



тем, степень реализации возможностей по выдаче РЛИ (отношение  $K_B/K_T$ ) в боевых условиях в результате внешних воздействий ( $W$  – радиоэлектронного (РЭП) и огневого подавления элементов АСУ и СПД, изменений воздушной обстановки) могут оказаться меньше требуемых (участок  $ef$  на рис. 2). Предотвращение такой ситуации вызывает определенные затруднения, обусловленные фиксированным размером и дискретностью выдачи донесений о ВО, что не позволяет учесть ряд особенностей функционирования АСУ ПВО в условиях боевых действий:

- резкое возрастание плотности информационного потока, обусловленное массированным применением противником средств воздушного нападения;
- снижение пропускной способности КСв из-за РЭП;
- уменьшение количества КСв из-за огневого подавления;
- изменение требований к качеству РЛИ о ВО в зависимости от этапа боевых действий по ним.

Таким образом, в процессе выдачи РЛИ может возникать проблема, состоящая в противоречии между требованиями потребителей к ее выдаче и реализуемыми возможностями источников по выполнению этих требований:

$$K_T > K_B = \frac{V_{\Pi} \cdot T}{L}, \quad (1)$$

где  $V_{\Pi}$  – скорость передачи донесений, бит/с;  $T$  – дискретность (периодичность) обновления донесений о ВО, с;  $L$  – размер донесения, бит.

Решение данной проблемы направлено на обеспечение пунктов управления ПВО необходимой разведывательной и боевой РЛИ для оценки воздушной обстановки, целераспределения и целеуказания огневым средствам. Организация такого обеспечения является важным практическим заданием информационной подсистемы АСУ ПВО [1, 2].

Решить данную проблему можно с помощью специальных методов выдачи РЛИ, позволяющих адаптировать размер и дискретность выдачи донесений о ВО к вышеперечисленным особенностям (уменьшить  $L$  и увеличить  $T$  в формуле 1). Разработка таких методов является важным научным заданием при разработке математического и программного обеспечения перспективных АСУ ПВО.

**Анализ литературы.** В существующих АСУ ПВО можно выделить две группы методов решения данной проблемы [2 – 4]:

- 1) каналные методы – выделение дополнительных каналов связи или передача РЛИ по обходным маршрутам в СПД;
- 2) информационные методы – группирование или селекция ВО.

Вместе с тем, применение канальных методов ограничено ввиду их огневого подавления и использования противником электромагнитных бомб. Применение информационных методов приводит к потерям качества выдаваемой информации за счет уменьшения полноты (количества выдаваемых донесений о ВО за период обновления РЛИ) и точности.

Таким образом, в общей проблеме можно выделить нерешенную часть, которая возникает при ограничении канальных ресурсов и жестких требованиях к качеству выдаваемой РЛИ.

В целях ее решения предлагается адаптивно изменять размер донесений о ВО с помощью сжатия РЛИ без потерь ее качества или изменять дискретность выдачи РЛИ с минимизацией таких потерь.

Использование международного формата обмена РЛИ ASTERIX [5] для этой цели позволяет формировать переменную структуру донесений за счет исключения тех или иных информационных элементов, что уменьшает  $L$  в (1). Вместе с тем, данный формат не дает рекомендаций по обоснованному отбору элементов данных для их исключения из донесения.

Применение традиционных методов сжатия информации [6, 7] для решения данной проблемы затруднено из-за неоднородности данных в донесениях о ВО и необходимости учета ошибок измерений параметров ВО, а переменная дискретность выдачи РЛИ осуществляется только в неавтоматизированном режиме.

Таким образом, перечисленные ограничения существующих подходов обуславливают необходимость разработки методов адаптивной выдачи РЛИ с учетом особенностей донесений о ВО.

Так как в перспективных АСУ ПВО предполагается использовать формат обмена РЛИ ASTERIX, то оценку практических результатов применения методов адаптивной выдачи РЛИ целесообразно проводить для этого формата.

