех вариантов использования БЛА (выражения 25–28) строятся графики зависимости показателей эффективности от времени. Аналогичные расчеты выполняются и для оставшихся 5 состояний нулевого уровня системы поиска $\left[(\delta,n)^1,(\delta,n)^2,...,(\delta,n)^m,...,(\delta,n)^M\right]_{0,1}^{2,3,4,5,6}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты моделирования позволяют:

учитывать в интенсивностях переходов системы и плотностях потоков прибытия БЛА при их распределении в другой район поиска негативное влияние неблагоприятных метеорологических факторов;

построить графики зависимости показателей эффективности от времени;

сравнить эффективность различных вариантов применения БЛА (как с пе-рераспределением, так и без), тем самым осуществить поддержку принятия ме-теозависимых решений, путем рационального выбора варианта выполнения задач ВР с применением БЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михайлов В.В., Гедзенко Д.В.* Теоретические основы повышения эффективности применения метеоинформации при решении авиационных задач // Системы управления и информационные технологии, 2009. – № 3.1 (37). – С. 171–174.

2. *Михайлов В.В.* Оптимизация использования метеоинформации при ре-шении практических задач // Метеорология и гидрология. Научно-технический журнал, 2006. – № 2. – С. 17–25.

3. *Волгин Н.С.* Исследование операций. Ч. 2. Санкт-Петербург, Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова, 1999. – 334 с.

4. *Кудрявцев Е.М.* Методы сетевого планирования и управления проектом. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 240 с.

5. Беспилотная авиация [Официальный сайт]. URL: http://uav.ru / (дата об-ращения: 02.02.2013г.)

6. *Виленкин Н.Я., Виленкин А.Н., Виленкин П.А.* Комбинаторика. – М. : ФИМА, МЦНМО, 2006. – 400 с.

7. *Гмурман В.Е.* Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высш. шк., 2004. – 404 с.

Михайлов Владимир Владимирович – д.т.н., профессор, начальник 1 факультета гидрометеорологического Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Тел.: 8-920-402-75-48. E-mail: mvv987@pochta.ru

Самсонов Александр Васильевич – адъюнкт 11 кафедры теоретической гидрометеорологии Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Тел.: 8-951-544-02-80. E-mail: sinoptik78@mail.ru

Сумин Виктор Александрович – к.ф.-м.н., преподаватель 11 кафедры теоретической гидрометеорологии Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Тел.: 8-910-349-76-23. E-mail: Sumin_VA@mail.ru

Mikhailov Vladimir Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, the Head of Hydrometeorological Faculty of the Air Force Military Educational Scientific Center «Military and Air Academy of a Name of professor of N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh)
Phone: 8-920-402-75-48. E-mail: mvv987@pochta.ru

Samsonov Alexandr Vasilevich – the adjunct of 11 dept. Theoretical Hydr**o**meteorology of the Air Force Military Educational Scientific Center «Military and Air Academy of a Name of professor of N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh). Phone: 8-951-544-02-80.
E-mail: sinoptik78@mail.ru

Sumin Viktor Alexandrovich – Candidate of physico-mathematical sciences, the teacher of 11 dept. Theoretical Hydrometeorology of the Air Force Military Educational Scientific Center «Military and Air Academy of a Name of professor of N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh). Phone: 8-910-349-76-23.
E-mail: Sumin_VA@mail.ru