

При использовании материалов статьи необходимо использовать данную ссылку:

Мистров Л.Е., Головченко Е.В. Метод оценки управляемости конфликтно-устойчивой информационной системы авиационного формирования // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 1 (59). С. 28-35

УДК 519.876.5: 004.94

МЕТОД ОЦЕНКИ УПРАВЛЯЕМОСТИ КОНФЛИКТНО-УСТОЙЧИВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Мистров Л.Е., Головченко Е.В.

Предлагается в качестве показателя управляемости системы связи и радиотехнического обеспечения (СРТО) авиационного формирования использовать риск потери управляемости. Под управляемостью понимается способность системы изменять свое состояние под воздействием управляющих воздействий. Обосновывается частный показатель управляемости, характеризующий достижимость конкретного состояния, а также общий показатель для оценки достижимости всех возможных состояний СРТО. Показано, что риск потери управляемости определяется способностью органов управления своевременно формировать управляющие воздействия. Задача управления СРТО формулируется как задача выбора оптимального управления, минимизирующего риск потери управления. Предложен метод оценки управляемости СРТО авиационного формирования, учитывающий ее целевое предназначение, условия функционирования и деструктивное воздействие на элементы системы. Представленный подход, реализующий данный метод, может быть использован для оценки управляемости сложных организационно-технических систем различного предназначения.

Ключевые слова: авиационное формирование, авиационная информационная система, организационно-техническая система, система и средства связи и радиотехнического обеспечения, управляемость, риск потери управляемости.

ВВЕДЕНИЕ

Результативность применения авиационных формирований (АФ) во многом определяется имеющейся боевой мощью, эффективностью организации и, качеством управления, а также взаимодействием составляющих различного рода назначения организационно-технических систем (ОТС) [1, 2]. Информационный аспект управления и взаимодействия опирается на техническую основу – систему связи и радиотехнического обеспечения (РТО) боевых действий АФ. Под системой связи и РТО (СРТО) понимается ОТС, функционирование которой направлено на обеспечение управления ОТС АФ, а также

формирования и своевременной выдачи информации о местоположении воздушных судов их экипажам и должностным лицам органов управления. Функционирование СРТО осуществляется условиях, обусловленных наличием различного типа конфликтных взаимодействий на внешнесистемном и внутрисистемном уровнях. На внешнесистемном уровне СРТО конфликтные взаимодействия

Мистров Леонид Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Центральный филиал Российского государственного университета правосудия
Воронеж

Головченко Евгений Викторович, кандидат технических наук, старший преподаватель, Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Воронеж

определяются огневым и радиоэлектронным преднамеренным воздействием со стороны противоборствующей функциональной ОТС. На внутрисистемном уровне СРТО конфликт обуславливается, во-первых, необходимостью распределения ею ограниченных ресурсов (пропускной способности служб связи, видов и услуг связи) между обеспечиваемыми ОТС АФ и, во-вторых, необходимостью сохранения во времени основных параметров и характеристик СРТО и обеспечения бесконфликтного совместного функционирования средств и комплексов связи и РТО различного предназначения.

В таких условиях возникает известная задача обеспечения конфликтной устойчивости СРТО (или просто устойчивости) АФ, а также не менее важная задача по достижению СРТО этого состояния. Несмотря на то, что вопрос обеспечения устойчивости функционирования СРТО достаточно глубоко проработан в литературе, непрерывное развитие технологий передачи и обработки информации, совершенствование форм и способов применения войск обуславливают необходимость дальнейшего развития способов обеспечения ее устойчивости. В значительно меньшей степени разработан вопрос достижения СРТО заданного состояния в условиях конфликтных взаимодействий в структуре АФ. В условиях, когда возможности связи и РТО по обеспечению обмена информацией обуславливаются ее способностью адаптироваться для быстро изменяющихся условий обстановки, на первый план выступает свойство СРТО, характеризующее ее управляемость. Требование к управляемости становится одним из важнейших, а свойство управляемости нуждается в более

глубоком исследовании ее влияния на процесс функционирования СРТО.

