

Подход к выбору показателей эффективности связи и радиотехнического обеспечения полетов авиации

Ивануткин А.Г.*, **Данилин М.А.****, **Пресняков М.Ю.****

*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: maxxxl78@mail.ru*

***e-mail: maxxxl78@mail.ru*

Аннотация

Подход к выбору общих показателей эффективности связи и радиотехнического обеспечения полетов авиации, характеризующих качество информационного обеспечения авиации. Предложена методика определения частных показателей эффективности системы связи и радиотехнического обеспечения.

Ключевые слова: связь, радиотехническое обеспечение полетов, воздушное судно, эффективность, показатель, живучесть системы, информационный обмен.

1 Введение. Постановка задачи

Тенденции последних десятилетий в области информационного обеспечения авиации свидетельствуют о повышении требований к связи и радиотехническому обеспечению (РТО) полетов. Кроме того, процесс оснащения аэродромов государственной авиации новыми средствами связи и РТО диктует необходимость оценки качества их функционирования в ходе решения задач авиацией. В зонах воздушного пространства над приаэродромной территорией решаются сложные и ответственные

задачи по управлению воздушным движением, такие как взлет, построение боевых порядков, полет по маршруту и посадка. Системы связи и РТО 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. Таким образом возникает ряд противоречий, с одной стороны возрастание требований к связи и РТО полетов авиации, с другой – необходимость определения показателей эффективности связи и РТО, характеризующих достижение данных требований. Исходя из этого, возникает задача по выбору показателей оценки эффективности связи и РТО полетов авиации, характеризующих качество информационного обмена в системе управления авиацией.

2 Определение обобщенных показателей оценки эффективности связи и радиотехнического обеспечения полетов авиации

Оценка эффективности функционирования систем военного назначения является составной частью военно-экономического анализа и предполагает в общем случае оценку трех групп показателей: эффекта, затрат и времени. Исходя из перечисленных групп показателей, основную задачу повышения эффективности связи и РТО можно сформулировать следующим образом: при заданном объеме выделяемых ресурсов, требуемом времени достижения цели, найти такой способ организации связи и РТО, при котором достигается наибольший конечный результат (эффект) [1]. Под эффектом, в данном случае, целесообразно понимать результат применения связи и РТО в определенных условиях, которые могут быть случайными. Исходя из предназначения связи и РТО полетов, результатом его применения явля-

ется предоставление информации потребителям на всех этапах полета с требуемым качеством. В связи с этим, эффект применения данной системы может быть оценен качественным показателем вероятностного типа.

Под эффективностью в широком смысле понимают свойство любой целенаправленной деятельности соответствовать ее целевому предназначению с учетом затрат ресурсов и времени [2]. Связь и радиотехническое обеспечение предназначено 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 [3]. Следовательно, эффективность связи и РТО можно характеризовать совокупностью качественных показателей, присущих информационному обмену, основными из них являются своевременность, достоверность и безопасность. Задачи по достижению требуемых значений данных показателей возложены на систему связи и РТО полетов авиации, представляющей собой совокупность наземных и бортовых радиотехнических, светотехнических средств и средств связи, функционирующих взаимосвязано по времени, пространству и частотным диапазонам в интересах обеспечения самолетовождения и управления авиацией на земле и в воздухе днем и ночью в простых и сложных метеоусловиях [4].

Таким образом за своевременность связи и РТО можно принять способность системы связи и РТО обеспечивать доставку и обработку информации потребителям в заданные сроки. Количественной мерой этой способности является время нахож-

дения 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 систему связи и РТО, реальное время нахождения сообщений в ней будет также случайным. Поэтому за показатель своевременности связи и РТО, целесообразно принять вероятность нахождения сообщения в системе связи и РТО ($P_{свРТО}$) в течение времени, не превышающего допустимого: $P_{свРТО} = P(T_{пер} < T_{пер.дон})$. В предположении экспоненциального закона распределения величины ($T_{пер}$), для примера, требуемая вероятность своевременности связи и РТО может составлять не менее 0,63.

Под достоверностью связи и РТО следует понимать способность системы связи и РТО обеспечивать требуемую точность самолетовождения.

