

УДК 623.74

В.Н. Моисеев

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РУБЕЖЕЙ ДОСЯГАЕМОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ СВЕДЕНИЙ О ТАКТИЧЕСКИХ РАДИУСАХ

Моисеев Владимир Николаевич, кандидат технических наук, окончил экономико-математический факультет Ульяновского государственного технического университета. Инженер-программист научно-исследовательской лаборатории ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи, изобретения в области средств автоматизации управления военно-морской и авиационной техникой. [e-mail: v.n.moiseev@mail.ru].

Аннотация

В данной статье рассматриваются вопросы расчета рубежей досягаемости летательных аппаратов (ЛА) на основе сведений о тактических радиусах на различных диапазонах высоты и скорости. В ряде случаев необходимо выполнять расчёты определения рубежей досягаемости ЛА противника, для которых, как правило, отсутствуют документы, параметры (часовые или километровые расходы топлива) и методики расчёта расхода топлива. Как правило, в открытых источниках информации отсутствуют данные о дальности и продолжительности полета ЛА противника. Поэтому возникает необходимость косвенно и приближенно выполнять оценку рубежей досягаемости противника на основе открытых и общедоступных сведений, одними из которых являются данные о тактических радиусах на различных высотах и при разных скоростях ЛА противника.

Предложенная методика расчета рубежей досягаемости ЛА противника позволяет с относительной погрешностью до 10% оценивать возможности противника по атаке целей и может использоваться в составе боевых информационно-управляющих систем надводных кораблей, а также береговых системах.

Данная методика также представляет интерес при оперативной и приближенной оценках возможностей своих сил при выборе боевой загрузки. Более точные расчеты следует производить на основе руководств по летной эксплуатации и дальностей полета, при наличии такой возможности.

Ключевые слова: инженерно-штурманский расчет, тактический радиус, рубеж досягаемости.

THE METHODOLOGY OF CALCULATION OF AN AIRCRAFT RANGE CAPABILITY ON THE BASIS OF TACTICAL RADIUS DATA

Vladimir Nikolaevich Moiseev, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Economics and Mathematics of Ulyanovsk State Technical University; Software Engineer of the R&D laboratory at Federal Research-and-Production Center Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles and inventions in the field of computer-aided facilities for naval and aeronautical engineering control. e-mail: v.n.moiseev@mail.ru.

Abstract

The article considers issues on the calculation of an aircraft range capability on the basis of tactical radius data within different altitude and speed ranges. In some cases, it is necessary to calculate the enemy's aircraft range capability. As a rule, such calculations do not have any documents, parameters (fuel flow rate and consumption per kilometre), and methodologies for fuel consumption calculation. Usually, open information sources also do not have any information about the enemy's aircraft flight distance and time. Due to this fact, the need in indirect and approximate estimation of the enemy's aircraft range capability with the use of information from public and common data is driven. Information about tactical radiuses within the enemy's aircraft different altitude and speed ranges is the example of such public data.

The proposed methodology for calculation of the enemy's aircraft range capability allows to estimate the enemy's capabilities in target attacks with 10% ratio error and can be used in combat management systems of surface ships and shore-based complexes.

The methodology is also of great interest for operational and approximate estimation of own forces capabilities in case of the operational loading choice. More accurate calculations should be carried out on the basis of manuals on flight operation and time if such opportunity exists.

Key words: navigation calculation, tactical radius, range capability.

ВВЕДЕНИЕ

Инженерно-штурманские расчеты (ИШР) являются одним из главных компонентов, обеспечивающих безопасность полета летательных аппаратов (ЛА). Развитие возможностей современной техники и вооружения вызывает необходимость разработки новых более точных и скоростных алгоритмов оценки топливно-временных характеристик полета ЛА. Особенностью ИШР бортовой авиации флота, по сравнению с аэродромной авиацией, является непрерывное передвижение взлетно-посадочной полосы вдоль водной поверхности, а также ограниченная длина пробега по ней при взлете и посадке, что накладывает ограничение на взлет самолета с полной загрузкой топливом и подвесками. В таких условиях скорость и точность ИШР являются одними из главных критериев возможности использования той или иной боевой информационно-управляющей системы (БИУС). Вопрос оценки рубежей досягаемости ЛА является важной научно-практической задачей [1–9].