Целью статьи является дальнейшее развитие научно-методического аппарата теории систем, теории организации связи и РТО путем разработки метода оценки управляемости информационной системой (СРТО) АФ.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РТО НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННОЙ МОДЕЛИ

Под управляемостью понимается способность СРТО изменять в заданных пределах свое состояние при воздействиях на ее элементы со стороны органов управления связью и РТО [3-5]. Для достаточно большого класса систем известно определение, данное Р. Калманом. Система называется управляемой, если для любых моментов времени t_0 и $t_1 > t_0$ и любых заданных состояний X_0 и X_1 существует управление $U(t)$, $t_0 \leq t \leq t_1$, переводящее ее из начального состояния $X(t_0)=X_0$ в конечное $X(t_1)=X_1$ [6].

В целях выявления условий управляемости СРТО представим ее и соответствующий процесс управления ею с помощью теоретико-множественной модели сложной ОТС. В общем случае СРТО включает совокупность взаимодействующих органов управления, исполнительных элементов и средств управления, на которую оказывают влияние внешние факторы, как показано на рисунке 1 [3, 7].

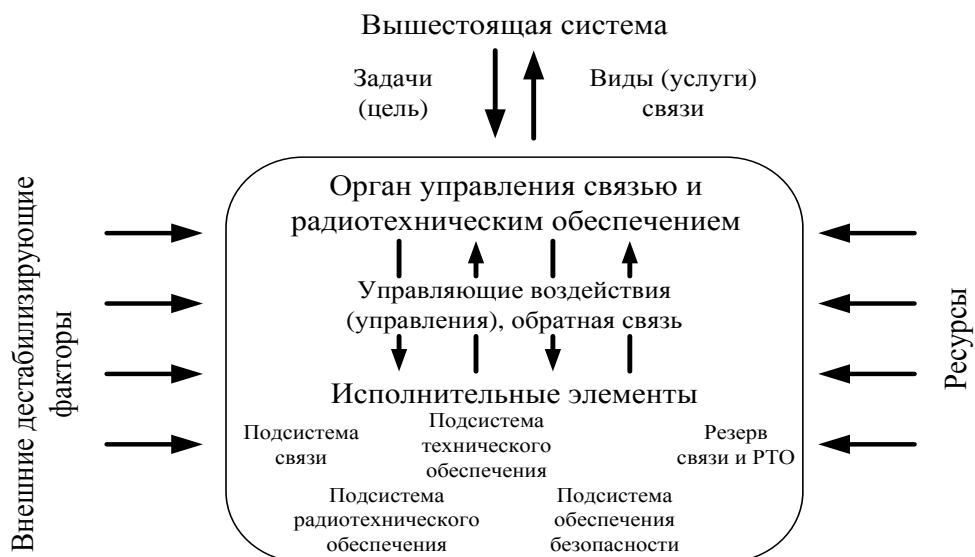


Рисунок 1. Обобщенная схема системы управления связью и РТО

Под исполнительными элементами понимаются элементы СРТО, действия которых непосредственно приводят к достижению целей ее функционирования. Состояние СРТО полностью определяется состоянием ее элементов и может быть представлено множеством основных параметров и характеристик в определенный момент (интервал) времени.

Следует отметить, что функционирование СРТО практически всегда происходит под воздействием внешних преднамеренных или непреднамеренных дестабилизирующих факторов, а сам процесс функционирования представляет собой процесс преобразования ресурсов (материальных, энергетических, информационных и др.) в процесс обмена информацией, и в конечном итоге в виды и услуги связи, предоставляемые должностным лицам.

Это позволяет состояние СРТО представить в виде кортежа:

$$\mathbf{S} = \langle \mathbf{X}, \mathbf{U}, \mathbf{V}, \mathbf{W} \rangle, \quad (1)$$

где \mathbf{X} – состояние СРТО, характеризуемое множеством показателей, которое изменяемо и определяется теми параметрами и характеристиками, которые важны в данный момент времени для данной решаемой задачи; \mathbf{U} – множество управлений, формируемых органами управления связью и РТО; \mathbf{V} – ресурсы, выделяемые для достижения поставленных целей; \mathbf{W} – множество внешних условий функционирования СРТО.

В зависимости от решаемых задач управление связью и РТО может осуществляться на организационном, оперативно-техническом и технологическом уровнях,

$$\mathbf{S}_{TV} \subset \mathbf{S}_{OTV} \subset \mathbf{S}_{OV}, \quad (2)$$

где \mathbf{S}_{TV} , \mathbf{S}_{OTV} , \mathbf{S}_{OV} – кортежи в форме (1), описывающие СРТО на технологическом, оперативно-техническом и организационном уровнях соответственно [8]. На каждом уровне управления (2) существует свой набор параметров состояния, управлений, ресурсов и внешних условий, коренным образом отличающихся и связанных друг с другом.

