

УДК 551.501.79

Романенко Александр Иванович

*Московский государственный университет технологий и управления
им. К. Г. Разумовского*

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ
ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ АВИАЦИОННЫМИ
ФОРМИРОВАНИЯМИ

Статья посвящена оценке экономической эффективности применения методики оптимизации использования метеорологической информации при управлении авиационными формированиями (далее АФ). С этой целью была получена полная совокупность стратегий использования метеоинформации в АФ и с помощью критерия эффективности функционирования АФ выявлена оптимальная из них. Кроме того, для анализа дальнейших перспектив увеличения эффективности применения оптимизационной методики относительно эмпирического подхода и подхода, требующего использования идеальной метеорологической информации, рассчитаны показатели относительной верификации, характеризующие приращение экономической эффективности, связанное с применением каждой из рассматриваемых стратегий.

Смоделировать процесс функционирования АФ с учетом влияния метеорологических условий в полном объеме довольно сложно [3]. Однако существует ряд частных авиационных задач, успешное решение которых позволяет считать функционирование АФ эффективным. Важнейшей из них является задача определения оптимального плана перевозки людей, техники и других материальных средств по воздуху в различных, стохастически меняющихся метеорологических условиях. Процесс решения рассматриваемой

задачи зависит от выбора той или иной стратегии S^k использования метеорологической информации. Поэтому апробирование эффективности применения методики оптимизации использования метеорологической информации при управлении метеозависимыми АФ осуществлено на примере построения и исследования моделей принятия решений в условиях метеорологической неопределенности на авиационные перевозки. Вербальное описание рассматриваемой задачи заключается в следующем.

В условиях неопределенности метеорологической информации построить модель принятия решений, реализации которой, полученные с учетом прогностических данных о погоде, обеспечивали бы лицо, принимающее решение (далее ЛПР) на каждом этапе функционирования АФ информацией по оптимальному соотношению объемов перевозимых различными летательными аппаратами (далее ЛА) грузов. В качестве критерия эффективности управления АФ принять минимум суммарных затрат C^k .

В представленном описании данная задача, являясь задачей поэтапного принятия решений, может быть отнесена к классу статических задач управления. Однако ее особенностью является необходимость применения статических методов управления на каждом этапе функционирования АФ. Поэтому постановку, формализацию и решение поставленной задачи предлагается осуществить на базе построенной методики оптимизации использования метеорологической информации при управлении метеозависимыми АФ и построенной, в рамках этой методики, модели принятия решений в условиях неопределенности метеорологической информации, основанной на стохастической задаче линейного программирования.

Постановка задачи оптимального функционирования АФ, обеспечивающего в условиях метеорологической неопределенности оптимальную перевозку людей, техники и других материальных средств по воздуху, состоит в следующем.

Имеется p типов ЛА в количестве $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_p$, используемых для

перевозки r различных грузов объемом $b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_r$. Заданы значения α_{ij} , указывающие, сколько j -го груза можно перевезти одним ЛА i -го типа, а также c_{ij}^k – затраты на перевозку j -го груза ЛА i -го типа при k -ой стратегии использования метеоинформации. Требуется распределить ЛА таким образом, чтобы суммарные затраты C^k были наименьшими.

Если, при применении k -ой стратегии использования метеорологической информации, обозначить количество ЛА i -го типа, которое необходимо выделить для перевозки j -го груза через x_{ij}^k , то в формализованном виде данная задача описывается следующим образом.

Найти минимум целевой функции

$$C^k = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^r c_{ij}^k x_{ij}^k \rightarrow \min, \quad \forall k = \overline{1, K}, \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^p \alpha_{ij} x_{ij}^k \geq b_j, \quad \forall k = \overline{1, K}, \forall j = \overline{1, r}, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^r x_{ij}^k = a_i, \quad \forall k = \overline{1, K}, \forall i = \overline{1, p}. \quad (3)$$

Ограничение (2) означает, что план всех перевозок должен быть выполнен полностью, а ограничение (3) – что в процессе выполнения плана должны быть задействованы все ЛА.

В модели (1) – (3) величиной, учитывающей влияние погодных условий, является неуправляемая переменная c_{ij}^k , численное значение которой связано со степенью эффективности использования метеоинформации об облачности (высота нижней границы облаков - далее ВНГО) и горизонтальной дальности видимости (далее ГДВ). Практическая реализация этой модели обеспечивает на этапе планирования разработку рекомендаций на построение оптимального плана функционирования АФ. Указанные рекомендации основаны на анализе прогностической и климатической информации о погоде. На этапе функционирования АФ данная модель, с учетом прогностической информации об условиях погоды, позволяет корректировать первоначально принятые

решения.

Модель (1) – (3) позволяет оптимизировать решение поставленной задачи в рамках какого-то одного АФ, что не всегда обеспечивает наилучшее функционирование АФ, включающего в себя несколько АФ. С целью оптимизации решения указанной задачи в масштабах объединенных АФ данная модель была преобразована следующим образом:

$$C^k = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^r c_{ij}^k x_{ij}^{lk} \rightarrow \min, \quad \forall k = \overline{1, K}, \quad (4)$$

при ограничениях:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^p \alpha_{ij} x_{ij}^{lk} \geq \sum_{l=1}^L b_j^l, \quad \forall k = \overline{1, K}, \forall j = \overline{1, r}, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^r x_{ij}^k = a_i^l, \quad \forall k = \overline{1, K}, \forall i = \overline{1, p}, \forall l = \overline{1, L}, \quad (6)$$

где индекс l указывает на l -е АФ ($l = \overline{1, L}$).

В приведенных экономико-метеорологических моделях прогнозируемые с помощью k -ой стратегии S^k метеорологические условия приводят к стохастичности величины c_{ij}^k . Следовательно, для определения наилучшего вектора принятия решений из множества различных вариантов, связанных с множеством стратегий S^k , необходимо воспользоваться соотношениями (4), (5), и по максимуму показателей относительной верификации γ^k, ω^k определить искомый вектор.

Таким образом, для определения в условиях метеорологической неопределенности оптимальной стратегии использования метеорологической информации и связанного с этой стратегией оптимального вектора принятия решений предлагается использовать статическую модель, основанную на стохастической задаче линейного программирования, и включающую в себя целевую функцию (1) или (4), ограничения (2), (3), или (5), (6).

План, полученный с помощью моделей (1) – (3), (4), (5) или (4) – (6), (4), (5) не требует корректировки в процессе его выполнения при условии использования идеальной метеорологической информации и наличии

детерминированного закона влияния погодных условий на функционирование метеозависимого АФ. В настоящее время это неосуществимо, что приводит к необходимости поэтапного принятия решений поставленной задачи.

В процессе проведения численного эксперимента по применению статической модели принятия решений при управлении метеозависимым АФ множество стратегий S_{AC}^k использования метеорологической информации рассматривалось как множество различных совокупностей исследованных в работе методов прогноза ВНГО и ГДВ [2].

Для прогноза ВНГО и ГДВ использовались полученные уравнения регрессии, представленные полиномами третьей степени, построенными в пространстве исходных метеорологических признаков и ортогональном факторном пространстве. Для прогноза ВНГО, кроме того, использовались известные методы Е.И. Гоголевой и З.А. Спарышкиной [1].

В табл. 1 приведены пять наиболее контрастных по рассматриваемому критерию эффективности функционирования АФ стратегий использования метеорологической информации.

Звездочкой в данной таблице обозначены уравнения регрессии, общий вид которых представлен полином третьей степени, построенные в пространстве ортогональных общих факторов.

Табл. 1. Стратегии использования метеорологической информации в процессе функционирования авиационной системы

Стратегии	Прогностические методы	
	ВНГО	ГДВ
S_{AC}^1	Гоголевой	Уравнение регрессии
S_{AC}^2	Спарышкиной	Уравнение регрессии
S_{AC}^3	Гоголевой	Уравнение регрессии*
S_{AC}^4	Уравнение регрессии	Уравнение регрессии*

S_{AC}^5	Уравнение регрессии*	Уравнение регрессии*
------------	----------------------	----------------------

Применение любой из рассматриваемых стратегий обеспечивает определение соответствующего варианта принятия решений. В табл. 2, 3 представлены значения показателей γ и ω , связанные с рассмотренными стратегиями $S_{AC}^1 - S_{AC}^5$ использования метеорологической информации для каждого из исследуемых пунктов. При расчете указанных показателей в качестве порогового значения ВНГО, регламентирующего возможность выполнения поставленной задачи, было принято значение, равное 200 метрам, в качестве порогового значения ГДВ – 2000 метров.

На рис. 2 представлены диаграммы зависимостей показателей γ и ω от каждой из пяти $S_{AC}^1 - S_{AC}^5$ стратегий использования метеорологической информации, построенные по данным табл. 2, 3.

Табл. 2. Значения показателя γ , связанного со стратегиями использования метеорологической информации

Пункт	Стратегия				
	S_{AC}^1	S_{AC}^2	S_{AC}^3	S_{AC}^4	S_{AC}^5
Киров	0,045	0,038	0,051	0,098	0,116
Н. Новгород	0,036	0,040	0,037	0,118	0,129
Москва	0,024	0,030	0,021	0,124	0,132
Волгоград	0,040	0,044	0,040	0,120	0,129
Воронеж	0,031	0,042	0,030	0,126	0,141
Ростов-на-Дону	0,045	0,040	0,031	0,110	0,127
Астрахань	0,026	0,018	0,041	0,117	0,131

Табл. 3. Значения показателя ω , связанного со стратегиями использования метеорологической информации

Пункт	Стратегия				
	S_{AC}^1	S_{AC}^2	S_{AC}^3	S_{AC}^4	S_{AC}^5
Киров	0,134	0,118	0,152	0,299	0,346
Н. Новгород	0,110	0,121	0,112	0,351	0,388
Москва	0,072	0,089	0,060	0,371	0,401
Волгоград	0,121	0,131	0,120	0,361	0,402
Воронеж	0,092	0,126	0,092	0,377	0,422
Ростов-на-Дону	0,133	0,122	0,094	0,335	0,383
Астрахань	0,080	0,054	0,122	0,353	0,396

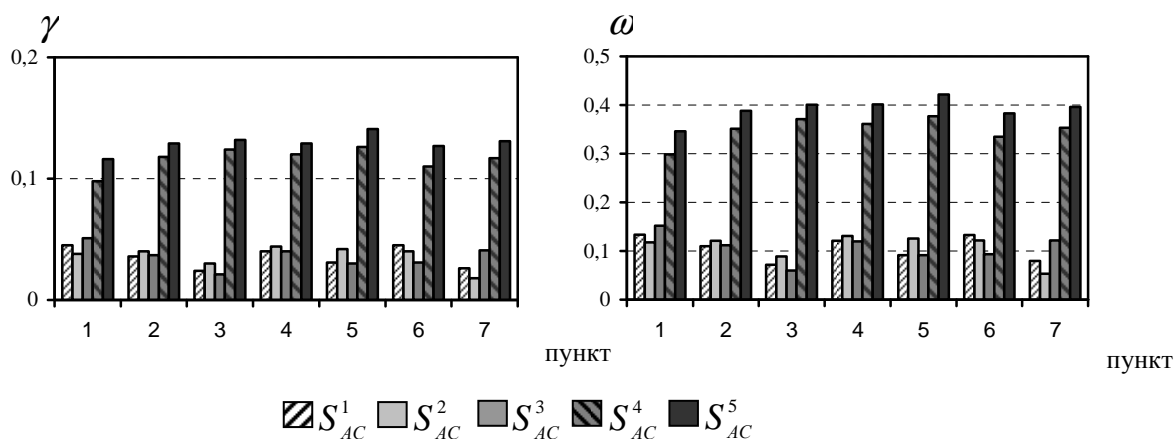


Рис. 2. Диаграммы зависимостей показателей γ и ω от стратегий S_{AC}^k

Анализ этих диаграмм, равно как и данных табл. 2, 3, указывает на существенный разброс значений показателей γ и ω в зависимости от стратегий использования метеорологической информации. Это еще раз подтверждает необходимость исследования перспектив увеличения эффективности управления метеозависимыми АФ за счет улучшения стратегий использования метеорологической информации. Если осуществить количественную оценку, то следует указать на то, что применение стратегий $S_{AC}^1 - S_{AC}^3$ приводит к незначительному положительному приращению рассматриваемых показателей.