В ряде случаев бывает необходимо выполнять расчеты определения рубежей досягаемости ЛА противника, для которых, как правило, отсутствуют документы, параметры (часовые или километровые расходы топлива) и методики расчета расхода топлива.

Как правило, в открытых источниках информации отсутствуют данные о дальности и продолжительности полета ЛА противника. Поэтому возникает необходимость косвенно и приближенно выполнять оценку рубежей досягаемости противника на основе открытых и общедоступных сведений.

В этом случае для выполнения расчетов используются параметры тактических радиусов действий ЛА, помещаемые в рекламных материалах по тактико-техническим характеристикам ЛА противника.

Одними из таких открытых сведений являются данные о тактических радиусах на различных высотах и при разных скоростях ЛА противника.

Маршрут, профиль и режим полета выбираются с учетом характера задания на полет, навигационной обстановки и конструктивных особенностей данного ЛА [10].

При формировании профиля полета нужно руководствоваться следующими ограничениями:

- досягаемостью объектов действий по топливу;
- успешным преодолением противовоздушной обороны (ПВО) противника;
- наименьшей продолжительностью полета и наименьшим расходом топлива;
- высокой точностью навигации, надежностью выхода на цель и наивыгоднейшим направлением захода;
- безопасностью от столкновения с земной (водной) поверхностью и препятствиями;
- исключением попадания в запретные (опасные) зоны;
- предотвращением опасного сближения ЛА.

Под рубежом досягаемости авиации понимается наиболее удаленный от аэродрома вылета рубеж, которого

могут достичь системы военного назначения (СВН), преодолевая систему ПВО, а после выполнения боевой задачи на данном рубеже вернуться на свой аэродром [2].

Рубеж досягаемости различных типов СВН зависит от их летных возможностей, количества дозаправок в воздухе, боевой нагрузки, профиля и режима полета, применяемых способов боевых действий, действий одиночно или в составе группы, условий боевой и метеорологической обстановки, других факторов.

Рубежи досягаемости различных типов СВН определяются исходя из дальности полета тактической (D_t) и тактического радиуса действия (R_t).

D_t – это максимальное расстояние, пролетаемое самолетом с одной заправкой горючего при штатном вооружении и нормальной боевой нагрузке.

D_t составляет 70–80% от дальности перегоночной (максимальной).

Одна дозаправка горючего в воздухе увеличивает тактическую дальность в среднем на 40%, две дозаправки – на 70% [2].

Тактический радиус действия (R_t) – это наибольшее расстояние, на которое может удалиться самолет для выполнения боевого задания при штатном вооружении и нормальной бомбовой нагрузке и возвратиться на аэродром вылета без промежуточной посадки.

В среднем R_t на оптимальной высоте полета составляет 40% от D_t для одиночных самолетов и 30–35% – для групп в зависимости от их состава.

Величина R_t на малых высотах уменьшается примерно в 2–2,5 раза из-за увеличенного расхода топлива, а при полете с переменным профилем зависит от расстояния, пролетаемого самолетом на малой высоте [8].

Существует несколько типовых профилей полета, представленных на рисунке 1.

При полете к цели и обратно на оптимальной высоте (рис. 1, а):

$$R_{t.omm} = (0,35 - 0,4)D_t, \quad (1)$$

где D_t – тактическая дальность;

коэффициент 0,35 берется при полете самолетов в группе, а второй 0,4 – при полете одиночных самолетов.

При полете к цели и обратно на малой высоте (рис. 1, б):

$$R_{t.me} = \frac{R_{t.omm}}{k}, \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий повышенный расход топлива при полете самолета на малых высотах, он показывает, во сколько раз уменьшается дальность полета самолета на малых высотах по сравнению с дальностью полета на наивыгоднейших высотах при тех же запасах топлива и боевой нагрузке. Значения коэффициентов для некоторых типов самолетов приведены в таблице 1.