Учитывая (1) условие управляемости СРТО \mathbf{S} , запишется в виде:

$$\mathbf{S} : \mathbf{X} \times \mathbf{U} \times \mathbf{V} \times \mathbf{W} \xrightarrow{\Delta t} \mathbf{X}. \quad (3)$$

Необходимым условием управляемости СРТО является принадлежность заданных состояний $\mathbf{X}(t)$ множеству допустимых состояний:

$$\exists \mathbf{X}(t) \subset \mathbf{X}_{don}, \quad (4)$$

что выражается в возможности физической реализации заданных состояний.

Достаточным условием управляемости СРТО является существование такого управления $\exists \mathbf{U}(t) \subset \mathbf{U}_{don}$, которое позволяет перевести ее в заданное состояние $\mathbf{X}(t) \subset \mathbf{X}_{don}$ за определенное время Δt . Возможность реализации такого управления определяется подготовленностью и укомплектованностью органов управления связью и РТО, степенью развития технической основы системы управления связью и РТО, подготовленностью технического персонала и другими факторами.

Исходя из этого, управляемость можно рассматривать в широком (общем) и узком (частном) смысле. Под управляемостью в узком смысле понимается способность системы перейти из исходного только в одно определенным образом заданное состояние – в этом случае говорят об управляемом или достижимом состоянии. Под управляемостью в широком смысле понимается способность системы перейти в любое из множества возможных состояний – при этом можно утверждать, что система является полностью управляемой.

Таким образом, необходимые и достаточные условия управляемости СРТО заключаются в ее способности перейти в заданное состояние и в способности органов управления связью и РТО сформировать управляющее воздействие, адекватное выполняемой задаче, соответствующее уровню подготовленности исполнителей и техническому уровню средств и комплексов связи и РТО.

Обоснование структуры СРТО, а также непосредственное руководство подразделениями связи и РТО предполагает оценку и использование множества различных показателей, характеризующих качество процесса функционирования и его результат. Для оценки степени управляемости необходим показатель, который позволял бы оценить возможность СРТО перехода в заданное состояние. Такой показатель, с одной стороны, должен учитывать задачу, поставленную вышестоящей системой, с другой – основные параметры системы управления и непосредственно самой СРТО. В качестве

показателя оценки управляемости ОТС предлагается использовать риск потери управляемости СРТО в процессе изменения ее состояния.

2. ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И РТО

Сложность оценки управляемости обусловлена необходимостью анализа всего множества возможных состояний, которые может принимать СРТО. Кроме того, при решении каждой конкретной задачи СРТО будет характеризоваться своим набором параметров, характеризующих ее состояние, что еще больше усложняет оценку управляемости.

Как правило, чаще возникает необходимость оценки управляемости СРТО при выполнении конкретной задачи ее перевода из исходного состояния в заданное. В этом случае, в соответствии с определением управляемости, множество возможных состояний вырождается в единственную точку. При этом управляемость СРТО можно считать эквивалентной ее достижимости заданного состояния.

Учитывая содержание понятия управляемости СРТО и его связь с задачами вышестоящей системы, в качестве показателя оценки управляемости в широком смысле предлагается использовать риск потери управляемости СРТО, а для оценки управляемости в узком смысле – риск потери управления СРТО или, что то же самое, риск не достижения заданного состояния.

В общем случае под риском R какого-либо события понимается математическое ожидание возможных потерь системы в результате этого события:

$$R = \sum_{i=1}^N P_i \cdot G_i, \quad (5)$$

где N – количество вариантов действий, переводящее систему в заданное состояние; P – вероятность наступления события, G – возможные потери СРТО.

Учитывая, что управление СРТО в конечном итоге приводит к ее переводу из одного состояния в другое, то под потерями управления G понимаются потери, обусловленные степенью отличия этих двух состояний выраженных соответствующими показателями, а также затратами ресурсов, понесенными на изменение состояния системы.

Потери СРТО в общем случае могут быть представлены теми показателями, которые наиболее полно отражают требования вышестоящей системы и наиболее необходимы при решении ее собственных задач. При этом

удобно для выражения этой степени использовать относительную форму:

$$G = \frac{K_1 - K_0}{K_1} + G_{затр}, \quad (6)$$

где K_0 , K_1 – показатели СРТО в начальный и конечный момент времени; $G_{затр}$ – затраты материальных, энергетических, информационных и других видов ресурсов, затраченных на изменение состояние системы.

