

УДК 621.396.98.004.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ОБ УРОВНЕ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ ВС ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Д.А. ЗАТУЧНЫЙ¹, Ж.В. СЛАДЬ²

¹МГТУ ГА, г. Москва, Россия

²Филиал «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА, г. Москва, Россия

В данной статье рассматривается задача построения наилучшего маршрута воздушного судна на основе информации об уровне наземного обеспечения его полета. Приведены недостатки традиционных средств радиолокационного наблюдения. Выделено четыре типа воздушного пространства регионов РФ в зависимости от уровня наземного радиообеспечения полетов. Обоснована актуальность выбора маршрута воздушного судна с точки зрения необходимости планирования воздушного пространства. Приведена формула для вычисления вероятности получения неверной навигационной информации на воздушном судне. Проведен анализ ошибок, возникающих при построении маршрута воздушного судна, связанных как с погрешностями в работе навигационного и связного оборудования, так и с человеческим фактором. Приведены формулы, выражающие вероятность неверного выбора маршрута при изменении или не изменении траектории движения воздушного судна. Введен обобщенный взвешенный показатель потерь на основе учета различных факторов, влияющих на изменение траектории воздушного судна. Произведен учет весов этих факторов. Сформулировано правило перехода ВС в следующую точку маршрута. Сделан вывод о том, какой маршрут воздушного судна является наиболее рациональным с точки зрения следования предложенному правилу выбора маршрута на каждом этапе полета. Приведены практические рекомендации, которые можно использовать для разрешения конфликта между воздушными судами, производящими полет по предложенному правилу.

Ключевые слова: воздушное пространство, наземное обеспечение полетов, рациональный маршрут.

ВВЕДЕНИЕ

Система управления воздушным движением (УВД) России функционирует в условиях, которые существенно отличаются от условий функционирования УВД в Европе и США. Этими особенностями являются огромная территория России, высокая стоимость обслуживания средств радиолокации, навигации и связи в удаленных регионах, а также низкая интенсивность воздушного движения (ИВД) в ряде регионов. Поэтому если в развитых странах мира с высокой ИВД воздушного пространства (ВП) последнее перекрыто средствами радиолокационного контроля (РЛК) до трех крат и более, то в России обеспечить многократное перекрытие ВП этими средствами невозможно по экономическим соображениям [1].

Основной целью системы УВД является наиболее эффективное использование ВП. Для авиационной транспортной системы наиболее эффективным использованием ВП считается такое, при котором в жестких условиях обеспечения заданного уровня безопасности полетов может быть достигнута наибольшая производительность транспортных авиаперевозок. Для достижения такой глобальной цели необходимо, чтобы все входящие в систему организации воздушного движения (ОрВД) элементы и подсистемы соответствовали ее общему назначению. В рамках принятой Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) концепции CNS/ATM, предполагающей глубокую интеграцию средств связи, навигации и наблюдения при решении задач УВД, сюда следует включить и средства навигации [2].

ТИПЫ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ НАЗЕМНОГО РАДИООБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ

Можно выделить четыре типа ВП регионов РФ в зависимости от уровня наземного радиообеспечения полетов [2]. Характерной особенностью ВП первого типа является наличие

автоматизированной системы (АС) УВД. В ВП второго типа из-за отсутствия АС УВД увеличивается время задержки между получением информации и передачей на ВС необходимых указаний, что связано с отсутствием автоматизированного сбора и обработки информации. Основным типом ВП является третий тип. Требуемая безопасность полетов при УВД в ВП данного типа достигается путем анализа радиолокационной информации и информации, поступающей по каналу «ВС – Земля». Интенсивность потока сообщений в ВП данного типа значительно увеличивается. В ВП третьего типа встречаются участки, где отсутствует поле радиотехнических систем ближней навигации (РСБН). Это приводит к дополнительным сеансам связи. Четвертый тип ВП обычно входит в зону УВД в сочетании с третьим типом. Это характерно для трасс Крайнего Севера, Восточной Сибири и Дальнего Востока. Характерной особенностью этих регионов является то, что обеспечение УВД осуществляется по каналам дециметрового радиосвязи и заканчивается при обнаружении ВС на экране РЛС и установлении связи по метровому каналу. Особенностью информационного обмена в ВП этого типа является низкая интенсивность поступления сообщений и большая длительность сеансов связи за счет использования дециметрового радиосвязи.

Считается, что необеспеченными трассами (участками трасс) являются те, которые содержат разрывы в радиолокационных, радионавигационных и радиосвязных полях [3].

К средствам наблюдения относятся первичные и вторичные РЛС, к средствам навигации – радиотехнические системы ближней навигации (РСБН) и отдельные приводные радиостанции (ОПРС), а к средствам радиосвязи – МВ радиостанции.

