

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УДК 629.7

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРА ДЛЯ ШТУРМАНСКИХ РАСЧЕТОВ НА ЭТАПЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ К ПОЛЕТУ

В.В. Афанасьев

(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

Рассмотрены особенности выполнения расчета элементов полета летательного аппарата (ЛА) на этапе предварительной подготовки к полету с применением современного программного обеспечения.

штурманский расчет, подготовка к полету

Введение. Одним из основных этапов, от которого зависит эффективность выполнения полетного задания, является этап подготовки экипажей к полету. В качестве критериев, по которым может быть оценена эффективность выполнения данного этапа, целесообразно выбрать точность и время выполнения навигационных расчетов. Высокой точности и минимальных затрат времени на навигационные расчеты, которые выполняет летный состав при подготовке к полету можно, достичь за счет их автоматизации.

Анализ литературы. Анализ существующей методики подготовки экипажей к полету [1] показывает, что время, затрачиваемое на выполнение штурманских расчетов и оформление полетной документации, может быть существенно сокращено за счет применения персональных компьютеров (ПК). В основу алгоритма выполнения навигационных расчетов на ПК могут быть положены существующие алгоритмы, реализованные в бортовых цифровых вычислительных машинах (БЦВС) навигационных комплексов летательных аппаратов [2, 3].

Целью статьи является обоснование методики выполнения расчета полета ЛА на этапе предварительной подготовки к полету с применением современного программного обеспечения.

Методика расчета элементов полета на ПК. Рассматривается методика выполнения штилевого расчета элементов полета, данные которого заносятся в бланк бортового журнала. В общем случае рас-

сматриваемая методика может быть представлена следующими этапами.

1 этап. Определение исходных данных: геодезические координаты основных точек маршрута (исходный пункт маршрута (ИПМ), поворотные пункты маршрута (ППМ), конечный пункт маршрута (КПМ), скорости по этапам (V), средняя широта листа карты района полета (φ_{CP}), магнитное склонение (ΔM) по участкам маршрута.

2 этап. Ввод координат в ПК и вычисление навигационных параметров (магнитные и условные путевые углы по этапам маршрута, протяженности этапов маршрута (S), время полета на этапах (t)) по заданной программе.

3 этап. Вывод на индикацию рассчитанных параметров полета, печать бланка бортового журнала.

Рассмотрим подробнее содержание перечисленных этапов. *На первом этапе* следует учесть особенности способов определения геодезических координат основных точек маршрута, так как φ_{CP} и ΔM снимаются с карты, а V на участках маршрута – согласно задания на полет.

Геодезические координаты точек измеряются непосредственно на карте при подготовке к полету, при этом точность их измерения зависит от масштаба карты (чем крупнее масштаб карты тем выше точность снятия координат) и практических навыков летного состава, что в свою очередь влияет на точность и время выполнения данного этапа. Процесс определения координат точек маршрута может быть ускорен путем использования цифровых карт и специального программного обеспечения, к примеру программы OziExplorer [4]. На экране монитора индицируются геодезические координаты точки на которую наведен курсор (рис. 1).

Путем наведения курсора на заданную точку с экрана необходимо снять показания координат и занести их в бланк исходных данных. При выполнении данного этапа особое внимание необходимо обратить на систему координат (СК) в которой осуществляется индикация геодезических координат. Данная СК выбирается оператором и должна соответствовать СК в которой выполнена полетная карта. Несоответствие СК приводит к увеличению погрешности дальнейших вычислений. Например, рассогласование между координатами одного и того же объекта (гл. 5м) (рис. 1) в СК-42 и WGS-84 составляют: по широте – $1,1''$, по долготе $5,9''$. В пересчете в линейные величины: 34 м и 182 м соответственно.

Основной частью второго этапа является алгоритм определения навигационных параметров и включает в себя следующие пункты.

А) Определение значений путевых углов

$$\text{УПУ} = \beta_0 + \Delta A; \quad \text{МПУ} = \beta_{CP} - \Delta M,$$

где β_0 – истинный путевой угол (ИПУ) начала этапа маршрута; β_{CP} – истинный путевой угол середины этапа маршрута; ΔA – азимутальная поправка.

$$\Delta A = (\lambda_0 - \lambda_T) \cdot \varphi_{CP},$$

где λ_0 и λ_T – долгота точек начала и конца этапа маршрута соответственно.

