

УДК 621.353

Методика оценки эффективности подразделений связи и радиотехнического обеспечения полетов авиации Воздушно-космических сил

Бурянин С. Н.*

*Научный руководитель исследования: доцент кафедры управления воинскими частями связи и радиотехнического обеспечения авиации Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», кандидат военных наук, доцент Ивануткин А. Г.

Актуальность. К настоящему времени накоплен определенный опыт и методический материал по обоснованию требований к составу войск связи и радиотехнического обеспечения Воздушно-космических сил РФ, характеристикам военной техники, а также разработке порядка функционирования отдельных элементов системы связи и радиотехнического обеспечения. Вместе с тем, требуют уточнения вопросы разработки и обоснования способов применения сил и средств связи и радиотехнического обеспечения с учетом принятых на вооружение современных и перспективных образцов авиационной техники, техники связи и радиотехнического обеспечения. Актуальность статьи обусловлена с одной стороны потребностями практики, в которой назрела необходимость разработки способов применения подразделений связи и радиотехнического обеспечения, оснащенных современным вооружением и военной техникой, объединенных единым замыслом и подчиненных одному органу управления, а с другой – несовершенством существующих методик оценки эффективности подразделений связи и радиотехнического обеспечения. **Целью статьи** является разработка методики в интересах оценки эффективности подразделений связи и радиотехнического обеспечения в динамично меняющихся условиях обстановки. **Используемые методы:** разработка методики оценки эффективности подразделений связи и радиотехнического обеспечения основана на использовании методов системного анализа, математического моделирования и теории вероятностей с учетом специфики функционирования элементов системы связи и радиотехнического обеспечения. **Новизна:** элементами новизны являются: методика оценки состояний подразделений связи и радиотехнического обеспечения в условиях воздействия дестабилизирующих факторов; предложенные коэффициенты, характеризующие доступность элементов системы связи и радиотехнического обеспечения и учитывающие специфику их функционирования. **Результаты:** разработана система показателей оценки эффективности подразделений связи и радиотехнического обеспечения по показателям оценки: вероятности подготовки элементов системы связи и радиотехнического обеспечения к информационному обмену за время не превышающее располагаемое; вероятности обеспечения элементами системы связи и радиотехнического обеспечения информационного обмена за время не превышающее требуемое; вероятности решения подразделениями связи и радиотехнического обеспечения задач в соответствии с предназначением в динамично меняющихся условиях обстановки. **Практическая значимость** заключается в методическом обеспечении органов управления связью и радиотехнического обеспечения в целях обоснованности принятия управленческих решений на применение подчиненных сил и средств.

Ключевые слова: математическая модель, случайный процесс, оценка эффективности, подразделение связи и радиотехнического обеспечения, система связи и радиотехнического обеспечения, способы применения подразделений связи и радиотехнического обеспечения, информационный обмен, радиотехническое обеспечение.

Библиографическая ссылка на статью:

Бурянин С. Н. Методика оценки эффективности подразделений связи и радиотехнического обеспечения полетов авиации Воздушно-космических сил // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 4. С. 220-239. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10408.

Reference for citation:

Buryanin S. N. Methodology for evaluating the effectiveness of communication and radio engineering departments of Russian Air-Space Force. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 4, pp. 220-239 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10408.

Введение

Согласно теории управления в системах военного назначения своевременное и адекватное управляющее воздействие на объект управления, как правило, представляет собой процесс поиска рационального решения из множества альтернативных [1]. Для реализации процесса поиска решения органы управления связью и радиотехническим обеспечением (РТО) должны иметь инструмент, позволяющий оперативно и обоснованно выбрать способ применения сил и средств связи и РТО, удовлетворяющий условиям обстановки.

