

УДК 004.045:621.396.96

И.И. Обод, А.Э. Заволодько, Б.В. Монго

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПРОСНЫМИ СИСТЕМАМИ НАБЛЮДЕНИЯ

*В статье, на основе анализа качества информационного обеспечения потребителей запросными системами наблюдения, рассмотрен метод повышения качества информационного обеспечения рассматриваемыми системами наблюдения заключающийся в выборе оптимального числа каналов обработки полетной информации в зависимости от возможного числа воздушных объектов, находящихся на одном азимуте. Показано, что оптимальный выбор числа каналов обработки информации приводит к повышению качества информационного обеспечения потребителей запросными системами наблюдения.*

**Ключевые слова:** информационное обеспечение, запросные системы наблюдения, обработка полетной информации.

### Введение

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Эффективность принятия решения в системе контроля воздушного пространства определяется качеством информации, которая передается системами наблюдения воздушного пространства. К основным системам наблюдения воздушного пространства относятся первичные и вторичные (запросные) системы наблюдения [1 – 4]. Первые из этих систем позволяют дать ответ «где» находится воздушный объект, а вторая – «кто» он. Кроме того, одной из основных информационных задач запросных систем наблюдения является передача полетной информации с борта воздушного объекта на пункты управления.

Однако запросные системы наблюдения, как показывает практика их использования и показано в [4-9], имеют низкое качество информационного обеспечения потребителей, которое обусловлено принципом построения (несинхронная сеть) рассматриваемых систем, а также принципом обслуживания сигналов запроса. (одноканальная система массового обслуживания с отказами). Кроме того, передача полетной информации с борта воздушного объекта осуществляется информационной посылкой, которая имеет значительный временной интервал. Это снижает вероятность передачи полетной информации от нескольких воздушных объектов, находящихся на одном азимуте приводит к перекрытию части сигналов. Перекрытие сигналов приводит к внутрисистемным помехам и, следовательно, к потере полетной информации. Потеря информационной способности из-за перекрытия сигналов увеличивает вероятность конфликтных необнаруженных ситуаций в воздухе.

**Цель работы.** Повышение качества информационного обеспечения потребителей запросными системами наблюдения воздушного пространства.

### Основная часть

Расширение возможностей использования воздушного пространства страны для полетов воздушных объектов возможно путем как повышения степени технической оснащенности современными средствами технической оснащенности воздушной и наземной связи, наблюдения и автоматизации управления воздушным движением, что соответствует требованиям глобальной эксплуатационной концепции организации воздушного пространства Международной организации гражданской авиации, так и широким использованием информационных технологий при получении, обработке, сохранении и передаче информации.

Запросные системы наблюдения воздушного пространства находят широкое распространение в системе контроля воздушного пространства. До основной функции запросных систем наблюдения принадлежит получение на пунктах управления полетной информации с борта воздушного объекта и идентификация обнаруженного воздушного объекта за признаком «свой-чужой». Однако построение запросных систем наблюдения на принципе несинхронной сети обусловил значительный уровень внутрисистемных помех, а также возможность заинтересованной стороне получать информацию с воздушного объекта путем постановки преднамеренных коррелированных помех. Построение самолетного ответчика на принципе одноканальной системы массового обслуживания с отказами позволяет заинтересованной стороне полностью парализовать самолетный ответчик преднамеренной помехой нужной интенсивности. Таким образом, существующие запросные системы наблюдения воздушного пространства имеют низкую помехоустойчивость и помехозащищенность и, как следствие, низкое качество информационного обслуживания. Кроме того, выбор сигналов запросных систем наблюдения

(інтервально-временные, інтервально-частотные и позиционные коды), обусловил потребу в виборі полоси пропускання приймачів значально вище оптимальної величини. Це також приводить до зниженню як помехозахищеності такого каналу передачі інформації, так і до помехозахищеності розглядаємих систем спостереження в цілому.

Ці обставини обумовили потребу вимірювання координат повітряного об'єкта за допомогою, яке передбачає прийом і обробку пакету сигналів відповіді, що складно забезпечити в умовах складної помехової обстановки. Насправді, при порівнянні і об'єднанні інформації, що необхідно для автоматичного складання формуляру повітряного об'єкта, критерієм є якість зміни координатної інформації, через ймовірності дійствий до яких належить:

- ймовірність втрати правильної польотної інформації;
- ймовірність спотворення польотної інформації;
- ймовірність об'єднання координатної і польотної інформації запитних систем спостереження;

Коротко розглянемо ці ймовірності.