Область определения функции потерь G от нуля до единицы позволяет сравнивать между собой системы отличающиеся задачами, структурой, возможностями (способностями) и другими характеристиками.

В общем случае потери должны однозначно определяться целью функционирования (развертывания, перестроения) СРТО и могут иметь частный или обобщенный характер. Кроме того, необходимо учитывать:

а) функционирование СРТО практически всегда встречает активное противодействие со стороны противоборствующей ОТС;

б) несогласованность приоритетов целей функционирования взаимодействующих подсистем, в том числе систем радиоэлектронной борьбы и систем, задействованных в достижении информационного превосходства.

В свою очередь, функции, обобщающие частные показатели также должны учитывать цели функционирования и иметь ясный физический смысл.

Вероятность P наступления события, приводящего к потерям G , исходя из введенного выше определения управляемой системы, можно выразить через вероятность успешной реализации функций управления $P^{усп}$ и вероятность обеспечения всеми видами ресурсов $P^{об}$ (материальными, техническими, информационными и другими) при изменении состояния СРТО:

$$P = 1 - P^{усп} \cdot P^{об}. \quad (7)$$

Вероятность успешной реализации функций управления $P^{усп}$ можно получить задав плотность вероятности времени выполнения функций управления $p_{усп}(T_{усп})$ [9]:

$$P^{усп}(0 < T_{усп} \leq T_{усп\text{пр}}) = \int_0^{T_{усп\text{пр}}} p_{усп}(T_{усп}) dT_{усп} \quad (8)$$

где $T_{упр\ mp}$ – время, необходимое для выполнения функций управления,.

Вероятность обеспечения ресурсами $P^{об}$ за некоторый период выполнения определим плотностью вероятности времени, необходимого для изменения состояния СРТО $p_{об}(T_{об})$:

$$P^{об}(0 < T_{об} \leq T_{об\ mp}) = \int_0^{T_{об\ mp}} p_{об}(T_{об}) dT_{об} \quad (9)$$

где $T_{об\ mp}$ – время, необходимое для изменения состояния СРТО.

Предложенный подход к определению риска потери управляемости позволяет сформулировать задачу управления СРТО как задачу поиска оптимального управляющего воздействия U^* , минимизирующего риск потери управления R для неблагоприятных условий внешней обстановки:

$$U^* = \text{Arg} \min_U \max_{U \in U_{\text{доп}} \quad W \in W_{\text{доп}}} R(U, X, V, W) \quad (10)$$

где $U_{\text{доп}}$ – множество допустимых управлений, $W_{\text{доп}}$ – множество неблагоприятных условий обстановки.

Оценка управляемости СРТО в широком смысле осуществляется по показателю риска потери управляемости R_0 , который рассчитывается на основе усреднения значений рисков потери управления для каждого состояния X из множества возможных состояний СРТО $X_{\text{доп}}$:

$$R_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \cdot G_i \quad (11)$$

где N – количество возможных состояний СРТО; R_i – риск потери управления при переходе СРТО в i -ое состояние; P_i – вероятность события, не позволяющего системе перейти в i -ое состояние; G_i – потери СРТО при невозможности перейти в i -ое состояние.

3. МЕТОД ОЦЕНКИ УПРАВЛЯЕМОСТИ СВЯЗИ И РТО АВИАЦИОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Алгоритм реализации метода оценки управляемости СРТО включает следующие этапы.

1. Определение значений целевых показателей СРТО, задаваемых вышестоящими органами управления и зависящих от

возможностей органов управления связью и РТО и подчиненных подразделений связи и РТО, условий функционирования СРТО. На этом шаге необходимо ограничить максимальные затраты ресурсов, которые возможно в последующем использовать в процессе изменения ее состояния.

2. Формирование возможных вариантов действий органов управления и подразделений связи и РТО по переводу системы из исходного состояния в заданное состояние.

3. Для каждого варианта действий рассчитываются значения возможных потерь СРТО, обусловленных изменением целевых показателей в исходном и конечном состояниях, а также затратами ресурсов, необходимых для такого изменения. Расчет может осуществляться, например, в соответствии с выражением (6). Оценка показателей связи и РТО в конечный момент времени может осуществляться как с учетом всех внешних дестабилизирующих факторов, так и без них. В первом случае получим ожидаемые потери, во втором – максимальные ожидаемые потери.