**Цель статьи.** Таким образом, целью исследования является разработка адаптивных методов выдачи донесений о ВО для повышения степени реализации возможностей в АСУ ПВО по выдаче РЛИ, которые отличаются от существующих адаптивным размером донесений и дискретностью их передачи.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1) разработка методов сжатия информационных элементов в донесениях о ВО без потерь их полноты и точности (участок  $ab$  на рис. 2):

- сжатие признаковой информации;
- сжатие информации о скорости ВО;

– сжатие координатной информации.

2) разработка метода выдачи РЛИ с переменной дискретностью и с минимизацией потерь качества РЛИ (участок bc на рис. 2).

**Метод сжатия признаковой информации.** На основании анализа признаковой информации в донесениях о ВО можно разделить все признаки по частоте изменения своих значений на соответствующие группы (например, редко изменяющиеся и часто изменяющиеся). Сжатие информации предлагается осуществлять за счет исключения из донесения неизменившейся группы признаков, что позволит восстановить их на приемной стороне по предыдущему значению. Очевидно, что эффективность этого метода будет зависеть от правильного формирования групп признаков. Ввиду случайного характера изменения признаков можно проводить лишь вероятностный прогноз достигаемой при этом степени сжатия информации.

Если применение данного метода не позволяет решить возникшую проблему (1), то целесообразно дополнительно сжимать информацию о скорости в донесениях о ВО.

**Метод сжатия информации о скорости ВО.** Функцию расчета значений скорости движения ВО можно передать потребителю РЛИ, так как эти значения являются производными от ее координат. За счет этого предлагается исключать информацию о скорости ВО из донесений. Для применения данного метода необходимо учитывать признак новизны ВО (выдается ли ВО первый раз данному потребителю), чтобы обеспечить возможность восстановления значения скорости ВО на приемной стороне, а также пропуски ВО, чтобы обеспечить однозначность значения скорости ВО на приемной и передающей стороне. Применение данного метода для формата ASTERIX позволяет уменьшить на 6 байт размер донесения о ВО.

Если применение данного метода не позволяет решить возникшую проблему (1), то целесообразно дополнительно сжимать координатную информацию о скорости в донесениях о ВО.

**Методы сжатия координатной информации.** Предлагается использование трех методов для сжатия координатной информации:

- 1) метод относительного кодирования координат ВО;
- 2) метод коррекции моделируемой трассы ВО;
- 3) метод переноса системы координат в зону полетов ВО.

В основу метода относительного кодирования координат ВО (рис. 3) положена идея дельта-кодирования [6], которая состоит в передаче лишь изменений информационного параметра. Вместе с тем, поточный харак-

тер его применения неприемлем для передачи РЛИ ввиду разнородности информации в донесении. Кроме того, необходимо учитывать ошибки измерений параметров ВО для определения размера сжатого поля данных. Поэтому предлагается применять дельта-кодирование не для всего потока РЛИ, а лишь для конкретных информационных элементов – одноименных координат в последовательных донесениях по одному ВО. Длина относительного кода координат зависит от скорости ВО. Анализ возможных значений скоростей полета различных типов СВН [8] показывает, что максимальное приращение значений их плоскостных координат за 10 с с учетом ошибок измерения координат соответствует длине кода в 7 – 10 бит для разных типов РЛС. Это на 38 – 56 % меньше, чем коды координат в формате ASTERIX. Данный метод целесообразно использовать при небольших скоростях полета ВО, чтобы ограничить размер кода координат одним байтом. Если ВО высокоскоростной, то эффективнее будет использовать методы, представленные ниже.