При обробці польотної інформації схемою по критерію  $k/m$  є ймовірність втрати правильної польотної інформації в пристрої обробки складає

$$P_{\text{vtr}} = 1 - P_{\text{p.i}}^k,$$

де  $P_{\text{p.i}}$  - ймовірність видачі польотної інформації з виходу запитної системи спостереження в перших  $m$  інформаційних відповідях.

При використанні в пристроях обробки схем підтвердження польотної інформації по критерію  $k/m$  ймовірність спотворення польотної інформації складає:

$$P_{\text{ick.p.i}} = \sum_{i=k}^m C_m^i P_{\text{ick}}^i (1 - P_{\text{ick}})^{m-i},$$

де  $P_{\text{ick}}$  - ймовірність видачі запитною системою спостереження ложної польотної інформації.

Польотна інформація запитних систем спостереження може надходити з деяким запізненням відносно координатної інформації, так званої номер дискрети приходу польотної інформації

$$N'_d = N_d + T(KI) / \tau_d,$$

де  $N_d$  - номер дискрети приходу координатної інформації;  $T(KI)$  - запізнення для запитної системи спостереження, якій відповідає код координатної інформації;  $\tau_d$  - час дискрети дальності.

Практично ймовірність об'єднання координатної і польотної інформації складе:

$$P_{\text{okp}} = (1 - P_{\text{vtr.p.i}})(1 - P_{\text{ick.p.i}})P \left\{ \begin{matrix} +N'_o \\ -N'_o \end{matrix} \right\},$$

де  $P \left\{ \begin{matrix} +N'_o \\ -N'_o \end{matrix} \right\}$  - умовна ймовірність приходу польотної інформації в стробі від  $+N'_o$  до  $-N'_o$  координатної інформації повітряного об'єкта.

Однак при цьому слід зауважити, що координати повітряного об'єкта з кращими характеристиками визначаються на борту повітряного об'єкта з допомогою різноманітних систем навігації. Насправді ці координати можуть бути передані наземним пунктам управління по каналу відповіді запитних систем спостереження. Таким чином, запитні системи спостереження, які мають канал запитів і канал відповіді, більше стосуються до систем обміну інформацією між наземним пунктом управління і бортом повітряного об'єкта і можуть характеризуватися як запитні системи передачі інформації, з допомогою яких можна здійснити передачу координат з борту повітряного об'єкта. Це може змінити підхід до цих систем і, як наслідок, запропонувати нові методи підвищення їх інформаційних здатностей.

Розглянемо метод підвищення інформаційної здатності каналу передачі польотної інформації, що заключається в оптимальному виборі величини ймовірності передачі польотної інформації з повітряного об'єкта і числа каналів дешифратора приймаємої інформації. Під інформаційною здатністю будемо розуміти здатність розрізнити в просторі і в часі об'єкти. Оскільки перекриття сигналів має ймовірнісну природу і приводить до внутрисистемним помехам, описуваним ймовірнісними законами, можливість розрізнення будемо оцінювати статистично.

В якості кількісної міри, що характеризує інформаційну здатність, виберемо ймовірність декодування  $i$ -го інформаційного повідомлення з групового потоку інформаційних повідомлень від  $N$  повітряного об'єкта за один період сканування антенної системи запитної системи спостереження -  $P_c$ . Ця ймовірність є функцією

Під інформаційною здатністю будемо розуміти здатність розрізнити в просторі і в часі об'єкти. Оскільки перекриття сигналів має ймовірнісну природу і приводить до внутрисистемним помехам, описуваним ймовірнісними законами, можливість розрізнення будемо оцінювати статистично.

В якості кількісної міри, що характеризує інформаційну здатність, виберемо ймовірність декодування  $i$ -го інформаційного повідомлення з групового потоку інформаційних повідомлень від  $N$  повітряного об'єкта за один період сканування антенної системи запитної системи спостереження -  $P_c$ . Ця ймовірність є функцією

$$P_c = f(\tau_s, \Delta\beta, \Delta d, N, p, P)$$

де  $\tau_s$  - тривалість передаваного повідомлення;  $\Delta\beta, \Delta d$  - різниці азимутів і дальностей, при яких сигнали тривалістю  $\tau_s$  перекриваються в часі;  $P$  - ймовірність передачі інформаційного сигналу з повітряного об'єкта.

Условие перекрытия сигналов от двух воздушных объектов в запросной системе наблюдения имеет вид

$$|T_i(t) - T_j(t)| < \tau_s,$$

где  $T_i(t)$  – временной процесс  $i$ -го запросчика системы наблюдения.

Возможны следующие пути повышения информационной способности канала передачи полетной информации:

- стохастический выбор момента передачи в пределах ширины сканирующей диаграммы направленности запросной системы наблюдения за один период сканирования или за  $m$  периодов;
- увеличение числа каналов обслуживания на наземном объекте;
- использование адресного (индивидуального) опроса обслуживаемых воздушных объектов, обычно в комбинации с первым способом.

