

Принципы формирования бортовой системы информационно-интеллектуальной поддержки летчика

© М.В. Желонкин

ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», г. Жуковский, Московская область, 140180, Россия
Московский авиационный институт, Москва, 125993, Россия

Опыт эксплуатации современных высокоманевренных самолетов, обладающих режимом сверхманевренности, показывает, что применение данного режима при решении целевых задач без поддержки летчика оказывается малоэффективным. Следует также отметить то обстоятельство, что в условиях современного быстротечного воздушного боя летчику достаточно сложно определить необходимость и своевременность использования режима сверхманевренности. В статье в качестве целевой задачи рассмотрен маневренный воздушный бой и представлены принципы формирования бортовой системы информационно-интеллектуальной поддержки летчика. Приведены результаты исследований, выполненных на комплексе моделирования воздушного боя ЦАГИ, по отработке принципов формирования бортовой системы информационно-интеллектуальной поддержки летчика. Рассмотрены задачи, которые должна решать данная система, и представлены возможные варианты реализации системы в бортовом комплексе современных истребителей.

Ключевые слова: *сверхманевренность, ближний воздушный бой, поддержка летчика, маневр, истребитель, вероятность поражения*

Введение. Концепция сверхманевренности истребителя, сложившаяся к настоящему времени, предполагает возможность истребителя выполнять маневры в практически неограниченном диапазоне углов атаки [1], а также выполнять полет на скоростях, близких к нулевым [2]. Маневры выполняются с использованием отклоняемого вектора тяги самолета (ОВТ) [3]. Этот вектор обеспечивает возможность целенаправленного управления самолетов на малых скоростях, когда эффективность аэродинамического управления недостаточна в связи с падением скоростного напора, сохраняя при этом необходимые характеристики управляемости в продольном и боковом движении [4–6].

Применение режимов сверхманевренности предъявляет определенные требования к бортовому информационному обеспечению, системе управления и эргономическому обеспечению. Самолет при полете на больших углах атаки ориентирован относительно направления полета «непривычно» для летчика, поэтому летчик должен быть обеспечен информацией об ориентации относительно вектора скорости. В связи с быстротечностью ближнего воздушного боя (БВБ) летчик вряд ли успеет правильно оценить ситуацию и применить ре-

жим МАНЕВР. Поэтому необходима помощь, «подсказка» (например, в виде индикации на приборе) летчику о возможности эффективного выполнения режима сверхманевренности. Под эффективным выполнением этого режима понимается опережающий пуск ракеты с поражением цели и уклонение от ответного пуска ракеты противника.

Цель работы — повысить боевую эффективность самолета, обладающего режимом сверхманевренности, в БВБ с помощью бортовой системы информационно-интеллектуальной поддержки летчика (СИИПЛ).

Формирование системы информационно-интеллектуальной поддержки летчика. В целях формирования и выдачи рекомендаций в процессе ведения воздушного боя бортовая СИИПЛ на режимах сверхманевренности должна решать следующие основные задачи.

Первая задача. Анализ тактической обстановки воздушного боя и прогноз ее развития.

Вторая задача. Определение атакуемого и атакующего истребителя.

Третья задача. Формирование рекомендации по действиям относительно выбранных объектов.

Для решения первой задачи бортовая СИИПЛ должна располагать текущей информацией о положении и параметрах движения участников воздушного боя («своих» и «чужих»), выдаваемой как бортовыми, так и внешними средствами, и на основе этой информации сформировать прогноз развития ситуации. С использованием этих данных бортовая СИИПЛ решает вторую задачу по оценке наиболее уязвимого противника и рекомендует противника для «атаки» или «обороны» от него. В рамках третьей задачи определяет способ и параметры маневров и действий против выбранной цели.

При использовании режимов сверхманевренности в БВБ по существу рассматривается третья задача и лишь частично первая и вторая задачи в предположении, что эти задачи решены: цель (истребитель противника) выбрана, параметры движения цели известны с достаточной точностью, «завязка» воздушного боя произошла.

Задача бортовой СИИПЛ в этом случае заключается в следующем:

- 1) подготовка к применению режима сверхманевренности;
- 2) определение момента начала выполнения (режима сверхманевренности) и его продолжения;
- 3) выполнение действий после пуска ракеты;
- 4) выдача рекомендаций по уходу от угрозы со стороны других истребителей противника.