Поскольку система связи и РТО 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. Однако, в качестве примера, определить требуемую точность самолетовождения можно для гарантированной вероятности равной 0,86 [5]. Поэтому за показатель достоверности связи и РТО целесообразно принять вероятность того, что число ошибок в сообщении ($n_{ош}$) не превысит допустимое ($n_{ош.дон}$):

$$P_{дРТО} = P(n_{ош} \leq n_{ош.дон}) = 0,86. \quad (1)$$

Под безопасностью связи и РТО следует понимать способность системы противостоять несанкционированному получению, уничтожению или изменению информации в ходе ее передачи, хранения и обработки [6].

В настоящее время для оценки безопасности информационного обмена широко используются понятия скрытости и имитостойкости. Ввиду того, что 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 $P_{скр} = P(T_{вскр} \geq T_{вскр.доп})$.

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

С учетом этого безопасность связи и РТО может быть определена с помощью выражения:

$$P_{безРТО} = P_{скрРТО} P_{имРТО}, \quad (2)$$

где $P_{безРТО}$ – вероятность безопасности связи и РТО; $P_{скрРТО}$ – вероятность обеспечения системой связи и РТО скрытости информации; $P_{имРТО}$ – вероятность обеспечения системой связи и РТО имитостойкости информации.

В качестве примера, для определения численного значения вероятности воспользуемся экспоненциальным законом распределения случайной величины $T_{вскр}$. При этом, получим значение равное 0,63.

Исходя из вышеизложенного за общий показатель эффективности связи и РТО целесообразно принять вероятность формирования и выдачи системой связи и РТО потребителям своевременной, достоверной и безопасной информации на каждом этапе полета воздушного судна ($W_{РТО}$).

Для оценки эффективности функционирования системы связи и РТО, 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 информации.

С учетом этого общий показатель эффективности связи и РТО можно представить в следующем виде:

$$W_{РТО} = P\{T_{пер} \leq T_{пер.дон} / n_{ош} \leq n_{ош.дон}\} P(n_{ош} \leq n_{ош.дон}) P_{безРТО}, \quad (3)$$

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

Таким образом, в качестве обобщенного показателя эффективности связи и РТО можно принять вероятность выполнения задач с требуемым качеством на всех этапах полета воздушного судна ($W_{эРТО}$). Математическое выражение данного показателя можно представить в виде:

$$W_{эРТО} = \sum_{i=1}^N \alpha_i W_{РТОi}, \quad (4)$$

где N – подмножество i -ых задач связи и РТО, способствующих достижению цели;
 α_i – весовые коэффициенты каждой из задач связи и РТО, при условии, что их сумма не превышает единицы.

Известно большое число работ, посвященных определению весовых коэффициентов. Для этих целей предлагается использовать методы экспертных оценок, методы статистического усреднения, методы ранжирования коэффициентов по степени устойчивости и чувствительности получаемого решения и другие.

3 Методика определения частных показателей эффективности связи и 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 [7].

Анализ опыта обеспечения полетов авиации позволяет сделать вывод, что для системы связи и РТО 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 среду распространения информации (например, воздушное пространство); под радиоэлектронным средством – любое средство связи или радиотехнического обеспечения, способное формировать, передавать (принимать) информацию (информационные сигналы);

под информационным звеном – совокупность 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 полетов – наземная радиостанция – воздушное пространство – наземный радиоприемник – 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 взлетно-посадочной полосы – воздушное пространство – экипаж воздушного судна); под информационной сетью – совокупность соответствующих направлений или исследуемую систему радиотехнического обеспечения в целом.

В качестве примера определения показателя эффективности системы связи и РТО на этапе взлета воздушного судна ночью можно предположить, что данный этап будет характеризоваться: своевременной и достоверной передачей информации с рабочего места руководителя полетов о запуске воздушного судна с использовани-

ем передающего устройства радиостанции дециметрового диапазона волн экипажу воздушного судна; своевременным включением светосигнального оборудования на аэродроме, своевременным включением прожекторных станций; достоверной выдачей информации, формируемой огнями взлетно-посадочной полосы (ВПП) о положении воздушного судна относительно оси ВПП и ее окончания. В данном случае можно определить состав последовательных информационных цепей при запуске, выруливании, пробеге по ВПП и взлете воздушного судна: 1) руководитель полетов – микрофон – проводная линия связи – передающее устройство радиостанции – воздушное пространство – бортовое радиоприемное устройство – командир экипажа; 2) огни рулежных дорожек – воздушное пространство – органы зрения экипажа воздушного судна; 3) огни ВПП – воздушное пространство – органы зрения экипажа воздушного судна; 4) ограничительные огни – воздушное пространство – органы зрения экипажа воздушного судна; 5) огни взлетного светового горизонта – воздушное пространство – органы зрения экипажа воздушного судна.