В качестве такого инструмента предлагается использовать методику оценки эффективности подразделений связи и РТО полетов авиации Воздушно-космических сил (ВКС), суть которой состоит в обоснованном применении ряда методов, базирующихся на использовании: теории Марковских случайных процессов; математической модели сетевого планирования; аналитической модели системы массового обслуживания с отказами; расчете коэффициента множественной ранговой корреляции. Данная методика позволит на основе декомпозиции стационарной, мобильной и высокомобильной составляющих элементов системы связи и РТО, их ранжировании по степени важности для конкретного этапа функционирования, выявить степень соответствия разработанных вариантов применения заданным критериям и сформулировать выводы о полноте и качестве реализации управленческих решений подразделениями связи и РТО.

Целью статьи является разработка методики оценки эффективности подразделений связи и РТО полетов авиации ВКС в интересах обоснования рациональных способов применения подразделений связи и РТО в различных условиях обстановки.

Так как, под способом применения подразделения связи и РТО понимается установленный порядок организованного использования сил и средств для выполнения поставленных задач по развертыванию и эксплуатационному обслуживанию элементов системы связи и РТО, то эффективность таких подразделений целесообразно оценивать, как составную часть военно-экономического анализа – эффективностью функционирования элементов системы связи и РТО [2].

Задачу оценки эффективности подразделений связи и РТО можно сформулировать следующим образом: при заданном объеме выделяемых сил и средств связи и РТО и в установленных временных рамках, необходимо разработать и обосновать такой способ применения сил и средств связи, при котором будет достигнут результат, удовлетворяющий заданным требованиям для конкретных условий обстановки. Под эффективностью, в данном случае, целесообразно понимать меру достижения цели функционирования элементов системы связи и РТО в условиях случайного воздействия дестабилизирующих факторов и заданных временных рамках. В связи с этим, эффективность подразделений связи и РТО может быть оценена показателями вероятностного типа: вероятностью подготовки элементов системы связи и РТО к обеспечению информационного обмена за время, не превышающее располагаемое; вероятностью обеспечения элементами системы связи и РТО информационного обмена за время, не превышающее требуемое; вероятностью решения подразделениями

связи и РТО задач в соответствии с предназначением в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.

Оценку эффективности целесообразно проводить на основе наиболее существенных свойств исследуемого объекта – подразделения связи и РТО. Аналитическое моделирование процессов функционирования подразделений связи и РТО в заданных условиях обстановки и установленных временных рамках может являться одним из способов определения данных свойств [3].

Динамичное изменение условий обстановки, вызванное случайным воздействием дестабилизирующих факторов, а также установленные временные рамки достижения целей функционирования подразделений связи и РТО станут определяющими в обосновании показателей оценки.

Практическая значимость методики, реализованной в виде программного продукта [4], заключается в оказании помощи должностным лицам органов управления, командирам подразделений связи и РТО в обосновании рациональных вариантов применения подчиненных сил и средств связи и РТО в различных условиях обстановки, а в условиях дефицита времени, в сокращении времени на принятие решения.

В ряде статей, посвященных исследованиям системы связи и РТО [5, 6, 7, 8, 9] представлены современные подходы к оценкам отдельных свойств ее элементов. Так, в статьях [5, 6] предложены методики, позволяющие получить оценку процессов информационного обмена в подсистеме РТО в области воздушного пространства, ограниченной зоной ответственности пункта управления воздушным движением авиационного формирования на аэродроме базирования, в статье [7] предложен расчет интегрального показателя эффективности комплекса технических средств РТО на типовом аэродроме государственной авиации, в статье [8] предложен подход к оценке эффективности РТО полетов с точки зрения обеспечения безопасности полетов, в статье [9] предложен подход к оценке устойчивости системы связи и РТО.

Однако, указанные работы являются частными решениями задачи, поставленной в данном исследовании, и не позволяют в полной мере оценить тактику действий подразделений связи и РТО в динамично меняющихся условиях обстановки и в установленных временных рамках.

Таким образом, актуальность разработки методики оценки эффективности подразделений связи и РТО обусловлена, с одной стороны, потребностями практики, в которой назрела необходимость разработки способов применения подразделений связи и РТО, оснащенных современной техникой, объединенных единым замыслом и подчиненных одному органу управления, а с другой – несовершенством существующих методик оценки эффективности подразделений связи и радиотехнического обеспечения.