4. Расчет вероятностей выполнения органом управления связью и РТО функций управления в заданные сроки с учетом заданных условий обстановки и имеющихся ресурсов осуществляется в соответствии с выражением (8), а обеспечение процесса изменения состояния системы связи и РТО в установленный период времени – в соответствии с выражением (9).

5. Расчет риска потери управления СРТО осуществляется в соответствии с (5).

Один из возможных подходов реализации данного метода приведен в виде схемы алгоритма на рисунке 2. Он позволяет учитывать целевое предназначение СРТО и может быть использован соответствующими должностными лицами органов управления при обосновании решения на организацию связи и РТО.

В качестве примера на рисунке 3 приведены качественные зависимости риска потери управления СРТО от времени функционирования для трех различных вариантов построения СРТО. Пример наглядно иллюстрирует предпочтительность выбора определенного варианта построения СРТО для различных условий. Так при незначительном времени функционирования СРТО наиболее предпочтительным будет являться второй вариант. При увеличении времени функционирования – третий вариант. В случае дальнейшего увеличения времени функционирования наиболее

предпочтительным будет являться первый вариант. Несмотря на то, что приведенные зависимости являются качественными, они достаточно хорошо иллюстрируют

существующие зависимости между процессами управления и функционирования СРТО.

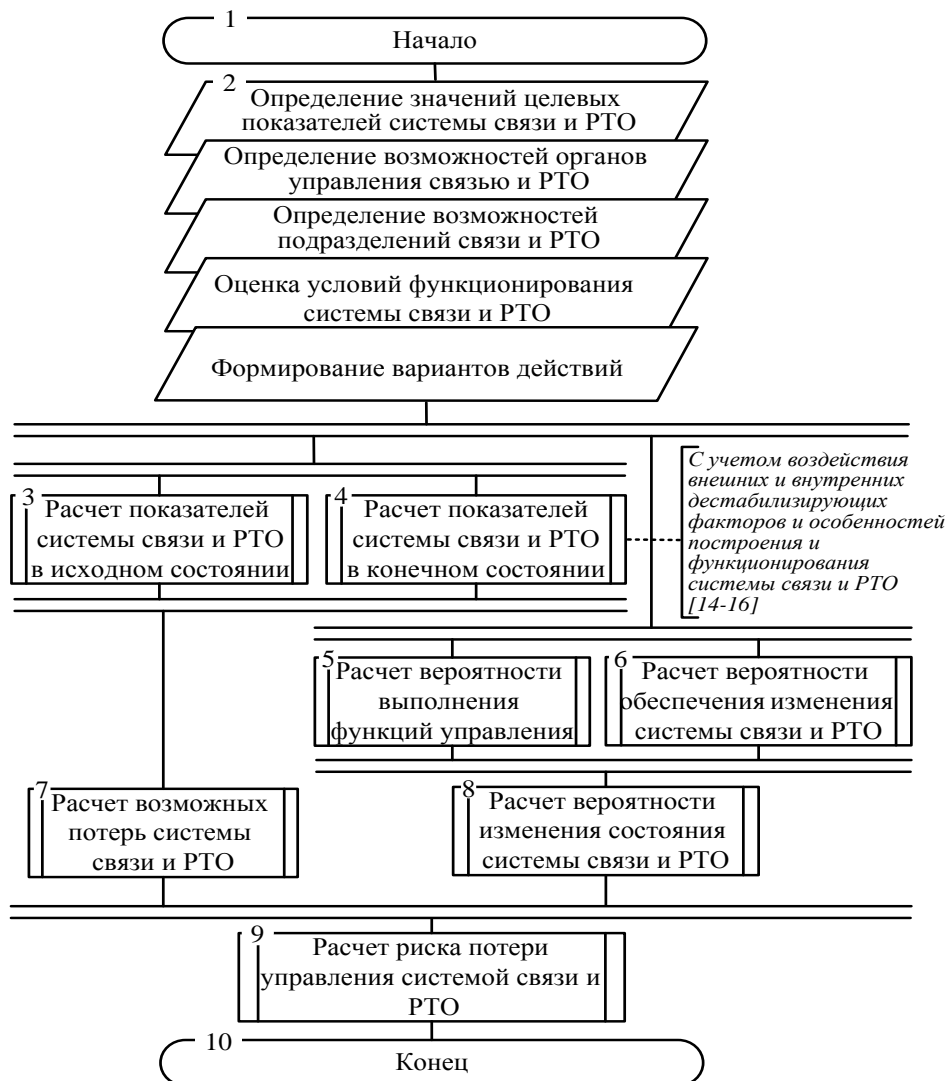


Рисунок 2. Схема алгоритма расчета риска потери управления системой связи и РТО

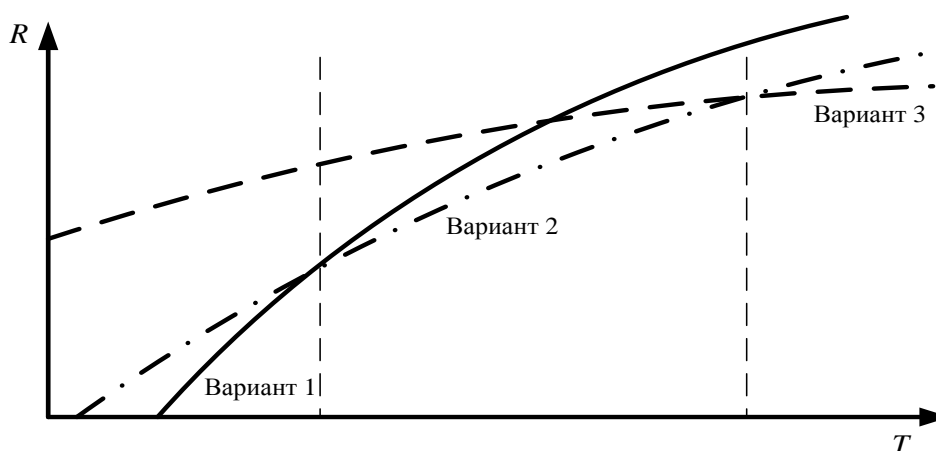



Рисунок 3. Зависимость риска потери управления системой связи и РТО от времени функционирования СРТО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе теоретико-множественной модели сформулированы условия управляемости конфликтно-устойчивой информационной системы авиационного формирования, основу которой составляет система связи и РТО. Показано, что ее управляемость определяется не только способностью органов управления полностью и в установленные сроки выполнять управленческие функции, но и возможностями самой системы, зависящими от степени ее подготовленности, обеспеченности и конкретными условиями обстановки.