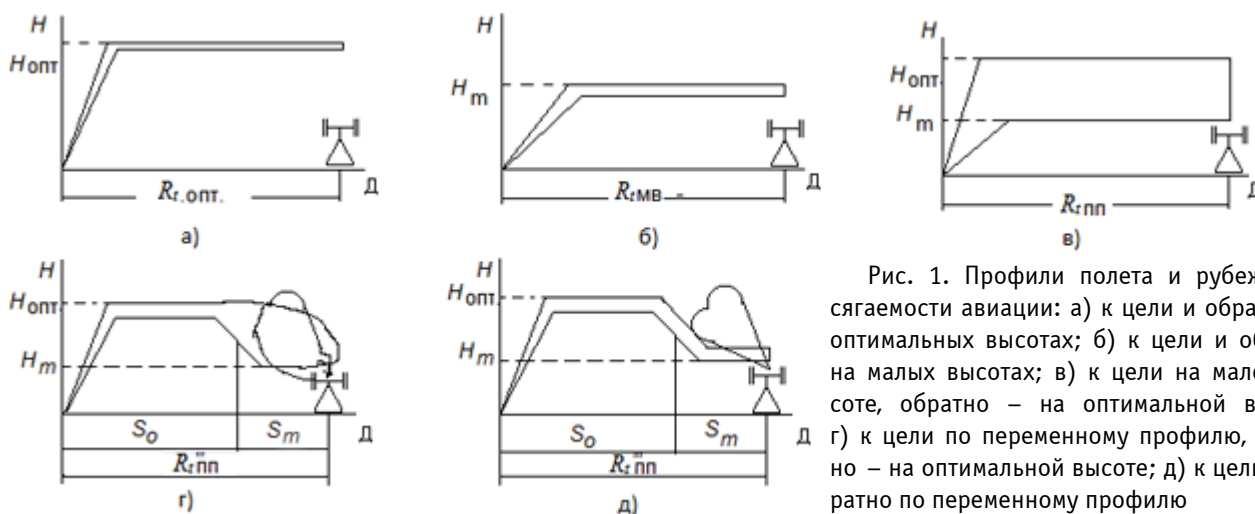


Рис. 1. Профили полета и рубежи досягаемости авиации: а) к цели и обратно на оптимальных высотах; б) к цели и обратно на малых высотах; в) к цели на малой высоте, обратно – на оптимальной высоте; г) к цели по переменному профилю, обратно – на оптимальной высоте; д) к цели и обратно по переменному профилю

Таблица 1

Значения коэффициентов

Коэффициент	Тип ЛА					
	B-52	B-1B F-111	F-16 F-4	F-14 F-15 «Ягуар» «Торнадо»	A-6 A-7	F-5
k	2,25	2	2,35	2	2,1	2,3

При полете к цели на малой высоте, а обратно – на оптимальной (рис. 1, в):

$$R_{t.пп} = \frac{2R_{t.опт}}{1+k} \quad (3)$$

При полете к цели по переменному профилю, а возвращение – на оптимальной высоте (рис. 1, г):

$$R_{t.пп}^* = \frac{2R_{t.опт} + S_0(k-1)}{1+k} \quad (4)$$

где S_0 – расстояние, пролетаемое самолетом на оптимальной (наивыгоднейшей) высоте от аэродрома базирования до рубежа снижения на малые высоты.

При полете к цели и возвращении на аэродром вылета по переменному профилю (рис. 1, д)

$$R_{t.пп}^m = \frac{2R_{t.опт} + S_0(k-1)}{k} \quad (5)$$

ПРЕДЛОЖЕННАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РУБЕЖЕЙ ДОСЯГАЕМОСТИ ЛА ПРОТИВНИКА

Рассмотренная выше методика позволяет рассчитать рубеж досягаемости для типовых профилей полета и требует знания коэффициента k , расчет которого не приводится. Однако в большинстве случаев полет по типовым профилям оказывается невозможным из-за расположения средств ПВО, особенностей рельефа местности. Поэтому возникает необходимость разработки новой методики оценки рубежей досягаемости авиации противника для произвольного профиля полета, которая будет основываться на общедоступных данных.

Соотношение общего расхода топлива на маршрут, изображенный на рисунке 2:

$$Rq_1 + Rq_2 = Q, \quad (6)$$

где R – расстояние от аэродрома взлета до цели, равное расстоянию от цели до аэродрома посадки, км;

q_1, q_2 – средние километровые расходы топлива при полёте соответственно до цели и от цели, кг/км;

Q – расход топлива на маршрут, кг.

