

УДК 621.353

Подход к оценке эффективности радиотехнического обеспечения полётов авиации

Ивануткин А.Г., Казьмин А.И.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков 54а, Воронеж, 394064, Россия

e-mail: mazurova83@mail.ru

e-mail: alek-kazmin@ya.ru

Аннотация

Представлен один из подходов к оценке эффективности радиотехнического обеспечения полётов авиации как информационного процесса с помощью военно-экономических и военно-технических показателей. Приведены требования к радиотехническому обеспечению полётов авиации. Представлен системный подход к оценке системы радиотехнического обеспечения полётов авиации.

Ключевые слова

радиотехническое обеспечение полётов, воздушное судно, эффективность, показатель, живучесть системы, информационный обмен.

1. Введение. Постановка задачи

Аэродромная сеть России насчитывает большое количество аэродромов военного назначения, а также аэродромов совместного использования и совместного базирования. В зонах воздушного пространства над приаэро-

дромной территорией решаются сложные и ответственные задачи по управлению воздушным движением, такие как взлет, построение боевых порядков, полет по маршруту и посадка. Системы радиотехнического обеспечения полетов авиации являются для экипажей воздушных судов единственным источником объективной информации о своем местоположении на земле и в воздухе, а для групп руководства полетами – о воздушной обстановке в зоне ответственности. Для обеспечения требуемого уровня безопасности полетов на аэродромах государственной авиации РФ устанавливаются стационарные и мобильные наземные комплексы и средства радиотехнического обеспечения полетов военного назначения.

2. Показатели оценки эффективности радиотехнического обеспечения полетов авиации и понятийный аппарат.

Оценка эффективности функционирования систем военного назначения является составной частью военно-экономического анализа и предполагает в общем случае оценку трех групп показателей: эффекта (\mathcal{E}), затрат (\mathcal{Z}) и времени (\mathcal{T}). Исходя из перечисленных групп показателей, основную задачу повышения эффективности функционирования системы радиотехнического обеспечения можно сформулировать следующим образом: при заданном объеме выделяемых ресурсов ($\mathcal{Z}_{\text{тр}}$) и требуемом времени достижения цели ($\mathcal{T}_{\text{тр}}$), найти такой способ организации системы радиотехнического обеспечения (РТО), при котором достигается наибольший конечный результат (эффект): $\mathcal{E} \rightarrow \max, \mathcal{Z} \leq \mathcal{Z}_{\text{тр}}, \mathcal{T} \leq \mathcal{T}_{\text{тр}}$ [1].

Под эффективностью системы обычно понимают свойство системы соответствовать ее целевому предназначению [2]. Система радиотехнического обеспечения предназначена для решения двух основных задач: предоставление информации о местоположении воздушных судов должностным лицам пунктов управления авиацией и обеспечение экипажей воздушных судов информацией для ориентировки в воздушном пространстве и на земле в простых и сложных метеоусловиях днем и ночью.

Таким образом, система радиотехнического обеспечения представляет собой сложную систему, которой присущи процессы информационного обмена, а конечным результатом ее работы является информация, полученная потребителями. Следовательно, эффективность функционирования системы радиотехнического обеспечения можно характеризовать совокупностью показателей, присущих информационному обмену. Основными из них являются своевременность, достоверность и безопасность.

Под своевременностью информационного обмена понимают способность информационной системы обеспечивать доставку и обработку всех видов информации между управляемыми объектами в заданные сроки. Количественной мерой этой способности является время нахождения сообщений определенного вида в информационной системе ($T_{пер}$), включающее время на доставку $T_{дост}$ и обработку $T_{обр}$: $T_{пер} = T_{дост} + T_{обр}$.

Из-за большого числа случайных факторов, воздействующих на информационную систему, реальное время нахождения сообщений в ней будет также случайным. Поэтому за показатель своевременности информационного

обмена, как правило, принимают вероятность нахождения сообщения в информационной системе в течение времени, не превышающего допустимого:

$$K_{св} = P (T_{пер} < T_{пер.дон}).$$

С учетом этого на практике показатель своевременности часто представляют совокупностью двух показателей: своевременности доставки сообщений и своевременности обработки информации.

Под своевременностью доставки сообщений при этом понимают вероятность того, что время пребывания сообщений заданного вида в системе связи и радиотехнического обеспечения не превысит допустимого значения:

$$K_{опер} = P (T_{дост} < T_{дост.дон}),$$
 где $K_{опер}$ - коэффициент, численно равный вероятности своевременного доведения задач, указаний по взаимодействию и т. д.