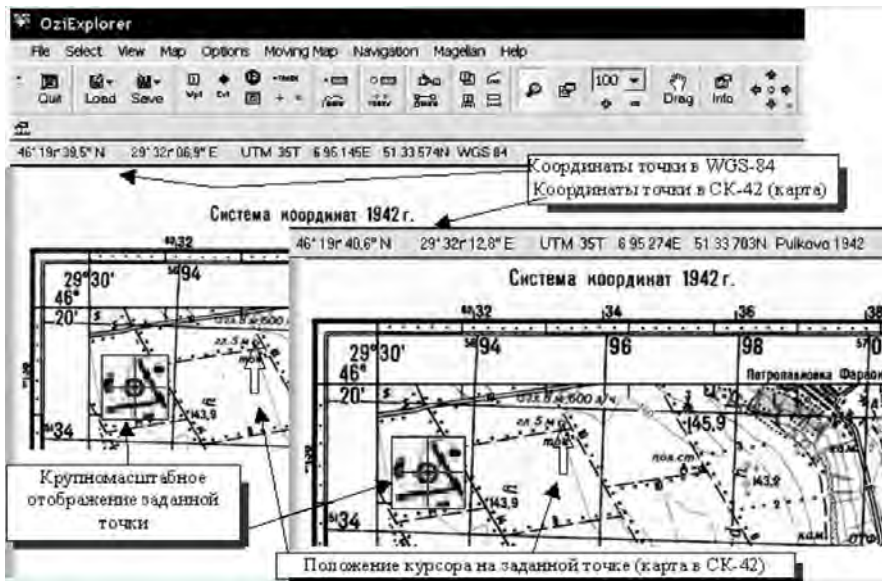


Рис. 1. Особенности применения цифровых карт для определения координат

Вычисление значений β_0 и β_{CP} целесообразно проводить на ПК, так как на практике данные элементы снимаются с карты с помощью транспортира. В БЦВС подобная задача решается по формулам сферической тригонометрии [2, 3]

$$\operatorname{ctg} \beta = \cos \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \operatorname{cosec}(\lambda_2 - \lambda_1) - \sin \varphi_1 \cdot \operatorname{ctg}(\lambda_2 - \lambda_1). \quad (1)$$

Для этого, предварительно выполняется пересчет геодезических координат в сферические.

С целью обеспечения высокой точности определения истинного путевого угла (β) используются уравнения равноугольной проекции земного эллипсоида на сферу, в которой искажения углов равны нулю [3]

$$\varphi = B - 11'31'' \cdot \sin 2B; \quad \lambda = L.$$

При использовании выражения (1) значения β определяются в пределах $\pm 90^\circ$, тогда как диапазон измерения $\beta = 0^\circ - 360^\circ$. Для вычисления β в пределах $0^\circ - 360^\circ$ в работе предлагается использовать функции, встроенные в программные пакеты, к примеру, в Office MS Excel: ATAN2 и логические (рис. 2). Исходными данными для использования функции ATAN2 являются прямоугольные координаты (X, Y) точки конца этапа относительно точки измерения β . Так как функция ATAN2 используется для решения задач на плоскости, то для достижения высокой точности определения β необходимо, чтобы меридианы и параллели в районе этапа полета образовывали прямоугольную сетку. Данное условие выполняется при расположении точки измерения β на экваторе. Для обеспечения ортогональности сетки

необходимо использовать ортодромическую систему координат [2] в которой ортодромический экватор проходит через точку измерения β (рис. 3).