Необходимость планирования воздушного пространства, а также перспектива перехода к зональной навигации требует выбирать наилучший маршрут ВС. При этом было бы целесообразным при выборе маршрута воздушного судна с учетом требований по безопасности полетов исходить из различной оснащенности трассы наземными средствами обеспечения полетов.

ВЫБОР МАРШРУТА ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ ОСНАЩЕННОСТИ НАЗЕМНЫМИ СРЕДСТВАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ

Для построения или планирования маршрута ВС необходимо обладать информацией об оснащенности трассы наземными средствами обеспечения полетов, а также о всех судах, находящихся в регионе, и информацией о вероятности недопустимых погрешностей при навигационном обеспечении этих судов и вероятности безотказной работы линий передачи данных, по которым навигационная информация передается на опорный борт [4–6].

Введем обозначения:

n – число ВС в интересующем нас регионе, p_i – вероятность отказа при навигационном обеспечении i -го ВС (погрешность превышает допустимые пределы), $i = 1, \dots, n$, p_{on} – вероятность недопустимых погрешностей при навигационном обеспечении опорного ВС, p_i' – вероятность отказа канала связи с i -м ВС.

Вероятностные характеристики навигационного обеспечения ВС и линии передачи данных могут быть получены по результатам наблюдений. Вероятность получения неверной навигационной информации на опорном ВС с i -го ВС вычисляется по формуле [7]

$$\alpha_i = p_i + p_i' - p_i p_i'. \quad (1)$$

Учитывая (1) и тот факт, что на погрешности при выборе маршрута также влияет погрешность при навигационном обеспечении опорного ВС, получим вероятность получения неверной навигационной информации для построения маршрута движения опорного ВС [8]:

$$\beta_i = p_{on} + \alpha_i - p_{on}\alpha_i = p_{on}(1 - p_i - p'_i + p_i p'_i) + p_i + p'_i - p_i p'_i. \quad (2)$$

Существует два варианта ошибок при построении маршрута ВС [9]:

- 1) маршрут движения ВС изменен, хотя это не является необходимым;
- 2) маршрут движения ВС не изменен, хотя это следует сделать.

Ошибка при построении маршрута ВС может происходить по двум причинам:

- 1) получена неверная навигационная информация;
- 2) навигационная информация получена верная, но существуют ошибки, связанные с неверным анализом этой информации по психологическим причинам, причинам перегрузки экипажа, некомпетентности, сложным метеорологическим условиям и т. д.

Предположим, что при изменении (или не изменении маршрута) воздушное судно может переместиться в одну из m точек. Введем обозначения [10]:

ε_{ij} – вероятность ошибочного изменения маршрута в j -ю точку при получении неверной навигационной информации с i -го ВС, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$.

δ_{ij} – вероятность ошибочного неизменения маршрута в j -ю точку при получении неверной навигационной информации с i -го ВС.

Введем обозначения:

Δ – погрешность, причиной которой не является неверное получение навигационной информации. Эти погрешности можно разделить на:

- 1) систематические погрешности (или погрешности объективного характера), которые не зависят от экипажа ВС и связаны обычно с оборудованием ВС, автоматизированной системой построения маршрута, интенсивностью воздушного движения и т. д.;

- 2) случайные погрешности, которые связаны с психологическим состоянием экипажа ВС, метеоусловиями и подобным на данный момент;

- 3) грубые промахи экипажа ВС.

Введем обозначение:

$p(\Delta)$ – вероятность неверного построения маршрута по причине факторов, не связанных с неверным получением навигационной информации.

Определим вероятность неверного построения маршрута при переходе в j -ю точку с использованием формулы полной вероятности:

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^n \beta_i \varepsilon_{ij} + p(\Delta).$$

Определим вероятность неверного построения маршрута при непереходе в j -ю точку:

$$\delta_j = \sum_{i=1}^n \beta_i \delta_{ij} + p(\Delta).$$

Предположим, что имеется k факторов, которые в той или иной мере влияют на потери от совершения ошибки при изменении или не изменении маршрута ВС в j -ю точку. Тогда вес ошибки будет определяться следующим образом:

$$L_j = \max \{L_1, \dots, L_k\},$$

где L_z – показатель потерь относительно z -го фактора ($z = 1, \dots, k$), определяемого следующим образом:

$$L_z = 1, \text{ если } z > Z, \quad L_z = \frac{z}{Z}, \text{ если } z \leq Z,$$

где Z – это максимально допустимое значение для ВС относительно z -го фактора, а z – потери относительно z -го фактора.

Введем обозначения: λ_j – вес ошибки ε_j ; η_j – вес ошибки δ_j .