Расход топлива можно выразить через радиус действия для постоянного режима (высоты, скорости) по маршруту:

$$\begin{aligned} Q &= 2R_1q_1, \\ Q &= 2R_2q_2, \end{aligned} \quad (7)$$

где R_1 и R_2 – радиусы действия ЛА противника на постоянном режиме полёта (то есть на некоторых высотах H_1 и H_2).

Подставляя (2) в (1) и решив уравнение относительно R , но для переменного профиля полёта, получим:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{2R_1} + \frac{1}{2R_2}} = \frac{2R_1R_2}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

Для схемы полёта ЛА по профилю, показанному на рисунке 3, формула (1) имеет вид:

$$Rq_1 + Sq_1 + (R-S)q_2 = Q. \quad (9)$$

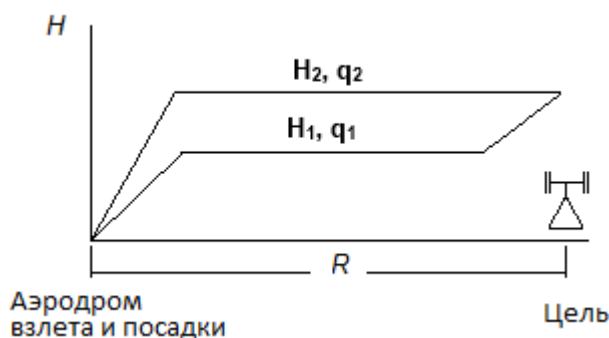


Рис. 2. Профиль полета

Тогда формула (6) приобретает вид:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{2} * R_1 + \frac{1}{2} * R_2} = \frac{2 + S/R_2 - S/R_1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}. \quad (10)$$

Общая формула представления $R_{то} = R$ для параметров и условий полёта по маршруту имеет вид:

$$R_{то} = \frac{2 + \sum_{i=2}^n \frac{S_i}{R_1} + \sum_{j=2}^m \frac{S'_j}{R'_1} - \sum_{i=2}^n \frac{S_i}{R_i} - \sum_{j=2}^m \frac{S'_j}{R'_j}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1}}, \quad (11)$$

где $R_{то}$ – тактический радиус для переменного профиля (переменных условий и режима) полёта по маршруту без учёта гарантийного запаса топлива;

R_1 – радиус действия одиночного самолёта для постоянной высоты (и условий) полёта на неизвестном участке (участке неизвестной длины) маршрута при полёте к цели (рубежу);

R'_1 – радиус действия одиночного самолёта для постоянной высоты (и условий) полёта на неизвестном участке маршрута при полёте от цели (от рубежа);

S_i и S'_j – длины известных (заданных) участков горизонтального полёта маршрута соответственно к цели (рубежу) и от цели (от рубежа) с примыкающими к ним участками набора и снижения для фиксированных условий полёта;

R_i и R'_j – тактические радиусы действия одиночного самолёта на постоянной высоте, равной высоте на соответствующем заданном участке горизонтального полёта соответственно к цели и от цели.

Радиус $R_{т.сп}$ действия группы самолётов с учётом вырабатываемого запаса $Q_{зан}$ топлива на полёт и расхода топлива Q_{np} на построение, роспуск боевого порядка или полёт в районе аэродрома определяется по формуле:

$$R_{т.сп} = R_{то} - 2 * \frac{Q_{np}}{Q_{зан} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1} \right)} * (1 - K_z), \quad (12)$$

где K_z – коэффициент гарантийности ($K_z \approx 1,07=7\%$), учитывающий расход топлива на разброс технических характеристик самолёта и двигателя.