В качестве основного показателя управляемости конфликтно-устойчивой информационной системы, характеризующего ее способность перейти в любое возможное состояние в условиях различного рода конфликтных взаимодействий, предлагается использовать риск потери управляемости СРТО. Данный показатель позволяет в обобщенном виде оценить как саму информационную систему (систему связи и РТО), а также соответствующее подразделение связи и РТО с точки зрения выполнения задач по предназначению.

В качестве частного показателя управляемости СРТО при решении ею конкретной задачи предлагается использовать риск потери управления. Использование предложенного показателя позволяет сформулировать задачу определения управляющих воздействий на СРТО как задачу поиска оптимального управления путем минимизации риска потери управления.

Предложенные метод оценки управляемости конфликтно-устойчивой информационной системы авиационного формирования и показатели могут быть использованы для оценки управляемости не только систем связи и РТО, но и боевых, и других обеспечивающих систем. 

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сидорин А.Н., Рябченко И.А. и др. Информационные, специальные, воздушно-десантные и аэромобильные операции армий ведущих зарубежных государств: Информационно-аналитический сборник. – М: Воениздат, 2001. – 344 с.
2. Головченко Е.В., Федюнин П.А., Дьяченко В.А., Стафеев М.А. Авиационные инфокоммуникационные сети. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. – 171 с.
3. Ермишян А.Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. – СПб.: ВАС, 2005. – 740 с.
4. Словарь войск связи Вооруженных Сил Российской Федерации / Под общей ред. Е.А. Карпова. – М.: Воениздат, 2008. – 216 с.
5. Красовский Н.Н. Теория управления движением. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1968. – 476 с.
6. Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. «Наука», 1979. – 336 с.
7. Боговик А.В., Загорулько С.С., Ковалев И.С., Котенко И.В., Масоновец В.В. Теория управления в системах военного назначения. – М.: МО, 2001. – 320 с.
8. Арсланов Х.А., Башкирцев А.С., Лихачев А.М. Автоматизированная система управления связью Вооруженных Сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации. – 2016. – С. 17-20.
9. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.