Методика оценки эффективности подразделений связи и РТО

Применение подразделений связи и РТО, как процесс организованного использования сил и средств, в целях решения задач в соответствии с предназначением, следует рассматривать последовательно в два этапа:

1) на первом этапе осуществляется подготовка элементов системы связи и РТО к обеспечению информационного обмена (свертывание средств связи и РТО, перемещение в новый район, развертывание средств связи и РТО на новых позициях);

2) на втором этапе осуществляется непосредственное обеспечение информационного обмена.

Построение системы показателей оценки эффективности подразделений связи и РТО основано на методе обобщенного (агрегированного) показателя, который позволяет выразить общий показатель оценки эффективности, отражающий степень достижения цели функционирования элементов системы связи и РТО, совокупностью частных показателей [10, 11].

Оценку эффективности подразделений связи и РТО на первом этапе, целесообразно произвести частным показателем, характеризующим способность подразделений связи и РТО обеспечить своевременную подготовку элементов системы связи и РТО к обеспечению информационного обмена, выраженную $P_{подг}(t_{подг} \leq t_{подг\ расн})$ – вероятностью подготовки элементов системы связи и РТО за время $t_{подг}$, не превышающее располагаемое. Под располагаемым временем $t_{подг\ расн}$, в данном исследовании, принят временной интервал, отведенный подразделениям связи и РТО на подготовку к функционированию элементов системы связи и РТО в новых районах предназначения для конкретных условий обстановки.

Определить $P_{подг}(t_{подг} \leq t_{подг\ расн})$ позволит математическая модель сетевого планирования, целесообразность применения которой обусловлена недетерминированным временем выполнения мероприятий подготовки и возможностью их оценки исходя из эмпирических наблюдений [2].

Суммарное время выполнения всех мероприятий подготовки формируется аддитивно из времени осуществления каждого.

На время выполнения операций каждого мероприятия подготовки влияют различные факторы. Согласно центральной предельной теоремы теории вероятности [12], время выполнения операций есть случайная величина, распределенная по нормальному закону.

Следовательно, вероятность реализации всего комплекса мероприятий подготовки, с учетом входных эмпирических временных показателей может быть определена аналитическим выражением:

$$P_{подг}(t_{подг} \leq t_{подг\ доп}) = \sum_{n=1}^N \Phi\left(\frac{t_{0n} - \bar{t}_n}{\sigma_n}\right), \quad (1)$$

где, $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2} dt$ – функция Лапласа; t_{0n} – максимально допустимое время выполнения операций n -го мероприятия подготовки; \bar{t}_n – среднее время выполнения операций n -го мероприятия подготовки; σ_n – среднеквадратическое отклонение времени n -го мероприятия подготовки.

Оценку эффективности подразделений связи и РТО на втором этапе, целесообразно произвести частным показателем отражающим способность элементов системы связи и РТО своевременно передать заданный объем сообщений и обеспечить выдачу навигационной информации экипажам на борт воздушного судна (ВС), выраженную $P_{срто\text{бод}}(t_{расн} \leq t_{треб})$ – вероятностью обеспечения подсистемой связи информационного обмена за время $t_{расн}$, не превышающее $t_{треб}$. Под требуемым временем $t_{треб}$, в данном исследовании, принят временной интервал установленный нормативами по связи и РТО.

Оценить эффективность подсистемы связи целесообразно с применением математического аппарата теории массового обслуживания [13]. Подсистему связи можно рассматривать как многоканальную систему массового обслуживания (СМО) с отказами вида М/М/к. В СМО в случайные моменты времени поступают сообщения, которые затем обрабатываются и передаются.

Предполагается, что сообщения поступают случайно, причем, поток сообщений поступающих в СМО, является стационарным потоком Пуассона с плотностью распределения f_{ex} длительностей интервалов между сообщениями. В соответствии с [12, 13] может быть представлена экспоненциальным законом:

$$f_{ex}(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где λ – интенсивность поступления сообщений (среднее число сообщений, поступающих в СМО за единицу времени), t – текущее время.