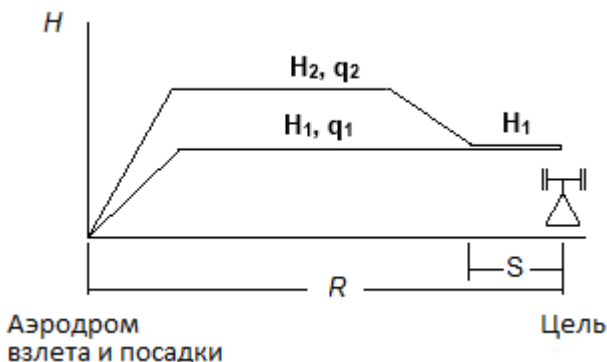


Рис. 3. Переменный профиль полёта

Остаток топлива ΔQ на самолётах после выполнения поставленной задачи и посадки на аэродроме взлёта определяется по формуле:

$$\Delta Q = \left([R_t - D] * \frac{1}{2} Q_{вып} \right) * \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1} \right), \quad (13)$$

где D – удаление заданного рубежа от аэродрома взлёта; R_t – тактический радиус действий для заданных условий полёта;

$Q_{вып}$ – вырабатываемый запас топлива на самолёте;

R_1 и R'_1 – радиусы действия на первом и последнем (неизвестных) участках маршрута.

Допустимое (возможное по запасу топлива) удаление S_A аэродрома посадки от аэродрома взлёта после выполнения боевой задачи определяется по формуле:

$$S_A \approx (R_t - D) * \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1} \right) * \times (2\Delta Q * R_1) / \left(Q_{вып} - 4,4 \cdot 10^{-5} (Q_{вып} - \Delta Q) * R'_1 \right). \quad (14)$$

Если в формуле 14 получается знак «минус» (-), то значение S_A означает минимальное допустимое расстояние между аэродромом посадки и аэродромом взлёта в направлении цели, то есть аэродром посадки должен быть расположен ближе к цели от аэродрома взлёта на величину не менее S_A .

Если в формуле 14 получается знак «плюс» (+), то значение S_A означает максимально допустимое расстояние между аэродромом посадки и аэродромом взлёта в направлении от цели, то есть аэродром посадки может быть расположен за аэродромом взлёта на расстоянии не более S_A .

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПО ДАЛЬНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЛЕТА ЛА

Общий расход топлива при полёте по маршруту составляет:

$$Q_p = Q_{вып} - \Delta Q, \quad (15)$$

где $Q_{вып} = 0,995 \dots 0,98 * Q_m$ – вырабатываемый запас топлива на ЛА.

Средневзвешенная скорость полёта ЛА, км/ч по маршруту V_{cp} :

$$V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i * S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad [км/ч], \quad (16)$$

где S_i – длина i -го участка маршрута, на котором назначена скорость V_i ;

V_i – скорость, назначенная на i -м участке маршрута;

n – общее количество участков маршрута на i -й высоте (МВ, СВ или БВ) и i -й скорости.

Общая средняя длина S маршрута полёта:

$$S = 2 * R_p, \quad [км]. \quad (17)$$

Общее среднее время полёта $T_{пол}$ самолёта на дальность S :