Рассмотрим далее вопросы комбинированного применения методов повышения информационной способности и возможности их практической реализации.

Пусть на близких азимутах находятся  $N$  воздушных объектов.

Обозначим через  $x_1, x_2, \dots, x_N$  случайные величины, принимающие значение 1 с вероятностью  $P$  и 0 - с вероятностью  $(1 - P)$ . Значению  $x_i = 1$  соответствует передача полетной информации с  $i$ -го воздушного объекта.

Рассмотрим выбор оптимальной вероятности передачи сигнала  $P$  при многоканальном дешифраторе и  $i$  перекрытых информационных сигналах. Этому способствует возможность применения в запросных системах наблюдения способов передачи информационных сообщений многопозиционными сигналами. Они позволяют повысить помехоустойчивость передачи сообщений путем распознавания ошибок любой кратности.

Кроме того, современное состояние техники бортового оборудования позволяет создавать новые методы генерации потоков информационных сообщений.

Исходное уравнение для определения оптимальной вероятности передачи информационного сообщения с борта воздушного объекта имеет вид

$$P_c = \sum_{i=1}^N P_s^{(i)} \cdot P_d^{(i)} \cdot P_N^i \cdot P^i \cdot (1 - P)^{N-i}, \quad (1)$$

где  $P_d$  – вероятность декодирования информационного сообщения, если перекрыты оказались  $i$  сообщений;  $s$  – число каналов дешифратора;

$P_s^{(i)} = \begin{cases} 1, & \text{при } s > i, \\ 0, & \text{при } s < i \end{cases}$  – вероятность наличия незакрытого дешифратора.

Оптимальную вероятность передачи информационного сообщения с борта воздушного объекта можно определить из (1) путем дифференцирования  $\frac{dP_s}{dP} = 0$ . Вероятность декодирования информационного сообщения от конкретного воздушного объекта из группового потока информационных сообщений, передаваемого от  $m$  воздушных объектов за один период сканирования диаграммы направленности антенны, составляет

$$P_\alpha = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m i \cdot P_d^i \cdot C_m^i \cdot P^i \cdot (1 - P)^{m-i} + \frac{s}{m} \cdot \sum_{i=s+1}^m i \cdot P_d^i \cdot C_m^i \cdot P^i \cdot (1 - P)^{m-i}, \quad (2)$$

где  $i/m$  – вероятность поступления на обслуживание информационного сообщения от конкретного воздушного объекта в один из  $i$  дешифраторов, если взаимное влияние оказывают  $i$  информационных сообщений от  $m$  воздушных объектов;  $s/m$  – вероятность поступления на обслуживание информационного сообщения в один из  $s$  дешифраторов от конкретного воздушного объекта, если взаимное влияние оказывает  $j > s$  информационных сообщений от  $m$  воздушных объектов ( $s < m$ ).

Если декодирование информационного символа производится по первому принятому сигналу “Стоп”, то границу  $P_d^i$  путем простых логических рассуждений можно записать как

$$P_d^i < \left( 1 - \frac{\delta}{(\alpha - 1) \cdot \tau_i} \right)^{(i-1)(\alpha-1)}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – разрешающая способность дешифратора;  $\alpha$  – основание алфавита;  $i$  – число перекрытых информационных сообщений.

Расчеты по приведенным выражения представлены на рис. 1 и 2.

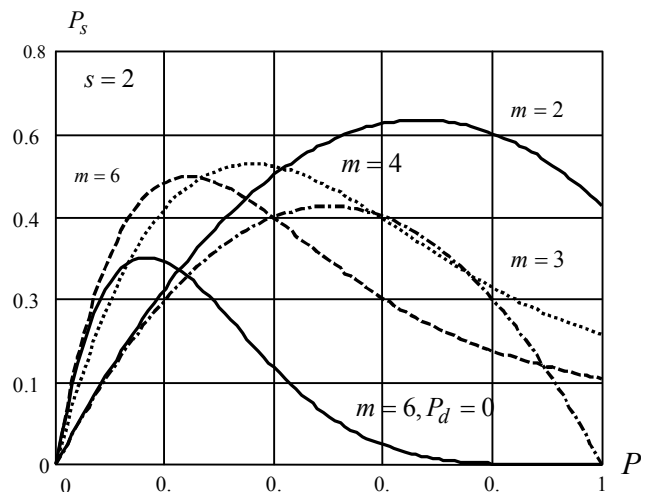


Рис. 1. Зависимость  $P_s = f(P, s, m)$

Оптимальную вероятность передачи полетной информации с борта воздушного объекта можно определить из рис. 1. При этом, как следует из рис. 1, при  $P_d \rightarrow 0$  для  $I > 2$  оптимальная вероятность равна  $P_0=1/m$ . Если  $P < P_0$  или  $P > P_0$ , то информация передается либо редко (канал недоиспользован), либо чрезмерно часто (канал перегружен). Оптимальная вероятность  $P_0$  для  $P_d = 0$  больше оптимальной вероятности для  $P_d \rightarrow 0$  примерно в 1,4 раза. При этом и  $P_s$  также, для этого случая, больше в 1,4 раза.