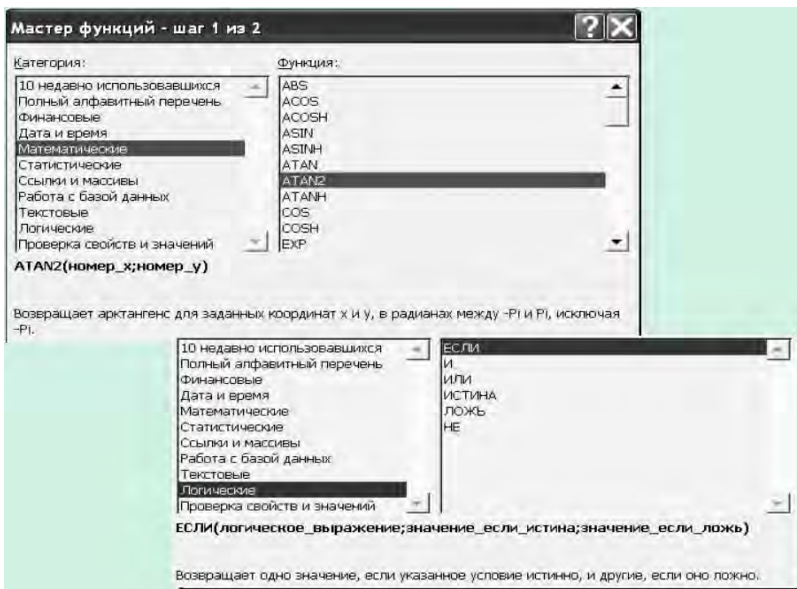


Рис. 2. Встроенные функции Office MS Excel, используемые для вычисления β

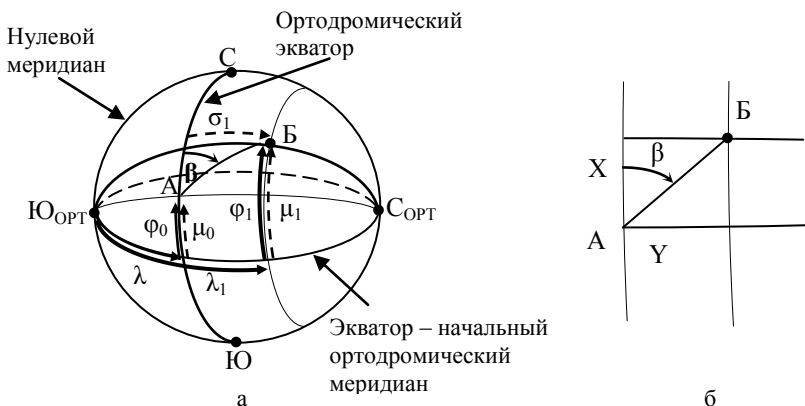


Рис. 3. Системы координат, которые используются для определения β :
 а – связь сферических и ортодромических координат;
 б – к определению β в прямоугольной системе координат

Таким образом, переход от сферических координат к прямоугольным осуществляется с использованием следующих соотношений:

$$\sigma_1 = \arcsin [\sin(\lambda_1 - \lambda_0) \cdot \cos \varphi_1]; \quad \mu_1 = \arcsin (\sin \varphi_1 / \cos \sigma_1),$$

где подстрочные индексы «0» и «1» относятся к параметрам точек соответственно начала и конца этапа;

$$X = (\mu_1 - \mu_0) \cdot R_3; \quad Y = (\sigma_1 - \sigma_0) \cdot R_3,$$

а так как $\mu_0 = \varphi_0$, а $\sigma_0 = 0$, то

$$X = (\mu_1 - \varphi_0) \cdot R_3; \quad Y = \sigma_1 \cdot R_3,$$

где R_3 – радиус земной сферы.

Для равноугольной проекции земного эллипсоида на сферу $R_3 = (a + b) / 2$, где a и b – большая и малая полуось эллипсоида ($a = 6\,378\,245$ м; $b = 6\,356\,863$ м).

Используя функцию ATAN2, определяется значение $\beta^* - \beta$ в пределах $\pm 180^\circ$, исключая « -180° »

$$\beta^* = \text{ATAN2}(X; Y) = \text{ATAN2}[(\mu_1 - \varphi_0) \cdot R_3; \sigma_1 \cdot R_3] = \text{ATAN2}[(\mu_1 - \varphi_0); (\sigma_1)].$$

Для вычисления β в диапазоне $0^\circ - 360^\circ$ используем логическую функцию

$$\text{ЕСЛИ}(\beta^* > 0) \text{ то } \beta = \beta^*, \text{ иначе } \beta = \beta^* + 360.$$

Таким образом, для точного и однозначного определения β необходимо использовать логические функции и системы координат: геодезическую, сферическую, ортодромическую, прямоугольную.