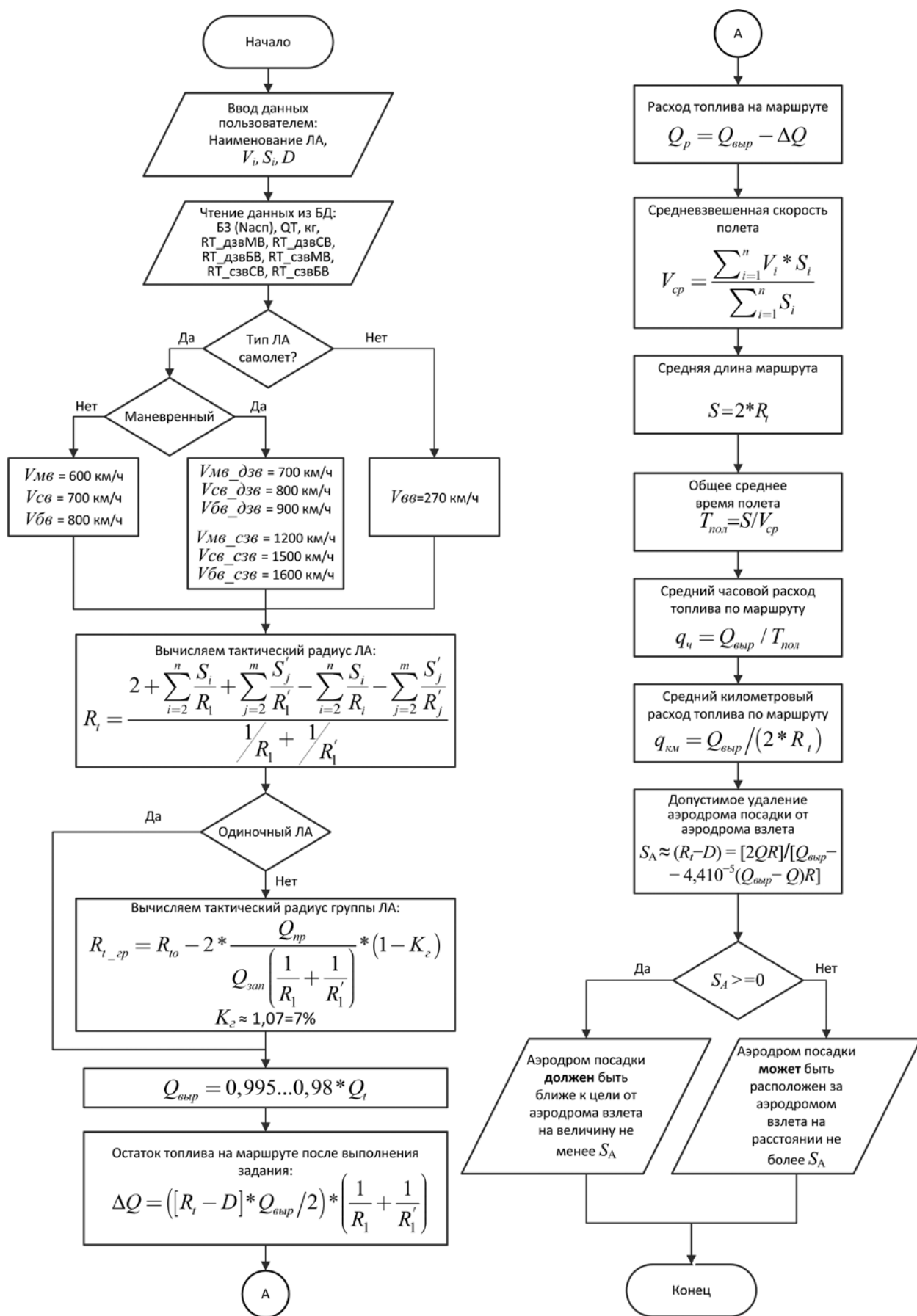


Рис. 4. Общая схема расчета рубежей досягаемости и топливо-временных характеристик

$$T_{пол} = S / V_{cp}, \quad [ч], \quad (18)$$

где V_{cp} – средневзвешенная скорость полёта ЛА, км/ч, по маршруту.

Средний часовой расход топлива по маршруту:

$$q_{ч} = Q_{выр} / T_{пол}, \quad [кг/ч]. \quad (19)$$

Средний километровый расход топлива по маршруту:

$$q_{км} = Q_{выр} / (2 * R_l), \quad [кг/км]. \quad (20)$$

На рисунке 4 представлена общая схема расчета рубежей досягаемости и топливно-временных характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика расчета рубежей досягаемости ЛА противника позволяет с относительной погрешностью до 10% оценивать возможности противника по атаке целей и может использоваться в составе БИУС надводных кораблей, береговых системах, моделирующих комплексах [11].

Данная методика также представляет интерес при оперативной и приближенной оценках возможностей своих сил при выборе боевой загрузки.