Стратегии же S_{AC}^4 и S_{AC}^5 обеспечивают увеличение показателя γ на 10-14%, а показателя ω – на 30-40%.

На следующем этапе осуществлен анализ данных по сопоставлению оценок эффективности применения предложенных моделей принятия решений с соответствующими оценками, полученными на базе анализа традиционных для математической статистики показателей. В настоящем исследовании в качестве одного из таких показателей принята средняя абсолютная ошибка \bar{E} прогноза ВНГО (табл. 4).

Табл. 4. Оценки средней абсолютной ошибки \bar{E} прогноза ВНГО

№ п/п	Метод прогноза ВНГО	Диапазон измерения	Пункты						
			Киров	Н. Новгород	Москва	Воронеж	Волгоград	Астрахань	Ростов-на-Дону
Обучающая выборка									
1	Полином третьей степени	до 120 м, м	27,9	28,2	26,6	31,8	26,3	31,4	28,0
		120-300 м, %	23,3	24,0	23,5	29,0	25,0	28,1	24,0
2	Полином третьей степени *	до 120 м, м	26,2	28,0	26,5	30,3	27,2	30,1	26,7
		120-300 м, %	22,2	23,4	23,0	28,1	24,0	27,5	23,0
3	Метод Е.И. Гоголевой	до 120 м, м	37,0	41,2	36,3	40,7	42,9	47,0	51,4
		120-300 м, %	41,0	45,3	34,6	43,3	50,6	55,0	56,6

4	Метод З.А. Спарышкиной	до 120 м, м	25,0	31,0	33,0	36,9	35,0	45,4	37,1
		120-300 м, %	21,0	28,7	31,5	35,0	40,3	52,0	36,0
Контрольная выборка									
5	Полином третьей степени	до 120 м, м	29,7	30,0	28,2	29,3	30,0	30,6	28,3
		120-300 м, %	25,0	26,5	28,2	29,7	31,6	30,3	29,2
6	Полином третьей степени *	до 120 м, м	28,4	29,0	27,6	29,3	28,1	29,5	27,7
		120-300 м, %	23,2	22,4	24,0	27,4	26,2	25,6	28,0
7	Метод Е.И. Гоголевой	до 120 м, м	38,1	40,9	39,5	41,3	39,9	43,6	47,5
		120-300 м, %	39,1	42,5	38,4	44,3	48,7	49,7	57,4
8	Метод З.А. Спарышкиной	до 120 м, м	28,9	32,1	34,1	31,7	38,9	40,9	36,9
		120-300 м, %	28,9	24,8	35,4	33,4	41,2	48,4	37,0

Анализ данных, представленных в табл. 4, указывает на то, что существующие и наиболее часто используемые в практической деятельности специалистов метеослужбы методы прогноза ВНГО не всегда удовлетворяют требованиям руководящих документов, что, бесспорно, снижает эффективность их применения [4]. Указанным требованиям, кроме того, не для всех пунктов удовлетворяют и уравнения регрессии, построенные в работе в пространстве исходных метеорологических признаков. Кроме того, в ряде случаев очевиден факт несоответствия оптимальных стратегий, определяемых по экстремуму

целевой функции построенной модели и по экстремумам показателей, традиционно используемых в регрессионном анализе. Данный факт лишний раз доказывает, что метеорологическая успешность прогнозов и их экономическая полезность – понятия неадекватные.

Литература

1. Баранов А.М., Губицын Г.А., Иоффе М.М., Криуленко Е.Л., Лисодет В.Н. Авиационная метеорология. – М., Военное издательство, 1971, 315 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология, -М., Наука, 1988, 165 с.
3. Волконский Н.Ю., Волконский Ю.Н. Оптимальная организация специализированного обеспечения прогнозами. – Метеорология и гидрология, 1985, №12, с. 12-19.
4. Хандожко Л.А. Практикум по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства. – С.- ПБ., Гидрометеиздат, 1993, 312 с.