[3], а под своевременностью обработки информации – соответственно вероятность того, что время обработки информации не превысит допустимого:

$$K_{обр} = P (T_{обр} < T_{обр.дон}).$$

Причем под временем обработки информации понимается период от получения объектом управления информации состояния до выработки управляющего воздействия (командной информации).

Таким образом:

$$K_{опер} = K_{дост} K_{обр} . \tag{1}$$

Под достоверностью информационного обмена понимается способность информационной системы обеспечивать требуемую точность воспроизведения сообщений в пунктах доставки, а также способность сохранять эту точность при преобразовании информации. В целях повышения достоверно-

сти обнаружения низколетящих целей над водной поверхностью для средств и систем радиолокационного обеспечения полетов целесообразно применять «Устройство обнаружения низколетящих целей по данным от автономных радиолокаторов» [4].

Поскольку система радиотехнического обеспечения относится к классу человеко-машинных систем, в которых главным пользователем информации является человек, то понятие «точность воспроизведения информации» носит, в общем случае, субъективный характер, так как зависит от степени восприятия той или иной информации конкретным субъектом. В связи с этим, отыскать некоторую объективную меру точности воспроизведения информации весьма трудно. Поэтому за показатель достоверности целесообразно принять вероятность того, что число ошибок в сообщении ($n_{ош}$) не превысит допустимое ($n_{ош.доп}$):

$$K_{\partial} = P(n_{ош} \leq n_{ош.доп}). \quad (2)$$

Под безопасностью информационного обмена в общем случае следует понимать способность информационной системы противостоять несанкционированному получению, уничтожению или изменению информации в ходе ее передачи, хранения и обработки [5].

В настоящее время для оценки безопасности информационного обмена широко используются понятия скрытости и имитостойкости. Ввиду того, что любая информация, циркулирующая в системе управления, обладает оперативной ценностью лишь определенное (допустимое) время, после которого

она становится бесполезной, за показатель скрытости информационной системы обычно принимают вероятность того, что время вскрытия информации окажется не меньше допустимого $K_{скр} = P(T_{вскр} \geq T_{вскр.доп})$.

За показатель имитостойкости обычно принимают вероятность отсутствия ложной информации в информационной системе: $K_{им} = 1 - P_{ли}$, где $P_{ли}$ - вероятность ввода ложной информации в информационную систему.

С учетом этого безопасность информационного обмена может быть определена с помощью выражения:

$$K_{без} = K_{скр} K_{им} . \quad (3)$$

Для оценки эффективности функционирования системы радиотехнического обеспечения, обеспечивающей в основном доставку информационных сообщений потребителям, на первый план выдвигаются показатели своевременности и достоверности.

Вполне очевидно, что в реальном процессе информационного обмена указанные показатели взаимосвязаны. Действительно, низкая достоверность передачи информации приводит к необходимости ее повторения, а это ведет, в свою очередь, к снижению своевременности передачи.

Следовательно, за общий показатель эффективности функционирования системы радиотехнического обеспечения следует принять совместную вероятность своевременной и достоверной передачи информации:

$$\mathcal{E} = P\{T_{пер} \leq T_{пер.доп}, n_{ош} \leq n_{ош.доп}\} = P\{T_{пер} \leq T_{пер.доп} / n_{ош} \leq n_{ош.доп}\} P(n_{ош} \leq n_{ош.доп}), \quad (4)$$

где $P\{T_{пер} \leq T_{пер.дон} / n_{ош} \leq n_{ош.дон}\}$ – условная вероятность своевременной передачи информации при условии выполнения требований по достоверности; $P\{n_{ош} \leq n_{ош.дон}\}$ – безусловная вероятность достоверной передачи информации.

3. Методика определения частных показателей эффективности радиотехнического обеспечения полетов авиации

В настоящее время наиболее общим методологическим принципом исследования любых систем является «системный подход», в соответствии с которым любая управляемая система может рассматриваться как составная часть (элемент) системы более высокого порядка [6]. Ввиду сложности рассматриваемой системы, непосредственная оценка ее эффективности по указанным показателям оказывается затрудненной, что обуславливает необходимость осуществления декомпозиции исследуемой системы на отдельные элементы и определения частных показателей эффективности этих элементов, непосредственно влияющих на общие (системные) показатели.

Анализ войскового опыта позволяет сделать вывод, что для системы связи и радиотехнического обеспечения целесообразно выделить как минимум шесть следующих уровней декомпозиции с соответствующими каждому уровню показателями эффективности: 0 – физическая среда; 1 – радиоэлектронное средство; 2 – информационное звено; 3 – информационная цепь; 4 – информационное направление; 5 – информационная сеть.