Более точные расчеты следует производить на основе руководств по летной эксплуатации и дальностей полета, при наличии такой возможности [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под ред. Е.А. Федосова. – 2-е изд., стереотип. – М. : Дрофа, 2004. — 816 с.
2. Боевое применение подразделений РТВ ВВС. Методика оценки противника командиром радиотехнического подразделения : метод. указания к прак. и групповым занятиям / Сиб. федер. ун-т ; сост. : В.А. Копылов, В.С. Кунчев, Е.В. Сомов, В.М. Бацылев. – Красноярск : СФУ, 2011. – 36 с.
3. Постнов А.А., Паньков С.Я., Забураев Ю.Е. Боевое управление авиацией : учеб. пособие. В 2 ч. / под общ. ред. В.А. Мещерякова. – Ульяновск : УВАУ ГА, 2007. – Ч. 1. – 120 с.
4. Уголок неба – авиационная энциклопедия. – URL: <http://www.airwar.ru>.
5. Якубович Н.В. Самолеты Ильюшина. Лучшие из лучших. – М. : Яуза, Эксмо, 2009.
6. Harry B. Indian Naval Aviation - Part 1. – URL: <http://www.acig.org>.
7. Сайт отечественной авиации: фотографии, реестры, новости. – URL: <http://russianplanes.net/>.
8. Котов Н.Н. Практическая аэродинамика самолета МИГ-25РБ. – М. : Военное издательство Министерства Обороны СССР, 1978.
9. Бабич В.К. Истребители меняют тактику. – М. : Воениздат, 1983. — 151 с.
10. Руководство по воздушной навигации авиации вооруженных сил Российской Федерации. – М. : Военное издательство, 1994.

11. Лещенко С.П., Бурковский С.И., Батуринский М.П. Моделирующий комплекс ведения боевых действий воздушными силами. – Харьков : Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, 2011.

REFERENCES

1. *Aviatsiia PVO Rossii i nauchno-tehnicheskii progress: boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnia, zavtra. Pod red. E.A. Fedosova. 2-e izd., stereotip.* [Air Defence Aircrafts of Russia and Scientific-Technical Progress: Combat Complexes and Systems Yesterday, Today, Tomorrow. Edited by E.A. Fedosov, the Second Edition, Reprint]. Moscow, Drofa Publ., 2004. 816 p.
2. Kopylov V.A., Kunchev V.S., Somov E.V., Batsylev V.M. *Boevoe primeneniye podrazdelenii RTV VVS. Metodika otsenki protivnika komandirov radiotekhnicheskogo podrazdeleniia: metod. ukazaniia k prakt. i gruppovym zaniatiyam* [Tactical Employment of Radio-Radar Troops of the Air Forces. Enemy Estimation Procedure by a Radio-Radar Unit Commanding Officer: Instructional Guidelines for Practical and Group Lessons]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University SFU Publ., 2011. 36 p.
3. Postnov A.A., Pankov S.Ia., Zaburaev Iu.E. *Boevoe upravleniye aviatsiei. Ucheb. posobie v 2 ch. pod obshch. red. V.A. Meshcheriakova* [Combat Control of Aircrafts. Textbook in 2 parts, under the general edition of V.A. Mesheriakov]. Ulyanovsk, UVAU GA Publ., 2007, Part 1, 120 p.
4. *Ugolok neba – aviatsionnaia entsiklopediia* [Small Section of the Sky – Aeronautical Encyclopedia]. Available at: <http://www.airwar.ru>.
5. Yakubovich N.V. *Samolety Iliushina. Luchshie iz luchshikh* [Illiushin's Aircrafts. The Best of the Best]. Moscow, Yauza, Eksmo Publ., 2009.
6. Harry B. *Indian Naval Aviation. Part 1.* Available at: <http://www.acig.org>.
7. *Sait otechestvennoi aviatsii: fotografii, reestry, novosti* [Website of National Aviation: Photos, Registers, News]. Available at: <http://russianplanes.net/>.
8. Kotov N.N. *Prakticheskaiia aerodinamika samoleta MIG-25RB* [Practical Aerodynamics of MiG-25RB Aircraft]. Moscow, Voennoe izdatelstvo Ministerstva Oborony SSSR Publ., 1978.
9. Babich V.K. *Istrebiteli meniaut taktiku* [Fighters change their Tactics]. Moscow, Voениzdat Publ., 1983. 151 p.
10. *Rukovodstvo po vozduzhnoi navigatsii aviatsii vooruzhennykh sil Rossiiskoi Federatsii* [Guidelines for Aircraft Air Navigation of the Armed Forces of the Russian Federation]. Moscow, Voennoe izdatelstvo Publ., 1994.
11. Leshchenko S.P., Burkovskii S.I., Baturinskii M.P. *Modeliruiushchii kompleks vedeniia boevykh deistvii vozduzhnymi silami* [Simulator for Fighting by Air Forces]. Kharkov, Kharkovskii universitet Vozdushnykh Sil im. I. Kozheduba Publ., 2011.