В соответствии со сложившейся ситуацией в БВБ в рамках решения третьей задачи бортовая СИИПЛ вырабатывает рекомендации по

предварительному снижению скорости полета до значений, при которых режим сверхманевренности может быть выполнен. После выполнения этих рекомендаций при совпадении параметров относительного движения противников с областью эффективного применения режимов сверхманевренности [7] бортовая СИИПЛ выдает сигнал на выполнение этого режима и атаку цели.

В условиях БВБ режим сверхманевренности может быть применен в определенном диапазоне высот H и скоростей V :

$$\begin{aligned} H &\geq H_{\min}; \\ V_{\text{пр}} &\leq V_{\text{пр max}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Минимальное значение высоты определяется безопасностью полета, так как восстановление потери скорости после выполнения режима сверхманевренности происходит, как правило, при движении по нисходящей. Максимальное значение скорости начала выполнения режима сверхманевренности определяется максимальным значением эксплуатационной перегрузки и эффективностью сопла.

Тактическая ситуация, благоприятная для применения режима МАНЕВР и выхода в прицельные условия, характерна для боя на встречных курсах [8].

Условия применения режима МАНЕВР:

$$\begin{aligned} \dot{D} &< 0; \\ D_{\min} &< D(t) \leq D_{\max}; \\ \varphi_{\min} &< \varphi(t) \leq \varphi_{\max}, \end{aligned} \quad (2)$$

где \dot{D} — скорость сближения; D_{\min} и D_{\max} — минимальная и максимальная дальность между противниками в зависимости от текущей ситуации, обозначающая границу применения режима сверхманевренности по дальности; φ_{\min} и φ_{\max} — минимальный и максимальный угол пеленга¹, обозначающий границу применения режима сверхманевренности по углу пеленга.

Предлагается два варианта реализации представления на широкоугольном коллимационном авиационном индикаторе (ШКАИ) информации о возможности применения режима МАНЕВР в БВБ.

Первый вариант реализации. Цель находится вне зоны захвата прицельного комплекса (рис. 1). Используются уже существующая прицельная метка и название режима МАНЕВР. При выполнении всех вышеприведенных условий (2) (высота и скорость полета, отно-

¹ Угол пеленга — угол между вектором скорости самолета и вектором дальности до противника.

сительное положение противника) на ШКАИ в левой нижней части появляется мигающая метка МАНЕВР. Одновременно начинает мигать и прицельная метка. При включении режима МАНЕВР мигание меток прекращается. На рисунке все метки взяты в рамки.

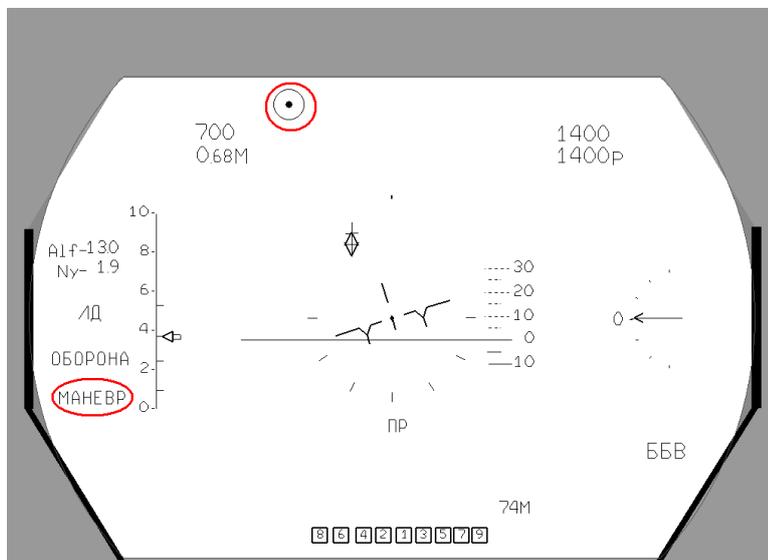


Рис. 1. Цель находится вне зоны захвата прицельного комплекса

Второй вариант реализации. Цель взята на автосопровождение (рис. 2). Рядом с указателем текущей приборной скорости приводится максимальная скорость начала маневра, равная 700 км/ч. Как и в первом