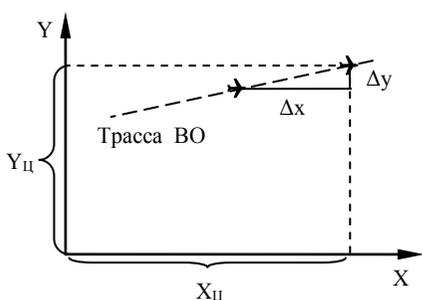


Рис. 3. Метод относительного кодирования координат

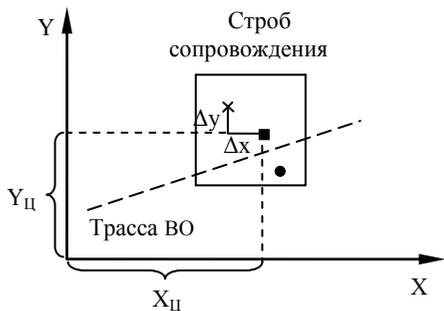


Рис. 4. Метод коррекции моделируемой трассы:

- измеренная отметка;
- сглаженная отметка;
- × экстраполированная отметка

В основу метода коррекции моделируемой трассы ВО (рис. 4) положена идея линейно-предсказывающего кодирования [5]. Учитывая неоднородность информации в донесении о ВО и ошибки измерений предлагается передавать в донесениях не абсолютные значения координат цели ( $X$ ,  $Y$ ,  $H$ ), а ошибки их прогноза (экстраполяции), что уменьшает количество координатной информации. При использовании этого метода необходимо определить правила экстраполяции и сглаживания координат с учетом модели движения ВО (например, такие как в [9]).

При использовании модели прямолинейного равномерного движения ВО для данного метода, в донесении будет передаваться разность

между экстраполированными и сглаженными значениями координат, а на участке маневра – разность между экстраполированными и измеренными значениями координат. Анализ возможных величин этих разностей показывает, что максимальная длина их кода с учетом ошибок измерения координат составляет 7 – 9 бит для разных типов РЛС. Это на 44 – 56% меньше, чем коды координат в формате ASTERIX. Данный метод целесообразно использовать для неманеврирующих ВО, чтобы ограничить размер кода координат одним байтом.

В случае группового характера полета ВО предлагается осуществить параллельный перенос наземной системы координат в зону полетов ВО (рис. 5) и использовать в дальнейшем подвижную систему координат, что уменьшает количество координатной информации. При переносе начала системы координат на один из ВО такое уменьшение обусловлено тем, что расстояния между ВО в отдельных группах в несколько раз меньше, чем расстояния от них до наземной системы координат.

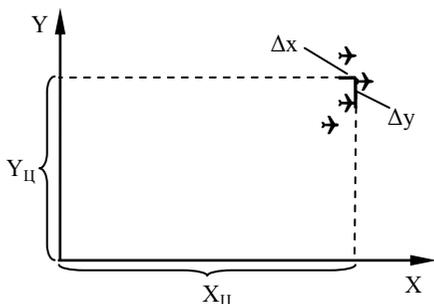


Рис. 5. Метод переноса системы координат

Анализ построения боевых порядков СВН [8] показывает, что коды координат в рамках таких групп имеют размер, не превышающий 7 – 9 бит, с учетом ошибок измерения координат для разных типов РЛС. Это на 44 – 56 % меньше, чем в формате ASTERIX.

Если применение методов сжатия РЛИ без потерь ее качества не позволяет решить возникшую проблему (1), то предлагается увеличивать дискретность выдачи донесений по ВО, удовлетворяющим определенным условиям.

**Метод выдачи РЛИ с переменной дискретностью.** Предлагается устранять избыточность РЛИ за счет выдачи донесений о ВО с переменной дискретностью. Минимизировать потери качества информации при этом предлагается исходя из важности целей, их подлетного времени до заданных рубежей и уменьшения точности восстановления информации из-за увеличения дискретности.

Предлагается разделить ВО на несколько групп по приоритету их важности (степени опасности). Отбор ВО для исключения их из передачи в данном цикле выдачи РЛИ предлагается проводить, начиная с группы с наименьшим приоритетом.