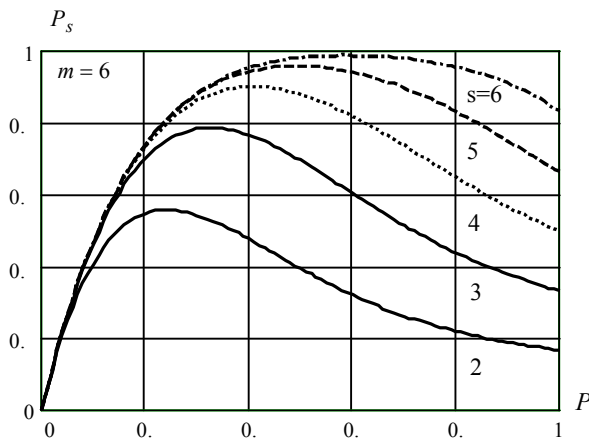


Рис. 2. Залежність  $P_s = f(P, s, m)$

Таким образом полученные выражения и приведенные зависимости позволяют оценить требуемое число каналов обработки полетной информации в зависимости от возможного числа воздушных объектов, находящихся на одном азимуте.

## Выводы

Получены выражения, позволяют определить оптимальное число каналов обработки полетной

информации в зависимости от возможного числа воздушных объектов, находящихся на одном азимуте, что позволит оптимизировать вероятность получения полетной информации на наземных пунктах управления.

## Список литературы

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. - СПб.: Политехника, 2004. - 446 с.
2. Агаджанов П.А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением / П.А. Агаджанов, В.Г. Воробьев, А.А. Кузнецов. - М.: Транспорт, 1980. - 342 с.
3. Савицкий В.И. Автоматизированные системы управления воздушным движением / В.И. Савицкий. - М.: Транспорт, 1986. - 192 с.
4. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / [Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А. і др.] - К.: МОУ, 2004. - 342 с.
5. Stevens M.C. Secondary Surveillance Radar / M.C. Stevens. - Artech House, 1988. - 345 с.
6. Garcia M.L. Test For Success: Next Generation Aircraft Identification System RF Simulation / M.L. Garcia. - IEEE ICNS '07, 007.
7. Ray P.S. A novel pulse TOA analysis technique for radar identifications. / P.S. Ray - IEEE Trans. on Aerospace And Electronic systems, vol.34, No.3, pp.716-721, 1998.
8. Теоретичні основи побудови заводозахисних систем інформаційного моніторингу повітряного простору / [В.В.Ткачев, Ю.Г.Даник, С.А. Жуков, І.І.Обод, І.О. Романенко.] - К.: МОУ, 2004. - 271 с.
9. Обод І.І. Заводозахисність вторинних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штих. - Х.: ХНУРЕ, 2014. - 310 с.

Надійшла до редколегії 23.10.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПИТАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

І.І. Обод, Г.Е. Заволодько, Б.В. Монго

У статті, на основі аналізу якості інформаційного забезпечення споживачів запитальними системами спостереження, розглянуто метод підвищення якості інформаційного забезпечення розглядаємими системами спостереження який полягає у виборі оптимального числа каналів обробки польотної інформації в залежності від можливого числа повітряних об'єктів, що знаходяться на одному азимуті. Показано, що оптимальний вибір числа каналів обробки інформації призводить до підвищення якості інформаційного забезпечення споживачів запитальними системами спостереження.

**Ключові слова:** інформаційне забезпечення, запитальні системи спостереження, обробка польотної інформації.

## IMPROVING THE QUALITY OF INFORMATION SUPPORT REQUEST SYSTEMS OF OBSERVATION

I.I. Obod, A.E. Zavalodko, B.V. Mongo

In the article, based on the analysis of the quality of information support for consumers by requesting surveillance systems, the method of improving the quality of information support by the survey systems under consideration is considered, which consists in choosing the optimal number of flight information processing channels, depending on the possible number of air units located on the same azimuth. It is shown that the optimal choice of the number of information processing channels leads to an improvement in the quality of information support for consumers by requesting surveillance systems.

**Keywords:** information support, requesting surveillance systems, flight information processing.