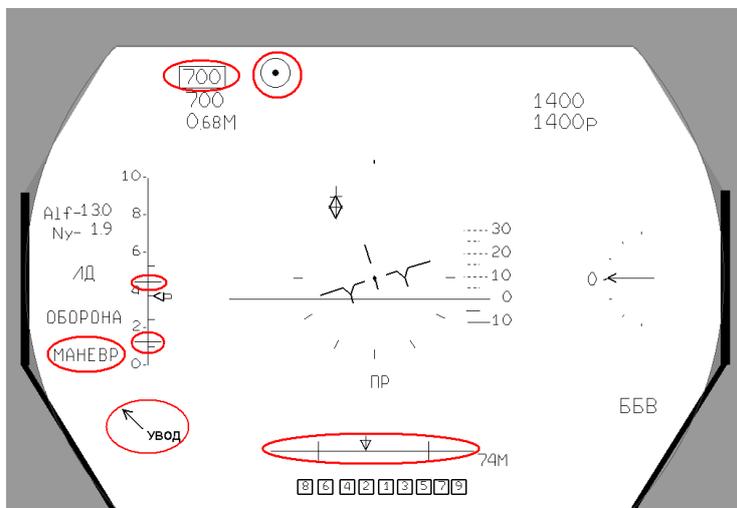


Рис. 2. Цель взята на автосопровождение

варианте, используется существующая прицельная метка. При выполнении всех условий (2) — высота и скорость полета, относительное положение противника — на ШКАИ в левой нижней части появляется мигающая метка МАНЕВР. Задача летчика — маневрированием обеспечить необходимые условия включения режима МАНЕВР. При достижении этих условий метки начинают мигать. После выполнения пуска ракеты загорается символ УВОД с указанием направления маневра увода. На рисунке все метки взяты в рамки.

Математический аппарат. Математическая модель истребителя как авиационного комплекса, установленная на комплексе моделирования воздушного боя (КМВБ), включает в себя:

- аэродинамическую модель самолета, содержащую круговые основные аэродинамические характеристики самолета в диапазоне угла атаки $\alpha = \pm 180^\circ$;
- блок уравнений пространственного движения самолета, кинематические уравнения, представленные в направляющих косинусах для исключения особых точек;
- модель двигателя самолета;
- модель комплексной системы управления (КСУ) с режимом МАНЕВР;
- модель прицельной системы;
- модель управляемой ракеты с инфракрасной головкой самонаведения.

Данный математический аппарат имеет сходимость результатов моделирования и летного эксперимента не менее 90 % [2]. Это свидетельствует о том, что результаты оценки эффективности имеют высокую степень достоверности.

Результаты моделирования. На КМВБ было проведено полунатурное моделирование БВБ [9] (порядка 500 реализаций) по оценке бортовой СИИПЛ с участием летчиков-операторов. При моделировании принималось следующее:

- истребитель И1 обладает сверхманевренностью;
- истребитель И2 использует обычные режимы маневрирования.

На основе анализа полученных результатов выполнялся подсчет потерь. При проведении серии из K реализаций вычислялись показатели эффективности по следующим формулам.

Потери (среднее значение математического ожидания) стороны И1

$$N_{p1} = \frac{\sum_{k=1}^{k=K} (p_2)_k}{K} \quad (3)$$

и стороны И2

$$N_{p_2} = \frac{\sum_{k=1}^{k=K} (p_1)_k}{K}, \quad (4),$$

где p_1 и p_2 — вероятности поражения цели ракетой истребителя И1 и И2 соответственно.

По результатам расчетов сделаны выводы, что вероятность потерь обычного самолета возрастает в 1,3 раза, а вероятность потерь сверхманевренного снижается в 4 раза [10] (рис. 3).