Данная задача относится к классу многокритериальных. Для ее ре-

шения предлагается использовать метод Гермейера, основанный на минимаксном критерии с учетом предпочтения альтернатив [10]:

$$F(i) = \min_{i \in A} \max_{j \in J} p_j \cdot w_j(i),$$

где  $A$  – множество альтернатив для отмены выдачи донесения о ВО в данном цикле обновления информации;  $J$  – множество преобразований целевых функций  $\{j=1, 2\}$ : минимума потерь точности РЛИ и максимума подлетного времени до заданного рубежа для ВО, исключенного из передачи в данном цикле выдачи РЛИ;  $p_j$  – вес  $j$ -й целевой функции, характеризующий ее предпочтение относительно других целевых функций, который определяется экспертным путем с учетом условия нормировки  $\sum_j p_j = 1$ ;

$w_j$  – преобразование  $j$ -й целевой функции, обусловленное необходимостью приведения ее к безразмерному виду, так как целевые функции имеют различную размерность.

Если применение данного метода приводит к неприемлемым потерям качества РЛИ по отдельным ВО, то целесообразно для этих ВО применить методы группирования или селекции [2 – 4].

**Выводы.** В результате данного исследования получены следующие научные результаты:

1) получил дальнейшее развитие метод изменения состава информационных элементов в донесениях о ВО в формате ASTERIX за счет формирования групп признаков с близкой частотой изменения, а также восстановления составляющих скорости по двум последовательным донесениям об одном ВО;

2) усовершенствованы методы сжатия РЛИ за счет учета ошибок измерения траекторных параметров ВО и неоднородности информации в донесениях;

3) впервые получено сжатие РЛИ за счет переноса системы координат в зону полетов ВО;

4) впервые получено сжатие РЛИ за счет переменной дискретности выдачи донесений с учетом важности ВО, подлетного времени до заданных рубежей и ошибок восстановления координат.

Практическим результатом исследования является увеличение степени реализации возможностей по выдаче РЛИ в АСУ ПВО за счет уменьшения интенсивности информационного потока РЛИ при сжатии информационных элементов в донесениях о ВО и переменной дискретности их выдачи.

Перспективами дальнейших исследований является разработка методики адаптивного управления выдачей радиолокационной информации, которая в зависимости от складывающейся воздушной обстановки и пропускной способности канала связи выбирает оптимальный метод сжатия информации для каждого донесения о воздушных объектах. Это приведет к дальнейшему увеличению степени реализации возможностей по выдаче радиолокационной информации в автоматизированной системе управления ПВО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Неупокоев Ф.К. Противовоздушный бой. – М.: Воениздат, 1989. – 262 с.
2. Глебов Ю.В., Войтович С.А., Патракеев И.М. Математическое и программное обеспечение автоматизированных систем управления. – Х.: ХВУ, 1988. – 239 с.
3. Глебов Ю.В., Грачёв В.М., Абрамов В.А. Теоретические основы автоматизации управления в войсках ПВО. – Х.: ВИРТА ПВО, 1984. – 280 с.
4. Глебов Ю.В., Абрамов В.А. Автоматизация боевого управления в войсках ПВО. – Х.: ВИРТА ПВО, 1988. – 230 с.
5. EUROCONTROL STANDARD DOCUMENT FOR RADAR DATA EXCHANGE, Part 1. – All Purpose Structured Eurocontrol Radar Information Exchange (ASTERIX), (Ref: SUR.ET1.ST05.2000-STD-01-01), November 1997, 59 p.
6. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
7. Олифер Л.М., Олифер М.Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – С.-Пб.: Питер, 2000. – 500 с.
8. Средства воздушно-космического нападения противника и их характеристика как целей для Войск ПВО / В.К. Стрельников, В.И. Пустоветов, Ю.С. Соломатин, В.А. Гречанинов / Под ред. В.К. Стрельникова. – Х.: ВИРТА ПВО, 1988. – 372 с.
9. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: КВИЦ, 2000. – 428 с.
10. Зайченко Ю.П. Исследование операций: Учебник. – К.: Вища школа, 1988. – 552 с.

Поступила 2.06.2003

**СИСКОВ Александр Васильевич**, адъюнкт ХВУ. В 1997 году окончил ХВУ. Область научных интересов – применение адаптивных методов для управления информационными потоками в АСУ.

---