Под физической средой в данном случае следует понимать определенные закономерности, присущие окружающему нас материальному миру; под радиоэлектронным средством – любое средство связи или радиотехнического

обеспечения, способное передавать (принимать) информацию (информационные сигналы); под информационным звеном – совокупность передающего, приемного радиоэлектронных средств и среды передачи, например: наземная радиостанция – воздушное пространство – бортовое радиоэлектронное оборудование воздушного судна; под информационной цепью – последовательное соединение информационных звеньев между должностным лицом пункта управления и экипажем воздушного судна или между должностными лицами двух объектов системы (например: руководитель полётов – наземная радиостанция – воздушное пространство - наземный радиоприёмник – приводная аэродромная станция – воздушное пространство – бортовое радиоэлектронное оборудование воздушного судна - экипаж воздушного судна); под информационным направлением – совокупность независимых информационных цепей между двумя объектами системы (например: первая информационная цепь: радиолокационная система посадки – руководитель зоны посадки – наземная радиостанция – воздушное пространство – бортовая радиостанция – экипаж воздушного судна; вторая информационная цепь: посадочная радиомаячная группа – воздушное пространство – бортовая радиотехническая система ближней радионавигации - экипаж воздушного судна; третья информационная цепь: огни взлётно-посадочной полосы – воздушное пространство – экипаж воздушного судна); под информационной сетью – совокупность соответствующих направлений или исследуемую систему радиотехнического обеспечения в целом.

К наиболее существенным показателям на первом уровне можно отнести следующие:

- коэффициент технической надежности радиоэлектронных средств (РЭС)

$$K_{\text{тнРЭС}} = 1 - P_{\text{отРЭС}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{отРЭС}}$ - вероятность возникновения технического отказа РЭС за время его функционирования,

- коэффициент живучести РЭС

$$K_{\text{жРЭС}} = 1 - (1 - K_{\text{рзРЭСон}}) P_{\text{онРЭС}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{онРЭС}}$ - вероятность применения по РЭС средств огневого поражения (в том числе и высокоточного оружия); $K_{\text{рзРЭСон}}$ - коэффициент разведзащищенности РЭС от огневого поражения

$$K_{\text{рзРЭСон}} = 1 - P_{\text{обнРЭС}} P_{\text{оцРЭСон}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{обнРЭС}}$ - вероятность обнаружения РЭС противником; $P_{\text{оцРЭСон}}$ - вероятность оценки параметров РЭС, необходимых для его огневого поражения,

- коэффициент помехозащищенности РЭС, определяемый как предельное отношение мощности помехи (P_n) к мощности радиосигнала (P_c) на входе приемного устройства, при котором качество передачи информации будет соответствовать установленным требованиям

$$K_{\text{нзРЭС}} = \frac{\left(\frac{P_n}{P_c} \right)_{\text{ВХ max}}}{P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош.тп}}}. \quad (8)$$

В соответствии с общим показателем эффективности функционирования системы РТО за основной показатель эффективности информационного звена целесообразно принять коэффициент его устойчивости:

$$K_{yИЗ} = K_{жРЭСi} K_{жРЭСj} K_{нхуИЗ} K_{тнРЭСi} K_{тнРЭСj} , \quad (9)$$

где $K_{жРЭСi}$, $K_{жРЭСj}$ - коэффициент живучести i-го и j-го РЭС; $K_{тнРЭСi}$, $K_{тнРЭСj}$ - коэффициент технической надежности i-го и j-го РЭС; $K_{нхуИЗ}$ - коэффициент помехоустойчивости информационного звена,

$$K_{нхуИЗ} = 1 - (1 - K_{рзРЭСрп}) P_{эн} P_{вн} P_{нн} , \quad (10)$$

где $K_{рзРЭСрп}$ - коэффициент разведзащищенности РЭС от радиоподавления,

$$K_{рзРЭСрп} = 1 - P_{обнРЭС} P_{оцРЭСрп} , \quad (11)$$

где $P_{обнРЭС}$ - вероятность обнаружения РЭС противником; $P_{оцРЭСрп}$ - вероятность оценки параметров РЭС, необходимых для его радиоподавления системой радиоэлектронного подавления противника; $P_{эн}$, $P_{вн}$, $P_{нн}$ - вероятности энергетического, временного подавления информационного звена и вероятность принятия решения противником на его подавление

$$P_{эн} = P \left\{ \left(\frac{P_n}{P_c} \right)_{\text{вРЭС}} \geq K_{нзРЭС} \right\} , \quad (12)$$

$$P_{вн} = \frac{t_{нep}}{t_{нep} + \tau_{РЭП}} , \quad (13)$$

где $t_{нep}$ - время работы РЭС на передачу; $\tau_{РЭП}$ - время реакции системы радиоэлектронного подавления (от обнаружения РЭС до постановки преднамеренных помех).