Поступающие сообщения будут переданы свободными каналами связи. Если в течении установленного (требуемого) для передачи сообщений времени, все каналы оказались заняты, то такие сообщения переданы не будут.

Учитывая, что сообщения обрабатываются независимо друг от друга, введем допущение о том, что поток обслуживания сообщений, подлежащих передаче, соответствует простейшему потоку Пуассона, характеризующийся плотностью распределения длительности обслуживания сообщений СМО f_{nep} вида:

$$f_{nep}(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad (3)$$

где μ – интенсивность обработки сообщений, t – текущее время.

Интенсивность μ связана со средним временем передачи одного сообщения одним каналом t_{nep} соотношением:

$$\mu = \frac{1}{t_{nep}}, \quad (4)$$

Учитывая необходимость передачи сообщений, для которых установлены нормативы по передаче, время передачи t_{nep} можно определить с помощью выражения:

$$t_{nep} = \sum_{i=1}^m w_i T_i, \quad (5)$$

где, T_i – временной норматив передачи сообщения i -й категории срочности; w_i – доля сообщений i -й категории срочности; m – количество категорий срочности сообщений.

В качестве входных параметров СМО будут выступать интенсивность поступающих сообщений λ , интенсивность передачи сообщений μ и количество абсолютно надежных (не подверженных воздействию дестабилизирующих факторов) каналов связи K на каждом информационном направлении. Учитывая, что интенсивность поступления сообщений λ может быть различной, целесообразно провести анализ зависимостей выходных параметров для этой интенсивности из диапазона от минимального значения λ_{\min} до максимального λ_{\max} .

Вероятность P_k того, что в отдельном информационном направлении, организованном K каналами связи находятся k сообщений, в соответствии с [14, 15], будет определяться аналитическим выражением:

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} = \frac{\rho^k}{k!} P_0, k = 0, 1, \dots, n, \quad (6)$$

где $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ – приведенная интенсивность СМО; P_0 – вероятность того, что все каналы связи свободны.

Вероятность P_0 определяется формулой [14, 15]:

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} \right]}, k = 0, 1, \dots, n. \quad (7)$$

Остальные вероятностные характеристики функционирования в стационарном режиме многоканальной СМО с отказами, определяются следующими аналитическими выражениями [14, 15]:

вероятность отказа или не передача сообщения:

$$P_{отк} = P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0. \quad (8)$$

Сообщение невозможно передать, если оно приходит в тот момент, когда все каналы передачи заняты. Величина $P_{отк}$ характеризует полноту передачи потока сообщений;

вероятность того, что сообщение будет доставлено, (она же относительная пропускная способность элемента подсистемы связи) дополняет $P_{отк}$ до единицы:

$$q = 1 - P_{отк} = 1 - \frac{\rho^n}{n!} P_0; \quad (9)$$

абсолютная пропускная способность:

$$A = \lambda q = \lambda(1 - P_{отк}); \quad (10)$$

среднее число каналов, занятых передачей сообщений:

$$\bar{k} = \sum_{k=1}^n kP_k = \rho(1 - P_{отк}). \quad (11)$$

С учетом (6) вероятность P_c передачи сообщений подсистемой связи можно определить:

$$P_c = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I P_{k_i}, \quad (12)$$

где P_{k_i} – вероятность того, что в i -м информационном направлении, организованном K каналами связи находятся k сообщений; I – количество информационных направлений в подсистеме связи.

С целью учета дестабилизирующих факторов, оказывающих влияние на элементы системы связи и РТО, число абсолютно надежных каналов связи K в выражении (6) целесообразно принять как среднее число исправных каналов связи K_{cpi} на i -м информационном направлении.

