УДК 519.7

Р. Н. Кветный, д. т. н., проф.; И. П. Борщова

СИСТЕМА ИЗБЕЖАНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ САМОЛЁТОВ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ

В статье описан подход для построения системы избежания столкновений беспилотных самолетов на основе минимизации риска вследствие оценки потенциальных потерь.

Ключевые слова: *беспилотный самолёт, система избежания столкновений, оценка риска.*

Введение. На сегодняшний день большое внимание во всем мире уделяют развитию беспилотных авиационных систем. Далеко не новая идея использовать беспилотники в поисково-спасательных операциях, для информационной поддержки в ходе гашения лесных пожаров, для осуществления постоянного авиационного мониторинга магистральных нефте- и газопроводов, высоковольтных линий электропередачи и других технических объектов отрасли, в военных целях [1]. Удаление человека с борта летательного аппарата с целью сохранить жизнь пилота в опасных миссиях – их основное назначение. Кроме того, отсутствие человека на борту позволяет осуществлять маневры с большими перегрузками, недоступные для пилотируемых аппаратов.

Современные беспилотные авиационные комплексы представляют собой сложные функциональные системы. При их разработке используются новейшие достижения в отрасли микроэлектроники, программирования, малогабаритных высокоэффективных двигателей, композиционных материалов и других сложных технологий. Однако анализ мировых тенденций развития беспилотной авиационной техники свидетельствует о повышении требований к обеспечению ее безопасности не только путем улучшения летно-технических характеристик беспилотных летательных аппаратов, а также благодаря обеспечению и росту полетного ресурса путем усовершенствования интеллекта систем автоматического управления.

Анализ предыдущих исследований. Безопасность воздушного движения с целью сохранить жизнь человека является необходимым условием при проектировании любой авиационной техники. Показателем безопасности воздушного движения является риск столкновения между несколькими летательными аппаратами в пространстве. И главное место в системе принятия решений при контроле и управлении воздушным движением занимает выявление потенциально конфликтных ситуаций [2].

На сегодняшний день известно большое количество подходов и методов выявления конфликтных ситуаций, разработанных как для бортовых систем управления полетом, так и для наземных пунктов управления воздушным движением. Существуют вероятностные [3] и геометрические методы выявления конфликтов. Чаще всего используются вероятностные методы выявления конфликтов, поскольку они позволяют использовать распределение вероятностей столкновения для оценки риска. Наиболее известными являются метод Рейха и обобщенный метод Рейха.

Самыми известными и наиболее распространенными системами избежания столкновения являются системы TCAS (Traffic collision avoidance systems) и системы ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast).

TCAS – это система, предназначенная для предотвращения столкновений в воздушном пространстве между авиатранспортом, она представляет собой совокупность бортовых устройств, функционирующих независимо от наземной воздушной системы управления движением и обеспечивающих защиту во избежание столкновения для спектра различных типов авиации.

ADS-B – абсолютно новая технология, которая позволяет пилотам и авиадиспетчерам "видеть" и управлять авиацией с большей точностью, над гораздо большей площадью земли, чем это было возможно когда-либо раньше. ADS-B позволяет определять размещение авиатранспорта в пространстве, используя глобальные навигационные спутниковые системы, и периодически транслировать сигнал.

Однако существующие системы избежания столкновения для беспилотных самолетов не позволяют решить самые безотлагательные проблемы, стоящие перед мировой авиацией. Они не дают точных алгоритмов избежания столкновения и не могут оценить риск при столкновении. Поэтому актуальной является задача разработки таких средств избежания столкновения, которые бы позволили решить существующие проблемы.

Целью работы является разработка подхода к созданию эффективной технологии, которая используется для избежания столкновения между беспилотным самолетом и другим авиатранспортом на основе минимизации рисков.

Материалы и результаты исследований. Избежание столкновения – это не только техническое задание, это задание, связанное с безопасностью людей. Система избежания столкновения для беспилотных самолетов должна допускать риск столкновения лишь один случай на миллиард. Поэтому, поскольку основной проблемой при разработке алгоритмов избежания столкновения беспилотных самолетов является обеспечение безопасности другим летательным средствам, особенно пилотируемым самолетам, а также самолетам, которые перевозят пассажиров, основным заданием при разработке таких подходов является оценка риска [4].