Физически показатель (9) означает вероятность доставки информационным звеном информации с требуемым качеством в условиях технических отказов, огневого и радиоэлектронного воздействия.

В качестве показателя эффективности информационной цепи примем коэффициент ее устойчивости, который с учетом последовательного соединения информационных звеньев формально может быть описан выражением:

$$K_{y_{ИЦ}} = \prod_{i=1}^N K_{y_{ИЗi}}, \quad (14)$$

где $K_{y_{ИЗi}}$ - коэффициент устойчивости i -го информационного звена информационной цепи.

С учетом указанного определения за показатель эффективности информационного направления может быть принята вероятность сохранения на данном направлении не менее L информационных цепей из M запланированных, удовлетворяющих требованиям по своевременности и достоверности доставки информации. Это связность информационного направления, которая определяется по формуле:

$$K_{ИИ} = P\left\{l \geq \frac{L}{M}\right\}. \quad (15)$$

В частном случае минимальная связность информационного направления может быть определена как вероятность сохранения на нем хотя бы одной информационной цепи, удовлетворяющей требованиям своевременности и достоверности:

$$K_{ИИ \min} = P\left\{l \geq \frac{1}{M}\right\} = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - K_{y_{ИЦi}}), \quad (16)$$

где $K_{уиц}$ - коэффициент устойчивости 1-ой информационной цепи данного направления.

В качестве обобщенного показателя эффективности системы радиотехнического обеспечения как совокупности информационных направлений в данном случае может служить матрица связностей информационных направлений:

$$\mathcal{E}_{РТО} = \{K_{ИН}\}_{a \times b \times c}. \quad (17)$$

Таким образом, при поиске оптимальной структуры системы радиотехнического обеспечения имеем задачу векторной оптимизации, решение которой может быть найдено, если в качестве обобщенного показателя эффективности функционирования системы радиотехнического обеспечения выбрать средневзвешенную по важности информационных направлений связность сети радиотехнического обеспечения, состоящую из стационарной (a), мобильной (b) и аэромобильной компоненты (c):

$$\mathcal{E}_{РТО} = \alpha_a \left(1 - \prod_{a=1}^A (1 - K_{ИИa}) \right) + \alpha_b \left(1 - \prod_{b=1}^B (1 - K_{ИИb}) \right) + \alpha_c \left(1 - \prod_{c=1}^C (1 - K_{ИИc}) \right), \quad (18)$$

где $K_{ИИa}$, $K_{ИИb}$, $K_{ИИc}$ – связность информационных направлений соответственно для стационарной, мобильной и аэромобильной составляющих системы радиотехнического обеспечения; α_a , α_b , α_c – весовые коэффициенты соответственно для стационарной, мобильной и аэромобильной компоненты системы радиотехнического обеспечения.

Известно большое число работ, посвященных определению весовых коэффициентов. Для этих целей предлагается использовать методы эксперт-

ных оценок, методы статистического усреднения, методы ранжирования коэффициентов по степени устойчивости и чувствительности получаемого решения и другие.

Так как при оценке эффективности функционирования системы радиотехнического обеспечения в выражении (18) используются всего лишь три весовых коэффициента, то наиболее целесообразно принять следующие их значения: 0.5 – для стационарной, 0.31 – для мобильной и 0.19 – для аэромобильной компоненты, основываясь на теории «хаоса и симметрии» и принципа «золотого сечения».

Эффективность функционирования системы радиотехнического обеспечения может быть оценена согласно предложенной методике по предложенному на рисунке 1 алгоритму.