Определим обобщенный взвешенный показатель потерь для j -й точки:

$$P_j = \lambda_j \varepsilon_j + \eta_j \delta_j = \lambda_j \left(\sum_{i=1}^n \beta_i \varepsilon_{ij} + p(\Delta) \right) + \eta_j \left(\sum_{i=1}^n \beta_i \delta_{ij} + p(\Delta) \right). \quad (3)$$

Обозначим

$$\varepsilon_{ij} = t_{ij} \varepsilon, \quad \delta_{ij} = t'_{ij} \delta,$$

где ε, δ – выбранные на основе экспериментальных данных величины, а t_{ij}, t'_{ij} – числа, связывающие эти величины с ε_{ij} и δ_{ij} .

Тогда равенство (3) переписывается в виде

$$P_j = P_j^{\text{перех.}} + P_j^{\text{неперех.}} = \sum_{i=1}^n \lambda_j \beta_i t_{ij} \varepsilon + \sum_{i=1}^n \eta_j \beta_i t'_{ij} \delta + (\lambda_j + \eta_j) p(\Delta), \quad (4)$$

где $P_j^{\text{перех.}}$ – обобщенный взвешенный показатель потерь при переходе ВС в j -ю точку, $P_j^{\text{неперех.}}$ – обобщенный взвешенный показатель потерь при непереходе ВС в j -ю точку.

Сформулируем правило перехода ВС в следующую точку маршрута, для чего укажем следующий набор условий.

Если $P_j^{\text{перех.}} < P_j^{\text{неперех.}}$, то для ВС будет предпочтительней перейти в j -ю точку, чем не перейти в нее.

Если $P_j^{\text{перех.}} > P_j^{\text{неперех.}}$, то для ВС будет предпочтительней не перейти в j -ю точку, чем совершить в нее переход.

Если $P_j^{\text{перех.}} = P_j^{\text{неперех.}}$, то для определения дальнейшей траектории движения ВС необходимо рассмотреть другие возможности движения.

Введем обозначение

$$\{P\} = \left\{ P_j^{\text{перех.}} : P_j^{\text{перех.}} < P_j^{\text{неперех.}}, j = 1, \dots, m \right\}. \quad (5)$$

Предложим следующий способ выбора маршрута (далее будем обозначать $P_j^{\text{перех.}}$ через P_j): если $\min \min \{P\} = P_k$, то рациональным маршрутом является переход в k -ю точку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, если представить весь маршрут ВС как дискретную совокупность точек, в которых пилоту надо решать вопрос об изменении или не изменении движения ВС, то пред-

ставляется возможным сделать вывод, что рациональным маршрутом для ВС по предложенному правилу является маршрут, при котором каждое решение удовлетворяет условию достижения минимального обобщенного показателя потерь.

Необходимо заметить, что следование предложенному правилу не дает возможность избежать конфликтных ситуаций между ВС. Разрешение этих конфликтов может быть осуществлено путем соотношения их обобщенных взвешенных показателей потерь и их приоритетности в воздушном пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спирин А.С. Способ перераспределения связанных ресурсов спутниковых систем связи с использованием корреляции интенсивности воздушного движения в зонах УВД // Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем: межвузовский тематический сборник научных трудов Университета гражданской авиации. Т. XI. Ч. 2. СПб.: Университет ГА, 2006.

2. Спирин А.С. Связь характеристик информационного потока в системе УВД с характеристиками транспортного потока // Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем: межвузовский тематический сборник научных трудов Университета гражданской авиации. Т. XIV. СПб.: Университет ГА, 2009.

3. Данилюк С.Г., Маслов В.Г., Попов А.И. Порядок обработки нечеткой информации при оценке состояний информационных систем // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2012. № 19. С. 30–34.

4. Затучный Д.А. Обоснование необходимости и возможности перехода к концепции Free Flight // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2008. № 1. С. 109–111.

5. Повышение точности определения ориентации космических аппаратов при использовании оптических звездных датчиков / А.С. Сигов, М.А. Карпов, В.Н. Денисевич, В.И. Нефедов, Н.В. Милованова, А.Ю. Цуников, А.Ю. Матвеев // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2012. Т. 12, № 4. С. 62–66.

6. Затучный Д.А. Влияние ошибки при передаче информации по каналу связи на построение оптимальной траектории ВС // Научный Вестник МГТУ ГА. 2008. № 136. С. 131–136.

7. Затучный Д.А. Оценка степени влияния различных факторов на навигационные определения ВС с использованием СРНС // Научный Вестник МГТУ ГА. 2010. № 159. С. 143–147.

8. Затучный Д.А. Многофакторный анализ существующих методов передачи информации при автоматическом зависимом наблюдении // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, March – April 2015, pp. 43–45.

9. Затучный Д.А., Сладь Ж.В. О влиянии на распространение радиоволн в городе профиля его застройки // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 222. С. 37–43.

10. Сладь Ж.В. К оценке энергетических потерь при работе системы связи // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 222. С. 107–113.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Затучный Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ТЭРЭО ВТ МГТУ ГА, электронный адрес: zatuch@mail.ru.