METHOD FOR ASSESSING THE CONTROL OF CONFLICT-RESISTANT INFORMATION SYSTEM OF AIRCRAFT FORMATION

Mistrov Leonid Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Central Branch of the Russian State University of Justice, Voronezh

Golovchenko Evgeny Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh

It is proposed to use the risk of loss of controllability as an indicator of controllability of the communication system and radio engineering support (SRTO) of aviation formation. Controllability refers to the ability of the system to change state under the influence of control influences. A particular manageability indicator characterizing the reachability of a particular state is justified, as well as a general indicator for assessing the reachability of all possible SRTO states. It is shown that the risk of loss of controllability is determined by the ability of controls to generate control actions in a timely manner. The task of controlling the SRTO is formulated as the task of selecting the optimal control that minimizes the risk of loss of control. Method for estimation of control of aircraft formation SRTO is proposed, taking into account its target purpose, operating conditions and destructive effect on system elements. The presented approach implementing this method can be used to evaluate the manageability of complex organizational and technical systems of various purposes.

Key words: aviation formation, aviation information system, organizational and technical system, system and means of communication and radio technical support, controllability, risk of loss of controllability.

REFERENCES:

1. Sidorin A.N., Ryabchenko I.A. i dr. Informatsionnyye, spetsial'nyye, vozdušno-desantnyye i aeromobil'nyye operatsii armiy vedushchikh zarubezhnykh gosudarstv: Informatsionno-analiticheskiy sbornik [Information, special, airborne and airborne operations of armies of leading foreign states: Information and analytical collection]. – M: Voenizdat [Military Publishing], 2001. – 344 p.
2. Golovchenko Ye.V., Fedyunin P.A., D'yachenko V.A., Stafeyev M.A. Aviatsionnyye infokommunikatsionnyye seti [Aviation infocommunication networks.]. – Voronezh. VUNTS VVS «VVA» [VUNC VVS "VVA"], 2018. – 171 p.
3. Yermishyan A.G. Teoreticheskiye osnovy postroyeniya sistem voyennoy svyazi v ob'yedineniyakh i soyedineniyakh. Chast' 1. Metodologicheskiye osnovy postroyeniya organizatsionno-tekhnicheskikh sistem voyennoy svyazi [Theoretical foundations of building military communications systems in large formations and formations. Textbook. Part 1. Methodological foundations for building organizational and technical systems of military communications]. – SPb.: VAS, 2005. – 740 p.
4. Slovar' voysk svyazi Vooruzhennykh Sil Rossiyskoy Federatsii [Dictionary of the signal troops of the Armed Forces of the Russian Federation] / Pod obshchey red. Ye.A. Karpova. – M.: Voenizdat [Military Publishing], 2008. – 216 p.
5. Krasovskiy N.N. Teoriya upravleniya dvizheniyem [Motion control theory]. – M.: Nauka, Gl. red.fiz.-mat. lit-ry [Science, Ch. ed.phys.-mat. literature], 1968. – 476 p.
6. Voronov A.A. Ustoychivost', upravlyayemost', nablyudayemost' [Stability, manageability, observability.. – M.: Gl. red. fiz.-mat. lit-ry «Nauka» [Ch. ed. physical-mat. literature "Science"], 1979. – 336 p.
7. Bogovik A.V., Zagorul'ko S.S., Kovalev I.S., Kotenko I.V., Masonovets V.V. Teoriya upravleniya v sistemakh voyennogo naznacheniya [Theory of control in military systems]. – M.: MO [Military Publishing], 2001. – 320 p.
8. Arslanov KH.A., Bashkirtsev A.S., Likhachev A.M. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya svyaz'yu Vooruzhennykh Sil Rossiyskoy Federatsii i prioritetye napravleniya yeye razvitiya [Automated communications control system of the Armed Forces of the Russian Federation and priority directions of its development] // Svyaz' v Vooruzhennykh Silakh Rossiyskoy Federatsii [Communications in the Armed Forces of the Russian Federation]. – 2016. – pp. 17-20.
9. Tikhonov V.I. Statisticheskaya radiotekhnika [Statistical radio engineering]. – M.: Radio i svyaz' [Radio and communication], 1982. – 624 p.