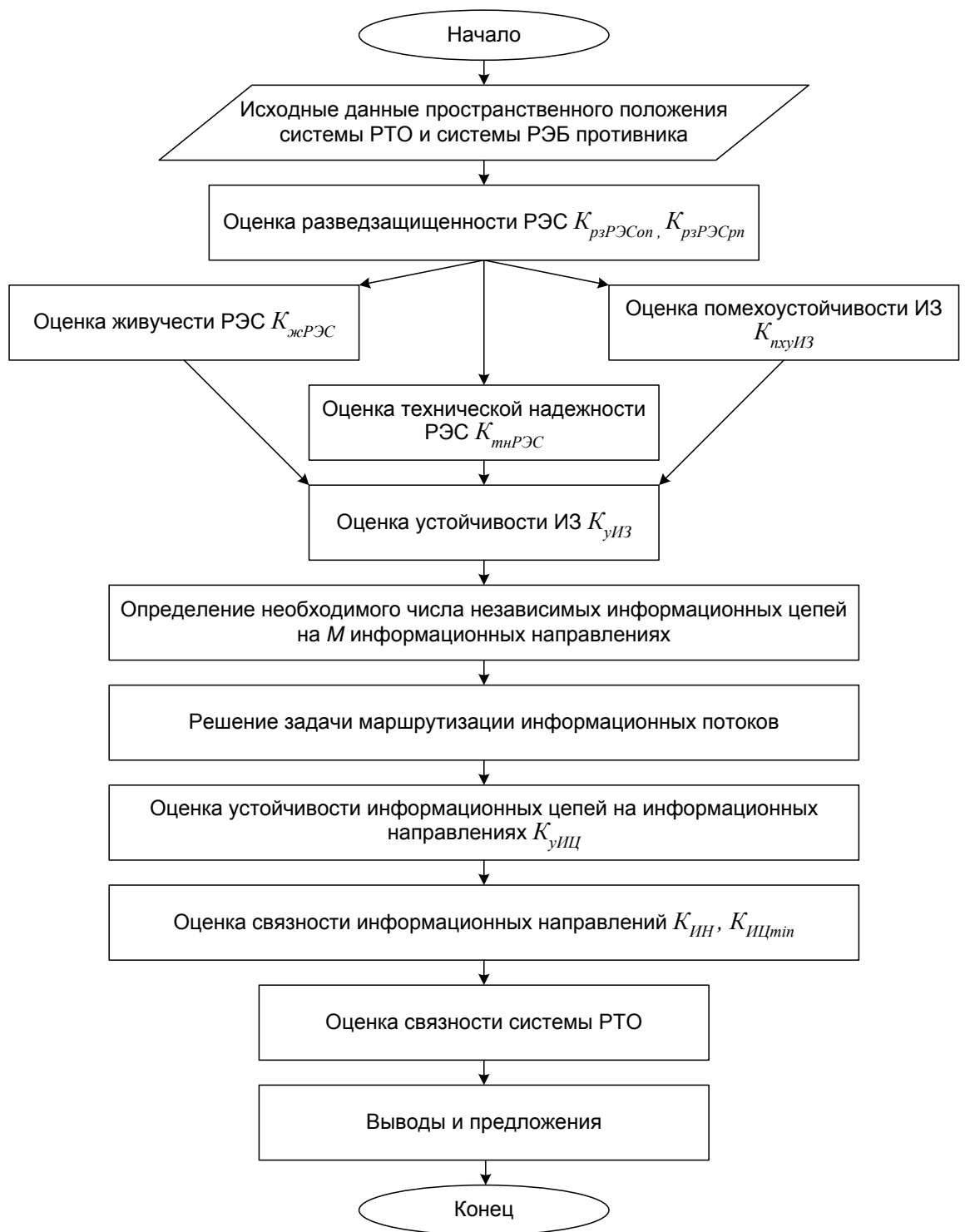


Рисунок 1. Алгоритм оценки эффективности функционирования системы РТО

Таким образом, в основу выбора показателей и критериев эффективности радиотехнического обеспечения государственной авиации как информационного процесса положена цель его осуществления, реализуемая системой радиотехнического обеспечения путем решения основных задач, способст-

вующих выполнению предъявленных к нему требований по своевременности, достоверности и безопасности. Предложенная методика оценки эффективности радиотехнического обеспечения авиации позволят обеспечить более качественную и оперативную разработку предложений для принятия решения на организацию радиотехнического обеспечения на аэродромах государственной авиации.

Библиографический список

1. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность системы военной связи и методы ее оценки. – Санкт-Петербург: Военная академия связи, 2006. -183 с.
2. Саранцев Г.В. Теоретические и научно-методические основы обеспечения построения сложных организационно-технических систем военной связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах. Монография. Санкт-Петербург: Военная академия связи, 2007. -180 с.
3. Афанасьев Ю.И. Обоснование системы показателей эффективности взаимодействия войск (сил) противовоздушной обороны // Военная мысль. 2011. №6. С 47-51.
4. Устройство обнаружения низколетящих целей по данным от автономных радиолокаторов. Патент РФ № 2241240 от 27.11.2004/ Афанасьев Ю.И, Курзенев Г.В., Леонов Н.В.
5. Словарь войск связи Вооруженных сил Российской Федерации. - М: Воениздат, 2008. 213 с.

6. Ермишян А.Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Учебник. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. - Санкт-Петербург: Военная академия связи, 2005. -740 с.