Сладь Жорж Васильевич, доктор технических наук, профессор, Ученый секретарь Филиала «Научно-исследовательский институт Аэронавигации» Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации», электронный адрес: slad@atminst.ru.

INFORMATION USE ABOUT THE LEVEL OF AIRCRAFT FLIGHTS GROUND PROVISION TO PLAN AIR TRAFFIC

Dmitriy A. Zatuchny

Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia,
zatuch@mail.ru

Jorzh V. Slad

Research Institution of Air Navigation Branch of the Federal State Unitary Enterprise State
Civil Aviation Research Institute, Moscow, Russia, slad@atminst.ru

ABSTRACT

The given article considers the task of building up the best aircraft route on the basis of information about the level of flight ground provision. Disadvantages of traditional radar surveillance facilities are given. Four types of Russian Federation aerospace depending on the level of ground radio flight provision are considered. Relevance of selecting an aircraft route from the view of necessity to plan aerospace is substantiated. The formula to calculate probabilities of obtaining not correct aircraft navigation data is given. The analysis of errors arising while building up the aircraft route linked with both operational navigation and communication equipment faults as well as with a human factor is carried out. Formulas of wrong route selecting probability when an aircraft track changes or is maintained are suggested. A generalized weighted index of losses on the basis of various factors affecting an aircraft track change is introduced. Importance of these factors are considered. A rule of aircraft transition to the next route point is formulated. The conclusion is made which route is the most rational in case of following the rule of route selecting at every flight stage. Practical recommendations which can be used to solve conflict between aircraft cruising under the given rule are suggested.

Key words: aerospace, flight ground provision, rational route.

REFERENCES

- 1. Spirin A.S.** A method of redistribution of coherent resources of satellite communication systems with use of correlation of intensity of air traffic in zones of the ATC. *Mezhvuzovskij tematicheskij sbornik nauchnyx trudov universiteta grazhdanskoj aviacii «Problemy ekspluatacii i sovershenstvovaniya transportnyx sistem»* [Interuniversity thematic collection of scientific works of University of the civil aviation "Problem of operation and enhancement of transport systems"], t. XI, p. 2. Pb.: HECTARE university, 2006. (in Russian)
- 2. Spirin A.S.** Communication of characteristics of an information flow in the ATC system with characteristics of a transport flow. *Mezhvuzovskij tematicheskij sbornik nauchnyx trudov universiteta grazhdanskoj aviacii «Problemy ekspluatacii i sovershenstvovaniya transportnyx sistem»* [Interuniversity thematic collection of scientific works of University of the civil aviation "Problem of operation and enhancement of transport systems"], t. XIV. Pb.: HECTARE university, 2009. (in Russian)
- 3. Danilyuk S.G., Maslov V.G., Popov A.I.** Poryadok of handling of indistinct information in case of an assessment of conditions of information systems. *Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma* [Information counteraction to threats of terrorism], No. 19, 2012, pp. 30–34. (in Russian)
- 4. Zatuchny D.A.** Reasons for need and possibility of transition to the concept of Free Flight. *Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information technologies in designing and production], 2008, No. 1, pp. 109–111. (in Russian)
- 5. Sigov A.S., Karpov M.A., Denisevich V.N., Nefyodov V.I., Milovanova N.V., Tsunikov A.Yu., Matveev A.Yu.** Increase of accuracy of determination of orientation of spacecrafts when using optical star sensors. *Fundamentalnye problemy radioelektronnoy priborostroeniya* [Fundamental problems of radio-electronic instrument making], 2012, vol. 12, No. 4, pp. 62–66. (in Russian)
- 6. Zatuchny D.A.** Influence of a mistake in case of information transfer on a communication channel on creation of an optimum trajectory of VS. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific bulletin of MGTU of HECTARE], 2008, No. 136, pp. 131–136. (in Russian)

7. Zatushny D.A. An assessment of extent of influence of various factors on navigation determinations of VS with use of SRNS. Nauchnyj vestnik MGTU GA [Scientific bulletin of MGTU of HECTARE], 2010, No. 159, pp. 143–147. (in Russian)

8. Zatushny D.A. The multiple-factor analysis of the existing information transfer methods in case of automatic dependent supervision. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, March – April 2015, pp. 43–45. (in Russian)

9. Zatushny D.A., Slad J.V. About influence on distribution of radio waves in the city of a profile of its building. Nauchnyj vestnik MGTU GA [Scientific bulletin of MGTU of HECTARE], 2015, No. 222, pp. 37–43. (in Russian)

10. Slad J.V. To an assessment of energy losses during the work of a communication system. Nauchnyj Vestnik MGTU GA [Scientific bulletin of MGTU of HECTARE], 2015, No. 222, pp. 107–113. (in Russian)