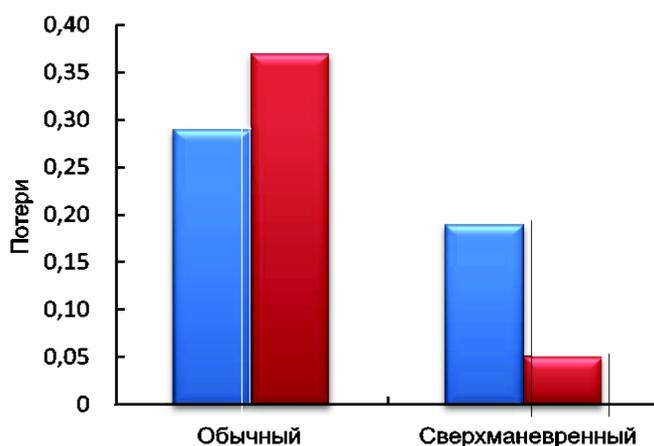


Рис. 3. Вероятность потерь с (■) и без (■) СИИПЛ

Заключение. Изложены основные принципы формирования бортовой СИИПЛ для применения в маневренном воздушном бою. Сформирован и рассмотрен круг задач, которые должна решать бортовая СИИПЛ. На основании анализа результатов полунатурного моделирования на КМВБ можно сделать вывод, что боевая эффективность применения режима сверхманевренности в БВБ с использованием бортовой СИИПЛ увеличивается в 4 раза по сравнению с использованием режима сверхманевренности без бортовой СИИПЛ. Данное повышение боевой эффективности позволяет сделать вывод, что благодаря применению режима сверхманевренности с использованием бортовой СИИПЛ можно исключить такие ситуации, как:

- 1) срыв наведения и пуска ракеты ввиду малого расстояния до цели;
- 2) попадание в зону захвата противника до момента его поражения.

Следует также отметить, что выполнение прицельных условий не всегда обеспечивает пуск ракеты с поражением цели. В случае применения режима сверхманевренности пуск выполняется при весьма неблагоприятных условиях, ракурс цели близок к 4/4. Вероятно, в прицельные условия необходимо на зону выхода наложить зону разрешенных пусков.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Желнин Ю.Н. Устойчивость самолета при динамическом выходе на закритические углы атаки. Маневр «Кобра». *Труды X Международной Четаевской конференции. Казань, 12–16 июня 2012 г.* Казань, 2012, с. 20–24.
- [2] Желнин Ю.Н. Сверхманевренность истребителя. Динамические режимы. *Проблемы создания перспективной авиационно-космической техники. Сб. ст.* Москва, Физматлит, 2005, с. 56–62.
- [3] Желнин Ю.Н. Полет «хвостом вперед» и сверхманевренность. *Наука и жизнь*, 2008, № 11, с. 36–45.
- [4] Арапов Г.Е., Дубов Ю.Б., Желнин В.Н., Желонкин В.И., Желонкин М.В., Ткаченко О.И. Исследование режимов сверхманевренности с использованием пилотажного комплекса ФГУП «ЦАГИ». *Вестник воздушно-космической обороны*, 2018, вып. 17, с. 29–38.
- [5] Luo D.-L., Shen C.-L., Wang B., Wu W.-H. Air combat decision making for cooperative multiple target attack using heuristic adaptive genetic algorithm. In: *Machine Learning and Cybernetics, 2005. Proceedings of 2005 International Conference.* IEEE, 2005, vol. 1, pp. 473–478.
- [6] Selig M.S. Real-Time Flight Simulation of Highly Maneuverable Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Aircraft*, 2014, vol. 51, no. 6, pp. 1705–1725.
- [7] Желонкин М.В. Методика проведения эксперимента на пилотажном стенде для отработки вариантов информационно-интеллектуальной поддержки летчика. В сб.: *XXVI Научно-техническая конференция по аэродинамике.* Жуковский, ФГУП «ЦАГИ», 2015, с. 117–118.
- [8] Zhelnin Y.N. Dynamic Attainment of High Post-Stale Attack Angle, Pugachev's Cobra Maneuver. *Test and Evaluation — International Aerospace Forum*, 31 May — 2 June, 1994, London, pp. 52–58.
- [9] Желнин Ю.Н., Желнин В.Н., Загайнов Г.И., Суханов В.Л., Шкадов Л.М. Динамика самолетов на закритических углах атаки. *Труды ЦАГИ*, 1992.
- [10] Желонкин М.В. Оценка эффективности применения сверхманевренности в ближнем воздушном бою с использованием полунатурного моделирования. *Известия РАН*, 2018, вып. № 102, с. 98.

Статья поступила в редакцию 28.03.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Желонкин М.В. Принципы формирования бортовой системы информационно-интеллектуальной поддержки летчика. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 9. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-9-1919>

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XLIII Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 29 января — 1 февраля 2019 г.