Б) Значения S вычисляются по формулам

$$\cos S = \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1). \quad (2)$$

Для использования соотношения (2) необходимо предварительно пересчитать геодезические координаты в сферические. Для этого воспользуемся уравнением равнопромежуточной по меридиану проекцией поверхности земного эллипсоида (эллипсоида Красовского) на сферу с учетом сжатия Земли [3]

$$\varphi_s = B - 8'39'' \cdot \sin 2B; \quad \lambda_s = L. \quad (3)$$

С целью вычисления расстояния с высокой точностью использовалось свойство данной проекции: частный масштаб вдоль ортодромии на равнопромежуточной по меридиану проекции эллипсоида на сферу остается постоянным. Для чего, при пересчете S из [радиан] в [метры]

$$S[\text{м}] = S[\text{рад}] \cdot R[\text{м}],$$

используется радиус сферы R , который определяется соотношением

$$R = \alpha \cdot \left[1 - (c/2) \cdot (1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \varphi_s) \right], \quad (4)$$

где β – истинный путевой угол этапа; φ_s – сферическая широта точки в которой измеряется β ; c – сжатие земного эллипсоида, $c = (a - b) / a$ (a и b – большая и малая полуось земного эллипсоида). Максимальная погрешность этого метода составляет 0,0011% от вычисляемого расстояния [3, 5].

В) Определяется время полета по участкам.

На третьем этапе осуществляется ввод исходных параметров в программу расчета полета, вывод на индикацию рассчитанных навигационных параметров и печать бланка бортового журнала.

На рис. 4 приведена визуализация результатов расчета на основе изложенной методики с применением программы Office MS Excel.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data tables:

Исходные данные																		
Пункт маршрута		Координаты				ΔM	V	прел.	ср	φ	прелая КТМ	УПУ	МПУ	S	t			
		геодезические координаты																
		широта		долгота														
		градусы	минуты	секунды	градусы	минуты	секунды	градусы	минуты	секунды	градусы	минуты	секунды	градусы	минуты	секунды		
ИТМ		49	12	3	33	20	12	1	5,20		49			65	66	101,2	1,1	41
ПТМ1		49	35	10	34	36	8	-2	5,20					67	70	83,1	9	38
ПТМ2		49	52	18	35	40	12	-2	5,20					155	157	63,0	7	16
ПТМ3		49	21	32	36	2	30	-2	5,20					167	169	75,1	6	40
ПТМ4		48	41	15	35	54	56	-2	5,20					268	269	197,0	22	44
КТМ		49	12	3	33	20	12	3	5,20					0	0	0,0	0	0

Рис. 4. Программа «Расчет полета» в Office MS Excel

Выводы. Использование современных информационных технологий позволит существенно уменьшить время на подготовку к полету. Выбор различных проекций земного эллипсоида на сферу при вычислении направления и длины ортодромического этапа маршрута, комплексное применение геодезической, сферической, ортодромической и прямоугольной систем координат обеспечивает определение навигационных параметров с высокой точностью: погрешности вычисления расстояний составляют около 0,002%, а погрешности вычисления путевых углов определяются вычислительными возможностями ПК.

Изложенная методика может быть использована: при изучении теоретического материала по воздушной навигации, для повышения точности штурманских расчетов, для сокращения времени на подготовку к полету, для проверки руководящим составом готовности экипажей к полету, в учебном процессе при тестировании курсантов (слушателей) летных специализаций, при имитационном моделировании навигационных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ремянников Е.П., Беляков В.А. Штурманская подготовка к полету. Штурманский контроль и методика оценки точности воздушной навигации. – Луганск: ЛВВАУШ, 1990. – 56 с.
2. Польшгалов О.Г., Ершилов О.В., Польшгалов Д.О. Малогабаритная гиросинерциальная система навигации. – Х.: ХИ ВВС, 2004. – 52 с.
3. Рачковский Н.Г. Радиотехнические и комплексные системы навигации и их применение. – Монино: ВВА им.Ю.А.Гагарина, 1969. – 256 с.
4. Программа OziExplorer. Спутник-security. – <http://www.s-ua.com>.
5. Лиховид А.С., Устюгов А.Н. Авиационная картография и военная топография. – М.: Воениздат, 1986. – 216 с.

Поступила 8.06.2006

Рецензент: доктор технических наук, доцент С.А. Калкаманов,
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба