

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ВОЕННАЯ КАФЕДРА



Дисциплина «Военно-специальная подготовка»
(наименование дисциплины)

Военная специальность 530200 «Математическое и программное
(наименование специальности)
обеспечение функционирования автоматизированных систем»

Тема лекции № 6.15 «Задачи, решаемые при наведении истребителей»
(номер и наименование лекции)

Обсуждена на заседании кафедры
«__» _____ 2010 г.

Москва – 2010

Введение

Применение того или иного метода наведения зависит от конкретной ситуации в целях повышения эффективности боевого применения, поэтому рассмотрение особенностей задач, решаемых при наведении истребителей, является весьма актуальным.

Для достижения поставленных целей рассмотрим следующие вопросы:

1. Определение возможности и параметров перехвата.
2. Необходимые летно-технические характеристики истребителей.
3. Методы решения задач целераспределения и перенацеливания истребителей.
4. Методы решения задач наведения истребителей.

Данный учебный материал можно найти в следующих **источниках**:

1. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / Под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2004.
2. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004.
3. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Советское радио, 1975.

1. Определение возможности и параметров перехвата

При наведении истребителя (группы) целесообразно обеспечить минимум глубины проникновения цели на обороняемую территорию. При этом определению подлежат следующие *параметры, обеспечивающие минимум времени перехвата*:

- метод наведения;
- полусфера атаки (для метода наведения «маневр»);
- номер N программной скорости V_N ;
- номер n вида программы полета на перехват или момент включения форсажа;
- время перехвата;
- положение рубежа перехвата.

Если наведение оказывается невозможным из-за нахождения цели вне зоны боевого применения истребителя по высоте или скорости ее полета, а также недостаточности запаса топлива или скорости полета истребителя, то причина невозможности должна быть установлена. В последнем случае подкоренные выражения (3), (7) из предыдущей лекции оказываются отрицательными числами:

$$P_{II.II} = \frac{a_B}{1-a_B^2} [-a_B \bar{P} + \sqrt{\bar{P}^2 + (1-a_B^2)B_{II}^2}] + a_B \Delta S_{na}, \quad (1)$$

где $\bar{P} = P_{II} - a_B \Delta S_{na}$;

$$P_{II.M} = \frac{a_B}{1-a_B^2} [-a_B P + \sqrt{P^2 + (1-a_B^2)B^2}] + a_B \Delta S_{naR}, \quad (2)$$

где $P = P_{II} + l_P - a_B \Delta S_{naR}$; $B = B_{II} + l_B$.

Кроме того, может оказаться, что рубеж перехвата находится в области, ограниченной кривой $n=0$ (рис. 1 (рис. 2 лекции 6.13)), что потребует перехода к методу «маневр» для увеличения времени и пути перехвата и обеспечения равенства $t_{II} = t_P = t_{naR}^*$, поскольку иначе истребитель не успеет к моменту начала атаки набрать необходимые для ее успешного выполнения значения H_a и V_a .

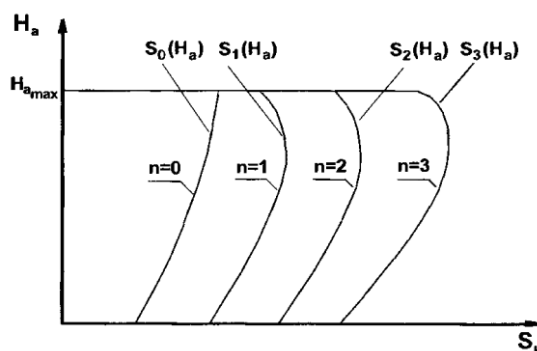


Рис. 1. Области применения различных видов программы полета для $V_N = \text{const}$

Назначение метода наведения и полусферы атаки. При некоординируемом наведении истребителей с ЗВА, близкими к круговым, следует назначать метод «перехват», а для истребителей устаревших типов, способных, как правило, атаковать цели лишь из их задней полусферы, – метод «маневр».

Назначение программной скорости. При наведении методом «перехват» назначается наименьшее из значений V_N , удовлетворяющее неравенству $a_{ПС}V_N \geq V_{ц}$, где $a_{ПС}$ – некоторая константа, близкая, но несколько большая единицы (при $a_{ПС} \gg 1$ маневр цели может привести к срыву перехвата из-за недостатка скорости истребителя). При этом должно быть выполнено условие $H_{цmin}(N) \leq H_{ц} \leq H_{цmax}(N)$, причем минимальная и максимальная для данного типа истребителя высоты перехватываемой цели зависят от программной скорости.

При наведении методом «маневр» назначается минимальное значение V_N , обеспечивающее возможность перехвата цели по скорости (с некоторым запасом) и высоте ее полета.

Назначение вида программ. Несмотря на выбор наиболее экономного по расходу топлива значения V_N при чисто форсажном полете на перехват ($n=1$), топлива для его выполнения и привода на аэродром посадки может оказаться недостаточно. При этом для определения номера n вида программы можно вначале для каждого значения n , N и $H_{ц}$ рассчитать и затабулировать радиусы действия истребителя и соответствующие им времена полета, что позволяет определить для каждого n потребные дальности обнаружения цели, сравнение которых с фактическим положением цели позволит задать значение n . Однако для современных возможностей компьютеров целесообразно воспользоваться методом, изложенным далее.

Определение времени и рубежа перехвата. Невозможность перехвата по запасу топлива при $n=1$ сильно осложняет решение задачи, поскольку при этом для обеспечения минимума времени перехвата приходится использовать уравнение топливного баланса, что приводит к необходимости решения уравнения четвертой степени. Этого можно избежать, если применить метод, суть которого сводится к следующему.

Положим $n = 2$ и по (1) или (2) рассчитаем опорное значение $\Pi_n = \Pi_n^0$ и значение топлива, потребного для выполнения перехвата и привода. Если это значение больше располагаемого запаса, то для экономии топлива форсаж следует включать не в момент выхода истребителя на $H = H_{кр}$, а несколько позже. В обратном случае форсаж следует включать раньше, т. е. в процессе выполнения истребителем участка первого набора высоты (рис. 2 (рис. 4 лекции 6.13)).

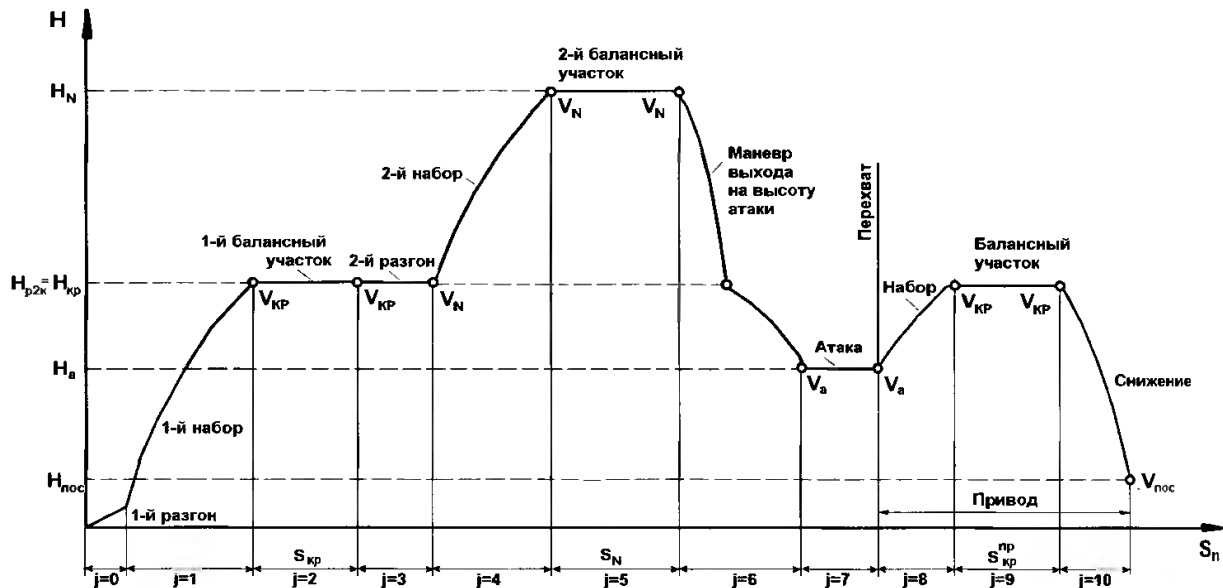


Рис. 2. Типовые участки полета на перехват и привод

Для определения конкретного оптимального момента включения форсажа, при котором все топливо, располагаемое для перехвата и привода (с учетом необходимых резервов), будет использовано, что обеспечит минимум времени перехвата, следует значение путей наведения и привода, соответствующих искомому положению рубежа перехвата, выразить через значения этих путей для опорного положения рубежа перехвата (рис. 3).

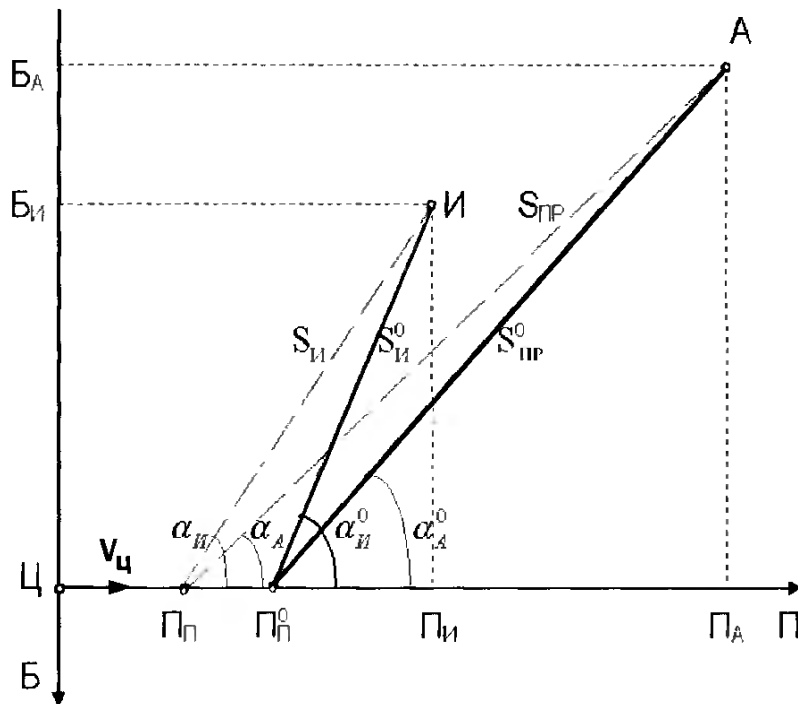


Рис. 3. Опорное (-----) и искомое (- - - - -) решения задачи наведения
Из этого рисунка следует, что

$$S_{II} = S_{II}^0 - (П_{II} - П_{II}^0) \frac{\cos \alpha_{II}^{CP}}{\cos \Delta \alpha} \approx S_{II}^0 - (П_{II} - П_{II}^0) \cos \alpha_{II}^{CP},$$

где $\Delta \alpha = \alpha_{II} - \alpha_{II}^{CP} = (\alpha_{II} - \alpha_{II}^0)/2$, $\cos \Delta \alpha \approx 1$, $\alpha_{II}^{CP} = \frac{1}{2}(\alpha_{II}^0 + \alpha_{II})$.

Аналогичная формула имеет место и для пути привода S_{np} .

Поскольку значение a_u является величиной искомой, расчет путей требует выполнения итераций. Однако их число не превышает двух, а при $a_u < 45^\circ$ можно приближенно полагать $\cos \alpha_{II}^{CP} = \cos \alpha_{II}^0$.

Использование этого приема, а также линеаризация зависимости времени первого и второго наборов от высоты, которая мало влияет на точность расчета $П_{II}$, позволяют полученный дисбаланс топлива ΔG^0 пересчитать в изменение времени перехвата $\Delta \tau$, определить времена полета теперь уже на двух балансных участках τ_{KP} и τ_N и найти искомое оптимальное положение рубежа перехвата по формуле

$$П_{II} = П_{II}^0 + V_u \Delta \tau.$$

Если при этом оказывается, что все располагаемое топливо использовать невозможно, то это означает, что n должно быть равно 1. Если же располагаемый запас топлива не обеспечивает возможность достижения истребителем необходимых значений H_a или даже V_N , то это означает невозможность перехвата по топливу.

В настоящее время рассмотренный метод решения штурманской задачи вполне может быть реализован на борту истребителя и использован при выполнении режима бортового наведения.

Таким образом, при наведении истребителя (группы) для обеспечения минимума времени перехвата необходимо определить метод наведения, полусферу атаки (для метода наведения «маневр»), номер N программной скорости V_N , номер n вида программы полета на перехват или момент включения форсажа, время перехвата и положение рубежа перехвата.

2. Необходимые летно-технические характеристики истребителей

Для решения рассмотренной выше задачи расчета рубежа необходимо знание следующих групп характеристик истребителей и их вооружения:

программные скорости V_N , граничные высоты и скорости полета перехватываемых целей;

время, путь и расход топлива на всех участках наведения и привода, приведенных на рис. 2;

высота и скорость полета, а также километровые (или секундные) расходы топлива на всех балансных участках полета;

характеристики системы вооружения истребителя, включая зависимость высоты атаки от H_u ;

дрессельные расходы топлива в зависимости от H_a при $V = V_N$;

начальный запас топлива и его резервы на парирование маневров цели, посадку в сложных условиях и т.п.;

рекомендуемые значения $d, R_l, R_0, l_K, \bar{\psi}_K$;

пассивное время для разных степеней готовности и различного численного состава группы истребителей.

Расчет характеристик j -х участков полета может быть выполнен путем численного интегрирования по следующим формулам:

$$t_j = \int_{H_j(j-1)}^{H_j} \frac{dH_{\Sigma}}{V n_x}; S_j = \int_{H_j(j-1)}^{H_j} \frac{dH_{\Sigma}}{n_x}; G_j = \int_{H_j(j-1)}^{H_j} q_{KM} \frac{dH_{\Sigma}}{n_x},$$

где $H_{\Sigma} = H + \frac{V^2}{2g}$; q_{KM} — километровый расход топлива; n_x — продольная перегрузка.

Если полярю самолета, т. е. зависимость коэффициента сопротивления самолета C_x от коэффициента подъемной силы C_y , считать квадратичной параболой $C_x = C_{x0} + AC_y^2$, что обычно имеет место (по крайней мере для используемых в рассматриваемой задаче значений C_y), то выражение для расчета n_x можно записать в следующем виде:

$$n_x = \frac{P - Q}{G_c} = \frac{C_{\Delta P}}{C_{Y1}} - AC_{Y1} n_Y^2,$$

где P, Q, G_c — тяга двигателя, сопротивление и масса самолета, $C_{\Delta P} = C_p - C_{x0}$ — коэффициент избытка тяги над безындуктивным сопротивлением; $C_{Y1} = G_c 0,7 S_{KP} p M^2$ — коэффициент подъемной силы при нормальной перегрузке $n_Y = Y/G_c = 1$ (здесь Y — подъемная сила); S_{KP} — площадь крыла самолета; p — давление воздуха на высоте полета в кг/м^2 .

Для упрощения расчетов эту формулу можно записать в следующем виде:

$$n_x = \frac{\bar{p}}{\bar{G}} \bar{n}_0 - \frac{\bar{G}}{\bar{p}} \bar{n}_1 n_Y^2, \quad (1)$$

где $p = \frac{p_H}{p_{H=0}}$; $\bar{G} = \frac{G_c}{G_{c,CT}}$; $\bar{n}_0 = C_{\Delta P} / \bar{C}_{Y1} = f(M)$ (при $H \geq 11$ км);

$\bar{C}_{Y1} = \frac{\bar{p}}{\bar{G}} C_{Y1} = \frac{G_{c,CT}}{0,7 S_{KP} p_{H=0} M^2}$; $\bar{n}_1 = A \bar{C}_{Y1} = F(M)$; $G_{c,CT}$ — некоторое значение массы самолета, принятое за стандартное.

При $H < 11$ км, в отличие от $H \geq 11$ км, стандартная температура воздуха уже не остается постоянной. Поэтому \bar{n}_0 оказывается зависящим и от H . Аналогично при $H \geq 11$ км $q_{KM} = q_{KM H=11} p_H / p_{H=11}$, где $q_{KM H=11} = F(M)$, а при $H < 11$ км $q_{KM} = F(M, H)$.

Формулой (1) особенно удобно пользоваться при $H \geq 11$ км, т. е. на высотах, где выполняется большое число участков полета на перехват. Однако для этого необходимо иметь зависимости $C_{\Delta P}(M)$ и $A(M)$, полученные по данным летных испытаний истребителя и результатам продувок в аэродинамических трубах.

Если эти зависимости имеются, то характеристики наборов высоты при $V=const$ могут быть рассчитаны и аналитически.

Таким образом, для решения задачи расчета рубежа необходимо подробное знание характеристик истребителей и их вооружения.

3. Методы решения задач целераспределения и перенацеливания истребителей

Основная задача истребителей-перехватчиков – оборона объекта или объектов на охраняемой территории от ударов средств воздушного нападения, причем для ИА, в отличие от ЗРК, типична оборона именно многих объектов. Естественным мерилom качества целераспределения (ЦР) является оценка величины предотвращенного ущерба, т. е. разности между ущербом, наносимым противником обороняемым объектам при отсутствии противодействия истребителей и при наличии такового. Однако практическое использование этого критерия невозможно как в силу его нелинейности и стохастичности (методы решения таких задач еще только разрабатываются), так и вследствие того, что достоверность определения входящих в него величин весьма низкая, в основном из-за неизвестности намерений противника.

Поэтому в качестве критерия эффективности ЦР обычно используется математическое ожидание относительного числа пораженных целей. Однако для ИА применение этого критерия рационально лишь при обороне конкретного объекта (например, ордера кораблей), да и то если известна дальность действия оружия средств воздушного нападения (СВН).

Действительно, основной задачей средств обороны является защита объектов обороны, а не уничтожение СВН. При обороне конкретного объекта и известной дальности D_p пуска ракет с СВН поражение целей на любых дальностях, превышающих D_p , обеспечивает выполнение основной задачи. Однако при обороне многих объектов и отсутствии информации, по каким из них будут действовать средства противника, важно не только поразить цель, но и сделать это до того, как она выполнит свою боевую задачу. Так как эта задача неизвестна, то сделать это желательно как можно раньше, т. е. при минимальном проникновении цели на обороняемую территорию. Поэтому эффективность назначаемого воздействия целесообразно оценивать вероятностью его боевого успеха

$$W_{BY} = p_n(1 - p_u), \quad (2)$$

где p_n – вероятность перехвата цели; p_u – вероятность того, что цель выполнит свою задачу до ее перехвата.

В такой постановке задача целераспределения может быть, в принципе, решена методами математического программирования, т. е. путем решения матрицы ЦР размерностью $i \times j$, где i и j – число целей и истребителей, участвующих в данном акте ЦР, обеспечивающего максимум математического ожидания W_{BY} , по всем воздействиям. Однако применение этих методов нецелесообразно по следующим причинам (не говоря уже об их сложности).

Во-первых, эффективность матричного целераспределения по сравнению с методом последовательного назначения воздействий тем выше, чем большее число объектов подлежит распределению. Однако цели в зону их обнаружения, как правило, поступают не одновременно, а последовательно. Поэтому задержка в решении задачи ЦР для накопления достаточного числа новых целей приведет к увеличению глубины их проникновения, т. е. к снижению $W_{БУ}$.

Во-вторых, в силу указанных причин, а также благодаря априорной неопределенности общего количества целей, которые будут участвовать в налете, уровень точности решения задачи ЦР не может быть высоким. Следовательно, согласно принципу «равнопрочности» применение точных методов решения задачи, сформулированной приближенно, не приведет к сколько-нибудь существенному увеличению точности ее решения.

Поэтому при одиночном целераспределении целесообразно использование менее трудоемкого *метода последовательного назначения воздействий*, а при групповом целераспределении, когда на одну групповую цель одновременно назначается для действия на одном рубеже несколько истребителей (групп), - следует применять *эвристический метод ЦР*.

Основной причиной снижения эффективности *метода последовательного назначения воздействий* при отражении интенсивных налетов является возможность нерационального использования истребителей, выделенных для отражения данного эшелона налета. Такая ситуация может возникнуть из-за того, что для первых воздействий будут назначены наиболее эффективные истребители, хотя эти цели могли быть обслужены и более слабыми истребителями, не способными перехватить оставшиеся цели, которые смогут оказаться вообще не обслуженными. Этого недостатка можно избежать, если назначать воздействия по целям в порядке их важности. Однако истинная важность цели обороняющейся стороне не известна, поскольку не известны задачи, стоящие перед противником, возможности его оружия, а в ряде случаев даже и типы целей. Поэтому по информации, которой располагает ПВО, можно оценить лишь вероятность того, что данная цель является важной для данного истребительного авиационного полка (иап), и в соответствии со значением этой вероятности, которую целесообразно называть коэффициентом приоритета обслуживания (КПО) целей, осуществлять последовательное назначение воздействий истребителей (групп).

Информация, которой располагает управляющий КП, позволяет оценить:

θ_1 – вероятность того, что данная трасса соответствует действительной цели;

θ_2 – вероятность того, что к моменту выхода в атаку данная цель не будет уничтожена другими средствами ПВО;

θ_3 – вероятность того, что цель является важной по величине подлетного времени к зоне ответственности иап;

θ_4 – вероятность того, что цель будет действовать по объектам в зоне ответственности иап;

θ_5 – вероятность того, что цель будет находиться в приоритетном для данного полка секторе отражения налета.

Поскольку факторы, влияющие на величину коэффициента приоритета обслуживания (т. е. вероятности θ_i), можно считать независимыми друг от друга,

$$КПО = \prod_{i=1}^5 \theta_i.$$

Вероятности θ_i для каждой цели периодически рассчитываются по данным, которыми располагает управляющий КП, с обеспечением возможности корректировки боевым расчетом параметров в формулах для вычисления θ_i .

Описанная процедура позволяет организовать рациональный порядок обслуживания целей, который сводит задачу целераспределения к задаче выявления наилучшего истребителя для обслуживания данной цели. Для более быстрого ее решения целесообразно *располагаемые для воздействий истребители* разделить на четыре группы:

- 1) свободные истребители (наряды), находящиеся в воздухе в зонах барражирования или освобожденные от ранее поставленной задачи по причине невозможности или нецелесообразности ее выполнения;
- 2) истребители различных типов, находящиеся в готовности №1 на разных аэродромах части;
- 3) назначенные ранее истребители (наряды), которые в данный момент наводятся на цели;
- 4) истребители наиболее эффективного типа, находящиеся в готовности №1 в условном резерве.

Проверку возможности перехвата и его параметров методами, изложенными выше, и оценку эффективности данного воздействия следует начинать с истребителей первой группы, поскольку каждая минута промедления с назначением уменьшает их возможности по запасу топлива.

Если W_{BY} лучшего истребителя (наряда) этой группы окажется больше некоторой константы W_i , то он и назначается.

В ином случае оцениваются возможности истребителей второй группы. Если для лучшего из них оказывается $W_{BY} > W_2 = const > W_i$, то он и назначается.

Если же нет, то проверяется целесообразность перенацеливания истребителя третьей группы. Оно осуществляется, если при действии по новой цели обеспечивается выполнение следующих неравенств:

$$t_{HCT} \geq const; (КПО_{НОВ} - КПО_{СТ}) \geq \Delta K = const; W_{BY} > W_3 \geq W_2,$$

где t_{HCT} — время, остающееся до завершения наведения по старой цели.

Если эти условия не выполняются, то назначается истребитель (наряд) из первой или второй группы, имеющий максимальное значение

$$W_{BY} > W_4 = const < W_3 = const.$$

Если же, наконец, оказывается, что ни один истребитель из этих трех групп перехватить данную цель не может, то назначается лучший из истребителей четвертой группы. Это обеспечивает экономное расходование наиболее эффективных истребителей.

Расчет W_{BY} следует производить по формуле (2), которая в раскрытом виде имеет вид

$$W_{BY} = p_A p_H p_T (1 - p_{Ц}),$$

где p_A – вероятность успешной атаки, т. е. поражения цели истребителем, выведенным в ее ЗВА; p_H – вероятность успешного наведения, т. е. вероятность вывода истребителя в ЗВА цели при условии, что у истребителя хватит топлива на это и на привод на заданный аэродром посадки; p_T – вероятность того, что запас топлива окажется достаточным, даже если цель в процессе наведения выполнит маневр.

Вероятность p_A зависит от многих факторов, из которых основными являются тип истребителя и тип ракет, высота и скорость полета цели. Приблизительно можно полагать, что на большей части допустимого по $H_{ц}$ и $V_{ц}$ диапазона p_A является функцией только от типа истребителя и его ракет (эта вероятность заведомо зависит от типа и возможностей цели по противодействию атаке истребителя, но эти возможности, а в большинстве случаев и тип цели при назначении воздействия не известны), а на краях этих диапазонов зависимости $p_A(H_{ц})$ и $p_A(V_{ц})$ можно аппроксимировать линейными функциями.

Вероятность p_H для современных истребителей с ЗВА, близкими к круговым, зависит не столько от эффективности самого процесса наведения, вероятность которого близка к единице, сколько от качества процессов сопровождения целей радиолокационным полем, приема истребителей на управление, от их перенацеливания в случае необходимости и т.п., т. е. от факторов, степень влияния которых на p_H может быть оценена лишь на основании результатов натурных испытаний соответствующих систем, либо проведения статистического моделирования. Для истребителей с ограниченными ЗВА на значение p_H оказывает влияние также вероятность собственно наведения, существенно отличная от единицы. В итоге значение p_H , определенное по результатам Государственных испытаний одной из систем ПВО как отношение числа успешных наведений к их общему числу, применительно к истребителю-перехватчику Су-9 оказалось равным примерно 0,6.

Для того чтобы возможный маневр цели не привел к срыву перехвата, при назначении воздействия резервируется некоторый запас топлива. При B_H , близком к нулю, т. е. при малых «пролетах» цели относительно назначаемого истребителя, это при небольших углах отворота обеспечит возможность перехвата цели, совершившей маневр. Однако по мере увеличения B_H , несмотря на расширение сектора парируемых маневров цели «на истребитель», значение p_T уменьшается из-за сужения сектора парируемых маневров «от истребителя». Поскольку при $B_H = r$, где r – радиус действия истребителя при данном режиме его полета, любой маневр цели от истребителя приведет к срыву перехвата, а вероятность такого маневра можно полагать 0,5, приближенно запишем

$$p_T = 1 - \frac{1}{2} \frac{|E_H|}{\rho}.$$

Вероятность p_u не может быть достоверно определена, так как намерения цели заранее не известны. Однако хотя бы интуитивная информация о намерениях противника у боевого расчета всегда есть, и ее целесообразно использовать. Для этого зависимость $p_u(X_n)$, где X_n – проекция координат точки встречи на ось X , направленную из центра зоны ответственности иап навстречу вектору скорости цели, рационально представить в виде, изображенном на рис. 4.

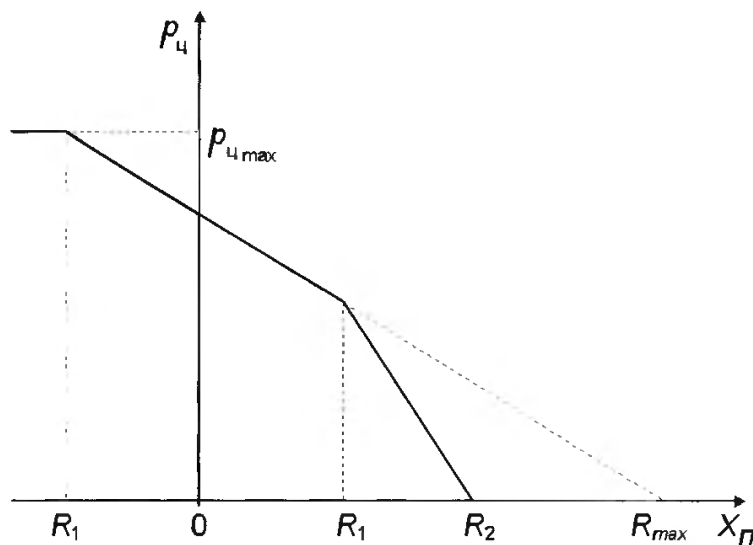


Рис. 4. Зависимость p_u от положения рубежа перехвата

На этом рисунке $p_{u\max}$ – вероятность того, что цели будут действовать по объектам, охраняемым частью; R_1 – радиус окружности зоны ответственности части; R_2 – радиус окружности зоны «предполя», т. е. зоны обороны, в которой желательно и возможно по балансу времени при данной протяженности радиолокационного поля организовать перехват целей; R_{\max} – некоторая константа, по величине близкая к среднему значению радиуса действия лучшего по этой характеристике типа истребителя данной части.

Рациональные для иап значения этих параметров, а также параметров формул для расчета коэффициента приоритета обслуживания целесообразно хранить в памяти ЦВМ АСУ с обеспечением возможности корректировки их значений боевым расчетом части в соответствии с замыслом командира по отражению данного налета.

Решение задач целераспределения и перенацеливания может быть как полностью автоматическим, так и полуавтоматическим (когда боевой расчет задает либо цель, либо истребитель) или «ручным». В последнем случае и цель и истребитель задает боевой расчет, а автоматически определяются параметры

наведения (та или иная часть из них также может быть задана вручную) и рубеж перехвата.

При задании расчетом цели логика поиска лучшего истребителя ничем не отличается от описанного выше автоматического режима. Если же задан истребитель, то реализуется логика работы перенацеливания. При этом цели — кандидаты на перенацеливание истребителя — просматриваются в порядке их приоритета обслуживания, и назначается та цель, для которой обеспечивается максимум произведения коэффициента приоритета на $W_{БУ}$. Если вычислительные возможности ЦВМ АСУ ограничены, то перебор целей можно ограничить выполнением условия $W_{БУ} \geq W_{ннц}$, где $W_{ннц}$ — некоторая константа.

Таким образом, решение задач целераспределения и перенацеливания истребителей позволяет организовать рациональный порядок обслуживания целей, который сводится к задаче выявления наилучшего истребителя для обслуживания данной цели.

4. Методы решения задач наведения истребителей

Способы наведения истребителей. Как уже говорилось, команды наведения, определяющие траекторию и профиль полета истребителя (ведущего группы истребителей), могут формироваться либо на наземном или воздушном КП или ПН (*способ командного наведения*), либо на борту самого истребителя (*способ бортового наведения*) по координатам и параметрам движения цели, передаваемым с наземного (воздушного) КП. Следует подчеркнуть, что в настоящее время имеется техническая возможность реализации на борту истребителя наиболее совершенных алгоритмов наведения. На этапе выхода истребителя в атаку при командном наведении помимо команд управления на борт выдаются команда на включение БРЛС и команды целеуказания.

При действии в одном канале наведения группы истребителей по групповой цели на борт командира группы еще до момента включения истребителями своих БРЛС целесообразно выдать информацию об относительных координатах (относительно головного самолета групповой цели) самолетов, образующих групповую цель, естественно, если такая информация имеется. Это поможет командиру группы определить рациональные моменты включения БРЛС истребителей и после получения от ведомых информации о самолетах противника отождествить, обобщить ее и определить конкретные цели для атаки каждым истребителем. При этом определение типа ракет и моментов их пуска остается за каждым истребителем. Поскольку эти сложные задачи должны быть решены в течение нескольких десятков секунд, ибо атаки, как правило, будут выполняться на встречнопересекающихся курсах, степень автоматизации их решения должна быть весьма высокой.

Если наземный КП располагает только информацией оповещения о налете, то она может быть передана командиру поисково-ударной группы истребителей для организации им полуавтономных действий.

Как и при решении задачи целераспределения, в основе наведения лежит рассмотренная выше штурманская задача. Процесс наведения, по существу, представляет собой серию последовательных решений штурманской задачи в упрощенном варианте, при котором не требуется определять номер программной скорости N и момент включения форсажа, поскольку в случае отсутствия маневра цели значение N остается неизменным, а время, остающееся до момента включения форсажа, уменьшается с ростом астрономического времени.

В настоящее время команды истребителю вырабатываются в результате решения задачи наведения с некоторым темпом (5...20 с). Однако, если истребитель достаточно точно выдерживает заданную этими командами траекторию полета и цель не маневрирует, их можно формировать и передавать на борт в соответствии с этой траекторией, не повторяя решение задачи наведения. Но для этого надо быть уверенным, что цель не сманеврировала, а истребитель не отклонился от расчетной траектории. Маневр цели выявляется на радиолокационном узле, сопровождающем цель, но может быть выявлен и на ПН или на борту истребителя, а для определения отклонения истребителя от расчетной траектории следует с темпом выдачи команд осуществлять сравнение текущих координат истребителя, получаемых от РЛ узла или определяемых на борту, с расчетными их значениями, соответствующими строгому выдерживанию расчетной траектории наведения. Лишь в случае выявления маневра цели или отклонения истребителя от расчетной траектории задача наведения решается вновь и траектория наведения корректируется. Этот способ, называемый *траекторным способом наведения*, позволяет уменьшить машинное время, потребное на обеспечение наведения, а главное, упростить пилотирование истребителя, поскольку в большинстве команд на борт будет поступать одно и то же значение курса.

При поиске новых целей может быть использован способ проводки истребителя по заданному маршруту, т. е. *способ маршрутного управления*. Если бортовое оборудование истребителя позволяет его осуществлять автономно, то задачей наземного или воздушного КП является лишь выдача на борт координат характерных точек маршрута и дополнительной информации, связанной с этими точками (высота, скорость полета, признак включения БРЛС и т. п.). В обратном случае соответствующие курсовые команды и дополнительная информация выдаются на борт с наземного или воздушного КП. При этом курс на новую поворотную точку маршрута следует выдавать лишь после вхождения истребителя в малый строб предыдущей маршрутной точки, а для того чтобы истребитель попал в этот строб, необходимо при его вхождении в большой строб этой точки выдавать на борт корректирующую курсовую команду.

Привод истребителя на заданный аэродром посадки осуществляется после завершения им выполнения поставленной задачи (при условии, что ему не ставится новая задача) либо при появлении срочной необходимости совершить посадку. Привод истребителя может осуществляться либо в зону действия радиотехнических средств аэродрома, либо путем выведения его на курс посадки и посадочную глиссаду. Если путь привода $S_{пр}$ больше пути $S_{сн}$, потребного для выведения истребителя на $H_{нос}$, $V_{нос}$, то профиль его полета при $H_a \geq H_{кр}$ включает участок торможения и снижения с H_a, V_a до $H_{кр}, V_{кр}$, балансный участок полета на этой высоте и скорости и участок заключительного снижения на $H_{нос}$, $V_{нос}$ (рис. 2). При $H_a < H_{кр}$ вместо первого снижения осуществляется при $V = V_{кр}$ бесфорсажный набор $H = H_{кр}$. Если же $S_{пр}$ оказывается меньше $S_{сн}$, то это требует удлинения пути привода, осуществляемого путем введения участка полета соответствующей длины, выполняемого с посадочным курсом, лишь по завершении которого истребитель достигает $H_{нос}$, $V_{нос}$ и выходит на посадочную глиссаду.

Особенности решения задачи методом «маневр» на этапе ближнего наведения. Ранее было показано, что при периодическом формировании команд в результате решения задачи на этапе ближнего наведения, т. е. при подходе к основному развороту и в процессе его выполнения, из-за наличия радиолокационных ошибок, не говоря уже о возможном маневре цели, формируемое значение курсовой команды от решения к решению сильно изменяется. Борьба с этим явлением обычно осуществляется реализацией того или иного способа регулирования значений параметров наведения R_0, l_K, Ψ_K .

Использование траекторного способа наведения при отсутствии маневров цели позволяет отказаться от повторного решения задачи наведения (и, следовательно, от необходимости регулирования его параметров) и на этапе ближнего наведения, что кардинально упрощает решение и, главное, пилотирование истребителя, так как основной разворот при этом выполняется при постоянном значении R_0 , а следовательно, и крена.

Однако выполнение целью, не обладающей информацией о воздушной обстановке, маневра на рассматриваемом этапе наведения хотя и мало вероятно, поскольку цель получает информацию об атаке ее истребителем лишь после включения им БРЛС, но возможно. Тем не менее и в этом случае можно отказаться от регулирования параметров наведения методом «маневр» даже в наиболее тяжелом случае маневра цели на истребитель. Для этого после обнаружения начала маневра следует однократно решить задачу наведения заново при минимальном значении R_0 для некоторого ожидаемого нового конечного значения курса цели и повторно решить задачу после выявления окончания маневра цели по фактическому новому значению ее курса.

Рациональность такого метода реакции на маневр цели «на истребитель» на этапе ближнего наведения обусловлена тем, что оптимальная траектория наведения на цель, выполняющую маневр, определяется не текущими значениями ее курса, по которым с темпом выдачи команд на борт решается задача наведения обычными методами, а неизвестным заранее конечным значением ее

курса. Поэтому вместо отслеживания текущего значения ее курса, что, несмотря на регулирование параметров наведения, приводит к изменению значения крена вплоть до перемены его знака, лучше сформировать траекторию наведения, соответствующую некоторому наиболее вероятному для плановых (противосистемных) маневров конечному значению курса цели, а затем скорректировать траекторию наведения в соответствии с фактическим значением нового курса цели после завершения ее маневра. Для того чтобы цель не обнаружила атаку и не начала непрерывно маневрировать, важно не выдавать команду на включение БРЛС вплоть до выведения истребителя в ЗВА.

Команды наведения делятся на непрерывные (обновляемые в каждом цикле передачи команд) и разовые, определяющие необходимость смены этапа наведения. К *непрерывным командам* относятся:

курс истребителя $\Psi_{зад}^{ACU}$;

значение балансной скорости, до которой истребитель должен разогнаться или которую следует сохранять вплоть до получения нового значения этой скорости (до момента выдачи команды на включение форсажа передается крейсерская скорость, одновременно с выдачей команды «Форсаж» – программная скорость V_N , по команде «Вертикаль» – скорость выполнения атаки V_a , обычно равная V_N , по команде «Привод» – крейсерская скорость $V_{кр}$, по команде «Снижение» – скорость захода на посадку V_{noc});

команды с новыми радиоданными при необходимости передачи наведения на другой командный пункт (пункт наведения);

высота полета цели, которая может быть либо постоянной, либо – при маневрировании цели по высоте — переменной (одновременно с выдачей команды на привод вместо $H_{ц}$ на борт начинает выдаваться значение крейсерской высоты полета при возвращении $H_{кр}$, которое в расчетный момент начала выполнения истребителем снижения с $H_{кр}$ на высоту захода на посадку заменяется на H_{noc});

команды целеуказания БРЛС (при атаке групповой цели помимо целеуказания по головной цели желательно выдавать координаты самолетов, входящих в группу, относительно головного самолета группы);

координаты, курс и скорость цели в случае осуществления по ней бортового наведения или бортового поиска;

команды тактической обстановки, т. е. координаты, курсы и скорости самолетов (групп самолетов) противника, которые могут обстрелять наводимый истребитель (наряд), и своих взаимодействующих истребителей.

Разовыми являются следующие команды:

на включение форсажа – «Форсаж» (Ф);

на выполнение маневра выхода на высоту атаки – «Вертикаль» (В);

для информации летчика о перенацеливании истребителя – «Перенацеливание»;

для информации летчика о начале и направлении разворота – «Разворот»;

для информации летчика о начале привода на аэродром посадки – «Привод»;

при приводе с высоты $H_{кр}$ на $H_{пос}$ – «Снижение».

Особенно важно обеспечить правильное выполнение разовых команд, так как они определяют режим полета истребителя не только в данный момент, но и на всем данном этапе наведения. Поэтому такие команды выдаются непрерывно, т. е. в каждом цикле передачи выдается одно и то же значение в течение всего данного этапа.

С борта истребителя на пункт управления может передаваться информация о его государственной принадлежности или его индивидуальном номере, об остатке топлива и боекомплекта, о текущей высоте полета, а для некоторых типов истребителей – и о координатах и параметрах движения самолетов (с признаком «свой – чужой»), обнаруженных их БРЛС.

Таким образом, методы реализации каждого из элементов наведения истребителей зависят от участка полета и конкретной ситуации.

Заключение

1. При наведении истребителя (группы) для обеспечения минимума времени перехвата необходимо определить метод наведения, полусферу атаки (для метода наведения «маневр»), номер N программной скорости V_N , номер n вида программы полета на перехват или момент включения форсажа, время перехвата и положение рубежа перехвата.

2. Для решения задачи расчета рубежа необходимо подробное знание характеристик истребителей и их вооружения.

3. Решение задач целераспределения и перенацеливания истребителей позволяет организовать рациональный порядок обслуживания целей, который сводится к задаче выявления наилучшего истребителя для обслуживания данной цели.

4. Методы реализации каждого из элементов наведения истребителей зависят от участка полета и конкретной ситуации.

На самоподготовке необходимо подготовиться к контрольной работе по следующим вопросам:

1. Определение параметров, обеспечивающих минимум времени перехвата.

2. Назначение метода наведения, полусферы атаки, программной скорости и вида программ.

3. Определение времени и рубежа перехвата.

4. Необходимые летно-технические характеристики истребителей.

5. Решение задачи целераспределения.

6. Метод последовательного назначения воздействий.

7. Процедура выявления наилучшего истребителя для обслуживания данной цели.

8. Способы наведения истребителей.

9. Особенности решения задачи методом «маневр» на этапе ближнего наведения.

10. Команды наведения.