Желонкин Михаил Владимирович — науч. сотр., ФГУП «Центральный аэродинамический институт им проф. Н.Е. Жуковского»; старший преподаватель кафедры С-12, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). Автор и соавтор более 20 работ в области динамики и систем управления на режимах сверхманевренности.
e-mail: zhelonkinmichael@mail.ru

The formation principles of the onboard system of information and intellectual support for the pilot

© M.V. Zhelonkin

The Zhukovsky Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI)
Zhukovsky town, Moscow Region, 140180, Russia
Moscow Aviation Institute (National Research University)
Moscow, 125993, Russia

The operational experience of modern highly maneuverable aircraft with a super-maneuverability mode shows that the use of this mode in solving targets without the support of a pilot is ineffective. It should also be noted that under conditions of modern fleet-ing air combat, it is rather difficult for a pilot to determine the necessity and timeliness of using the super maneuverability mode. The paper is aimed at considering maneuverable air combat and presenting the principles of the formation of an airborne information and intellectual support system for the pilot. The results of studies carried out at the TsAGI air combat modeling complex on the development of the principles of the formation of an on-board pilot information and intellectual support system are discussed. The tasks that this system should solve are considered, and possible options for implementing the sys-tem in the on-board complex of modern fighters are presented.

Keywords: *over-maneuverability, close air combat, pilot support, maneuver, fighter, probability of defeat*

REFERENCES

- [1] Zhelnin Yu.N. Ustoychivost' samoleta pri dinamicheskom vykhode na zakriticheskiye ugla ataki. Manevr «Kobra» [The stability of the aircraft with a dynamic exit to the supercritical angle of attack. The Cobra maneuver]. *Trudy X Mezhdunarodnoy Chetayevskoy konferentsii. Kazan, 12–16 iyunya 2012 g.* [Proceedings of the X International Chetaev Conference. Kazan, June 12–16, 2012]. Kazan, 2012, pp. 20–24.
- [2] Zhelnin Yu.N. Sverkhmanevrennost' istrebitelya. Dinamicheskiye rezhimy [Super maneuverability of a fighter. Dynamic modes]. *Problemy sozdaniya perspektivnoy aviatsionno-kosmicheskoy tekhniki. Sbornik statey* [Problems of creating advanced aerospace technology. Coll. Art.]. Moscow, Fizmatlit, 2005, pp. 56–62.
- [3] Zhelnin Yu.N. Polet «khvostom vpered» i sverkhmanevrennost' [Tail-forward flight and super-maneuverability]. *Nauka i zhizn — Science and Life*, 2008, no. 11, pp. 36–45.
- [4] Arapov G.E., Dubov Yu.B., Zhelnin V.N., Zhelonkin V.I., Zhelonkin M.V., Tkachenko O.I. *Vestnik vozdušno-kosmicheskoy oborony — Aerospace Defense Herald*, 2018, iss. 17, pp. 29–38.
- [5] Luo D.-L., Shen C.-L., Wang B., Wu W.-H. Air combat decision making for cooperative multiple target attack using heuristic adaptive genetic algorithm. In: *Machine Learning and Cybernetics, 2005. Proceedings of 2005 International Conference*. IEEE, 2005, vol. 1, pp. 473–478.
- [6] Selig M.S. Real-Time Flight Simulation of Highly Maneuverable Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Aircraft*, 2014, vol. 51, no. 6, pp. 1705–1725.

- [7] Zhelonkin M.V. Metodika provedeniya eksperimenta na pilotazhnom stende dlya otrabotki variantov informatsionno-intellektual'noy podderzhki letchika [Methodology for conducting an experiment on an aerobatic bench to work out options for information and intellectual support for the pilot]. In: *XXVI Nauchno-tehnicheskaya konferentsiya po aerodinamike* [XXVI Scientific and Technical Conference on Aerodynamics]. Zhukovskiy, FGUP TSAGI, 2015, pp. 117–118.
- [8] Zhelnin Y.N. Dynamic Attainment of High Post-Stale Attack Angle, Pugachev's Cobra Maneuver. *Test and Evaluation — International Aerospace Forum*, 31 May — 2 June, 1994y, London, pp. 52–58.
- [9] Zhelnin Yu.N., Zhelnin V.N., Zagaynov G.I., Sukhanov V.L., Shkadov L.M. Dinamika samoletov na zakriticheskikh uglakh ataki [Dynamics of aircraft at supercritical angles of attack]. *Trudy TSAGI (TsAGI Proceedings)*, 1992.
- [10] Zhelonkin M.V. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk (Proceedings of the Russian Academy of Missile and Artillery Sciences)*, 2018, iss. 102, p. 98.

Zhelonkin M.V., the research assistant, The Zhukovsky Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI); senior lecturer, Moscow Aviation Institute (National Research University). Author and co-author of more than 20 works in the field of dynamics and management systems on supermaneuverability regimes. e-mail: zhelonkinmichael@mail.ru