Для данного случая риск столкновения с другим летательным аппаратом в пространстве определяется по формуле:

$$R = L * P, \tag{1}$$

где L – потенциальные потери, P – вероятность столкновения.

Потенциальные потери вычисляют в зависимости от массы самолета, движущегося навстречу (чем больше масса – тем большие потери в случае столкновения), от количества пассажиров на борту самолета, с которым происходит столкновение (больше пассажиров – большие человеческие потери), от среды, где происходит столкновение (если это город – соответственно большие потери и так далее) [5].

Для этого записывают таблицы коэффициентов для самолетов с разными массами, разным количеством пассажиров на борту, над разными типами местности.

Таким образом, L – это функция от коэффициентов массы, количества людей и среды столкновения, которую математически запишем следующим образом:

$$L = f(M, N, E), \tag{2}$$

где M – коэффициент, который зависит от массы самолёта, движущегося навстречу, N – коэффициент, зависящий от количества пассажиров на борту летательного аппарата, с которым существует вероятность столкновения; E – коэффициент, зависящий от местности, над которой существует вероятность столкновения.

Коэффициенты M, N, E – это нечеткие параметры, значение которых устанавливает диспетчер наземного пункта управления, проанализировав известные значения массы самолета, количества людей на борту среды столкновения на основе таблиц коэффициентов для разных типов самолетов. Для вычисления потенциальных потерь значения коэффициентов M, N, E подают на вход нечеткого контролера, после чего по нечетким правилам формируют результирующее значение потенциальных потерь L. Для формирования логического вывода на основе нечетких правил в данной системе используется тип нечеткого логического вывода Mamdani.

Рассмотрим вероятность столкновения двух летательных аппаратов в пространстве. Применение понятия «вероятность столкновения» нуждается в введении некоторой функции, которая характеризует процесс вторжения в запрещенную зону. Такой функцией является вероятность столкновения двух летательных аппаратов в пространстве от координат. Математически данную зависимость запишем следующим образом:

$$P = f(\mathrm{x}, y, z), \tag{3}$$

где x, y, z – координаты беспилотного самолёта в пространстве.

Поскольку положение самолета в пространстве зависит в большей мере от угла его наклонения к плоскостям, образованным координатными осями, то для решения поставленной задачи перейдем к полярным координатам. Тогда зависимость (3) будет определяться по формуле:

$$P = f(\mathrm{x}(\alpha, \beta), y(\alpha, \beta), z(\alpha, \beta)), \tag{4}$$

где α, β – соответственно углы наклонения самолёта к плоскостям XOY и YOZ; x, y, z – координаты беспилотного самолёта в пространстве.

Вероятность столкновения зависит от направления движения самолета: в направлении движения вероятность столкновения самая высокая, справа и слева от самолета – соответственно самая низкая. Сзади самолета также существует вероятность столкновения, однако она будет не такая высокая, как в направлении движения.

Каждый летательный аппарат, движущийся в пространстве, имеет семейство поверхностей, которые описывают риск столкновения с другим авиатранспортом в пространстве. Эти поверхности строятся с учетом потенциальных потерь при столкновении.

Таким образом, учитывая формулу 4 и коэффициенты M, N, E, построены поверхности, описывающие риск столкновения для двух летательных аппаратов в пространстве при наборе параметров $N1 = 75, M1 = 10, E1 = 80, E2 = 80, M2 = 0, N2 = 50$. Эти поверхности изображены на рис. 1.

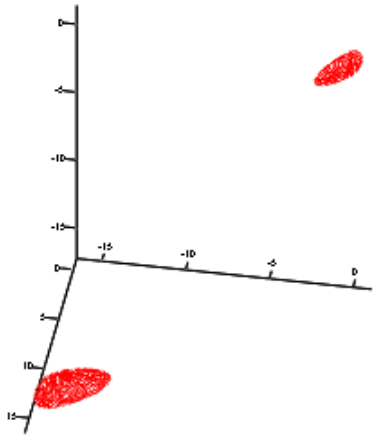

Рис. 1. Поверхности риска для двух летательных аппаратов в пространстве

Результирующий риск для беспилотного самолета зависит как от его собственного риска, так и от траектории движения объекта, летящего навстречу. Следовательно, результирующий риск запишем как:

$$P = f(\mathrm{x}(\alpha, \beta), y(\alpha, \beta), z(\alpha, \beta), z'(\alpha, \beta), x'(\alpha, \beta), y'(\alpha, \beta)), \tag{5}$$

где α, β – соответственно углы наклонения самолёта к плоскостям XOY и YOZ; $\mathrm{x}, y, z, z', x', y'$ – координаты беспилотного самолёта и координаты самолёта, который движущегося ему навстречу соответственно.