Таким образом, исходя из данного примера можно определить показатели устойчивости информационных цепей, образующие группу показателей первого уровня. К наиболее существенным показателям на первом уровне можно отнести следующие: вероятность технической надежности радиоэлектронных средств (РЭС)

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

где $P_{отРЭС}$ – вероятность возникновения технического отказа РЭС за время его функционирования; вероятность живучести РЭС

$$P_{жРЭС} = 1 - \left(1 - P_{рзРЭС}\right) P_{отРЭС}, \quad (6)$$

где $P_{онРЭС}$ – вероятность применения по РЭС средств огневого поражения (в том числе и высокоточного оружия); $P_{рзРЭС}$ – вероятность разведзащищенности РЭС

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

где $P_{обнРЭС}$ – вероятность обнаружения РЭС противником; $P_{оцРЭСон}$ – вероятность оценки параметров РЭС, необходимых для его огневого поражения; коэффициент помехозащищенности РЭС ($K_{нзРЭС}$), 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

$$K_{нзРЭС} = \frac{\left(\frac{P_n}{P_c} \right)}{P_{ош} \leq P_{ош.тр}}. \quad (8)$$

В соответствии с общим показателем эффективности функционирования системы связи и РТО за основной показатель эффективности информационного звена целесообразно принять вероятность его устойчивости ($P_{уИЗ}$) на множестве M радиоэлектронных средств, входящих в состав информационного звена:

$$P_{уИЗ} = \sum_{j=1}^M P_{рзРЭСон_j} P_{жРЭС_j} P_{тнРЭС_j} K_{нзРЭС_j}, \quad j = \overline{1, M} \quad (9)$$

Известно, что при взлете и заходе на посадку воздушного судно летчик должен в сложных метеорологических условиях и ночью видеть определенное количество огней, что позволяет ему определить положение самолета относительно ВПП [8]. Получение информации с помощью органов зрения можно рассматривать как по-

следовательное или одновременное решение таких задач, как поиск и обнаружение объекта, распознавание его по ряду признаков (по форме, цвету, наличию тех или иных деталей и т.д.) [9]. В данном случае можно принять, что если объект находится ниже порога зрительного восприятия, то вероятность увидеть его равна нулю, при других условиях глаз мгновенно, совершенно отчетливо видит объект. Поэтому характеризовать соответствие зоны действия светосигнального оборудования местоположению самолета в воздушном пространстве можно с помощью вероятности установления визуального контакта ($P_{вк}$).

При этом вероятность установления визуального контакта зависит от условий наблюдения и характеристик светосигнального оборудования аэродрома и определяется из выражения [8]:

$$P_{вк} = 1 - \exp\left\{-B_n \frac{E^2 t_k}{4\beta^2 \alpha_\phi^{2n}}\right\}, \quad (10)$$

где E – освещенность на зрачке наблюдателя, создаваемая источником света, лк; t_k – время контакта с источником света, с; β – угол поля зрения, град; α_ϕ – яркость фона наблюдаемых огней, Кд/м²; B_n – коэффициент, характеризующий индивидуальные особенности наблюдателя; n – коэффициент, зависящий от яркости фона, и равный

$$n = \begin{cases} 0,3, & \text{при } 10^{-6} \text{ Кд/м}^2 < \alpha_\phi < 10^{-3} \text{ Кд/м}^2 \\ 0,75, & \text{при } \alpha_\phi > 30 \text{ Кд/м}^2. \end{cases} \quad (11)$$

При определении значения освещенности E учитываются характеристики светосигнального оборудования, метеорологическая дальность видимости, расстояние,

с которого производится наблюдение. Освещенность на зрачке глаза летчика может быть определена из выражения:

$$E = I_{uc} / d_{uc}^2 10^{\frac{1.7d_{uc}}{D_{mv}} 10^6}, \quad (12)$$

где I_{uc} – сила источника света, кд; d_{uc} – расстояние до источника света, км; D_{mv} – метеорологическая дальность видимости, км.

Основные мероприятия, составляющие содержание процесса управления в интересах взаимодействия, включают в себя: взаимодействие подсистем различного уровня по горизонтали и по вертикали при решении задач управления; организацию поддержания взаимодействия в ходе выполнения поставленных задач; организацию всех видов обеспечения поставленных задач; организацию восстановления взаимодействия (организацию восстановления технических средств; организацию восполнения ресурсов; организацию восстановления взаимодействия в ходе решения поставленных задач) [11].

Основой поддержания работоспособности информационных систем в условиях информационно-технических воздействий относятся: недостаточная устойчивость функционирования информационных систем; рост сложности структуры и поведения аппаратно-программных средств существующих и перспективных средств связи и РТО; трудность выявления количественных закономерностей, позволяющих исследовать устойчивость функционирования в условиях взаимодействия элементов системы связи и РТО.

В первом случае сложностью является недостаточная устойчивость функционирования системы связи и РТО, которая часто оказывается ниже требуемой.

Во втором случае сложностью является территориальный и поведенческий рост структуры информационной системы.

Третья сложность заключается в трудности выявления количественных закономерностей, позволяющих исследовать устойчивость функционирования связи и РТО в условиях взаимодействия. Дело в том, что на процессы функционирования информационной системы существенно влияют факторы внешней и внутренней среды [12].

В качестве показателя эффективности информационной цепи примем вероятность ее устойчивости, которая с учетом последовательного соединения информационных звеньев формально может быть описана выражением:

$$P_{уИЦ} = \prod_{\mu=1}^V P_{уИЗ\mu}, \mu = \overline{1, V} \quad (13)$$

где $P_{уИЗ\mu}$ – вероятность устойчивости μ -го информационного звена информационной цепи.

С учетом этого, 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:

$$P_{ИН} = P \left\{ l \geq \frac{L}{M} \right\}, \quad (14)$$

где $P_{ИН}$ – вероятность связности информационного направления.

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:

$$P_{IH \min} = 1 - \prod_{\varphi=1}^D (1 - P_{yИЦ\varphi}), \quad (15)$$

где $P_{yИЦ\varphi}$ – вероятность устойчивости φ -ой информационной цепи данного направления.

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

$$W_{PTOi} = \{P_{IH\eta}\}, \quad \mu = \overline{1, Z}, \quad (16)$$

где Z – множество информационных направлений РТО.

Таким образом, при поиске оптимальной структуры системы связи и РТО имеем задачу векторной оптимизации, решение которой может быть найдено, если в качестве общего показателя эффективности функционирования системы связи и РТО выбрать средневзвешенную по важности информационных направлений связность сети связи и радиотехнического обеспечения.

$$W_{PTOi} = 1 - \prod_{\eta=1}^Z (1 - P_{IH\eta}), \quad (17)$$

Таким образом, в основу выбора показателей оценки эффективности связи и РТО полетов авиации как информационного процесса положена цель его осуществления, реализуемая системой связи и РТО путем решения основных задач, способ-

ствующих выполнению предъявленных к нему требований по своевременности, достоверности и безопасности. Предложенный подход к выбору показателей оценки эффективности связи и радиотехнического обеспечения авиации позволят обеспечить более качественную и оперативную разработку предложений для принятия решения на организацию связи и 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. - Санкт-Петербург: Военная академия связи, 2007. - 180 с.

3. Реутов А.П., Черняков М.В., Замуруев С.Н. Автоматизированные информационные системы: методы построения и исследования. – М.: Радиотехника, 2010. 265 с.

4. Федеральные авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь». Утверждены Приказом Федеральной авиационной службы от 26 ноября 2007 г. № 115. М.: ЦАИ ГА, 2007.

5. Зубов Н.П. Применение спутниковых навигационных систем: проблемы контроля и оценки точности, надежности и безопасности воздушной навигации // Новости навигации. 2007. № 4. С. 17-22.

6. Словарь войск связи Вооруженных сил Российской Федерации. - М: Воениздат, 2008. 213 с.

7. 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.

8. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска. – М.: Машиностроение, 1985. – 96 с.

9. Ламехов О.А., Фрид Ю.В., Журкин Г.В. Светотехника и светоизмерения. – М.: Машиностроение, 1980. – 296 с.

10. Афанасьев Ю.И. Теория взаимодействия. Анализ в условиях синхронизации процесса // Образовательные ресурсы и технологии, 2014, № 3(6). URL: http://www.muiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot_2014_3_47_52.pdf

11. Афанасьев Ю.И. Устойчивости автоматизированных систем. Концепция устойчивого взаимодействия // Образовательные ресурсы и технологии, 2014. № 5(8). URL: http://www.muiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot_2014_5_86-94.pdf