Результирующая поверхность риска беспилотного самолета приведена на рис. 2.

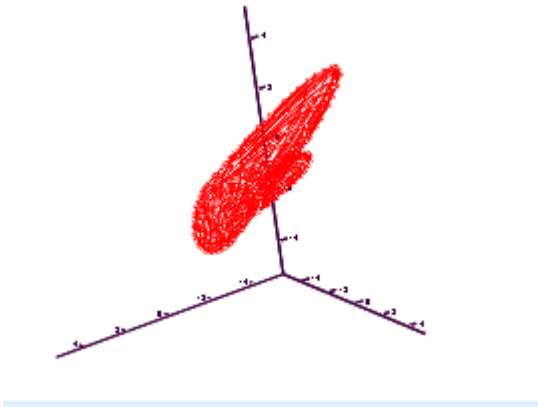

Рис. 2. Результирующая поверхность риска

Основой для системы избежания столкновений являются:

1. Типовые элементы моделирования (таблицы коэффициентов потерь для пилотируемых, беспилотных самолетов, разных классов беспилотников, значений вероятности столкновения в зависимости от скорости, расстояния, массы самолета).

2. Типовые структуры моделирования (расчет и построение поверхностей риска в зависимости от значений вероятности столкновения и потенциальных потерь).

3. Типовые структуры оценки риска, использующие правило «если – то».

Алгоритм работы системы избежания столкновения на основе минимизации рисков представляет собой последовательность следующих действий:

1. Определение диспетчером наземного пункта управления значений нечетких коэффициентов M, N, E.

2. Определение системой нечеткого значения коэффициента потенциальных потерь.

3. Дефаззификация данного значения потенциальных потерь и превращения его в числовое значение.

4. Построение семейства поверхностей рисков.

5. Определение самого оптимального маршрута с учетом динамических свойств системы.

Таким образом, оценив риск во всех точках пространства, можно оптимизировать путь движения беспилотника до такого, чтобы осуществить маневр избежания столкновения с минимальным для нас риском. Следовательно, предложенный подход позволяет повысить надежность любой системы избежания столкновения для беспилотных летательных аппаратов.

Выводы. В данной статье предложен подход к разработке новой технологии поддержки принятия решений, который используется для избежания столкновения беспилотных самолетов. Данный подход обеспечивает анализ потенциальных потерь при столкновении с другим летательным аппаратом с помощью оценки риска. Такой подход ориентирован на решение главной проблемы при разработке алгоритмов избежания столкновения беспилотных самолетов – обеспечение безопасности другим летательным средствам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспилотные авиационные системы для флота [Електронний ресурс] / Щербаков В. – Режим доступу: http://www.uav.ru/articles/naval_uav.pdf .

2. Васильєв В. М. Статистичне моделювання і оцінка ризику зіткнень літаків з використанням кореляційної теорії / В. М. Васильєв // Вісник НАУ. – 2004. – № 3. – С. 70 – 74

3. Bakker G. J. Probabilistic Approaches Toward Conflict Prediction / G. J. Bakker, H. J. Kremer,

H. Blom // Air Transportation Systems Engineering, AIAA. – 2001. – P. 677 – 694.

4. Paielli R. A. Conflict Probability Estimation for Free Flight / R. A. Paielli, H. Erzberger // Journal of Guidance, Control and Dynamics. – 1997. – Vol. 20, № 3. – P. 588 – 596.

5. Квєтний Р. Н. Система прийняття рішень для безпілотних літаків / Р. Н. Квєтний, О. Р. Бойко, І. П. Борщова // Оптико-електронні інформаційно – енергетичні технології. – 2010. – № 1 (19). – С. 102 – 105.

Кветный Роман Наумович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой автоматики и информационно-измерительной техники.

Борщова Ирина Петровна – магистрант кафедры автоматики и информационно-измерительной техники.

Винницкий национальный технический университет.