К дестабилизирующим факторам, в данном случае, следует отнести: воздействие противника средствами огневого поражения и радиоэлектронного подавления, а также технические отказы штатных средств связи и РТО [2]. Таким образом, среднее число исправных каналов связи K_{cpi} , в соответствии с [12] можно определить аналитическим выражением:

$$K_{cpi} = P_{пер_i} K_i, \quad (13)$$

где $P_{пер_i}$ – вероятность обеспечения подсистемой связи передачи сообщений на i -м информационном направлении в условиях воздействия дестабилизирующих факторов; K_i – количество абсолютно надежных каналов связи на i -м информационном направлении.

С целью повышения объективности результатов оценки эффективности подразделений связи и РТО, в методику целесообразно включить показатель $k_{достc_i}$ – коэффициент доступности каналов связи на i -м информационном направлении, отражающий возможности подразделений связи и РТО развертывать имеющимися штатными средствами достаточное количество линий связи, способных своевременно передать заданный (требуемый) объем сообщений. Аналитическое выражение для определения $k_{достc_i}$ имеет вид:

$$k_{достc_i} = \begin{cases} 1, & \text{при } K_i \geq K_{i_{мреб}} \\ \frac{K_i}{K_{i_{мреб}}}, & \text{при } K_i < K_{i_{мреб}} \end{cases}, \quad (14)$$

где K_i – количество абсолютно надежных каналов связи, которое подразделение связи и РТО способно организовать на i -м информационном направлении; $K_{i_{мреб}}$ – требуемое (необходимое) для своевременной передачи заданного объема сообщений количество каналов связи на i -м информационном направлении.

С учетом дестабилизирующих факторов, в соответствии с (13) выражение (14) принимает вид:

$$k_{\text{дост}c_i} = \begin{cases} 1, & \text{при } K_{cp_i} \geq K_{i_{\text{треб}}} \\ \frac{K_{cp_i}}{K_{i_{\text{треб}}}}, & \text{при } K_{cp_i} < K_{i_{\text{треб}}} \end{cases}, \quad (15)$$

где K_{cp_i} – среднее число исправных каналов связи на i -м информационном направлении.

Расчет $k_{\text{дост}c}$ для всех информационных направлений производится в соответствии с выражением:

$$k_{\text{дост}c} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I k_{\text{дост}c_i}. \quad (16)$$

Таким образом, в соответствии с (12) и (16) вероятность $P_{c_{\text{од}}}$, характеризующая способность подразделений связи и РТО обеспечить передачу штатными средствами связи заданного объема сообщений в условиях воздействия дестабилизирующих факторов за время не превышающее требуемое будет определена выражением:

$$P_{c_{\text{од}}}(t \leq t_{\text{треб}}) = k_{\text{дост}c} P_c. \quad (17)$$

Обеспечение экипажей ВС навигационной информацией является одной из важнейших задач, решаемых в целях определения местоположения ВС в пространстве и их точного вывода к объектам действий. Применение различных элементов подсистемы РТО становится особенно актуальным в условиях отсутствия навигационной информации, получаемой по каналам связи, образованными средствами спутниковой навигации. Такое возможно в случае деструктивных воздействий на группировки космических аппаратов – носителей навигационного оборудования [16, 17].

Таким образом, в принятых условиях, эффективность функционирования средств подсистемы РТО, как основных источников навигационной информации на протяжении всего маршрута полета, требует оценки. Подход к оценке возможностей подразделений связи и РТО развернуть элементы подсистемы РТО, способные своевременно обеспечить экипажи воздушных судов (ВС) навигационной информацией может быть представлен в соответствии с [5] выражением:

$$P_{\text{пто}_r} = \begin{cases} 1, & \text{при } S_{\text{вид}} \geq S_{\text{отв}}; \\ \frac{S_{\text{вид}}}{S_{\text{отв}}}, & \text{при } S_{\text{вид}} < S_{\text{отв}}, \end{cases} \quad (18)$$

где $P_{\text{пто}_r}$ – вероятность обеспечения экипажей ВС навигационной информацией на r -м этапе полета; $S_{\text{вид}}$ – реальная зона видимости средства РТО; $S_{\text{отв}}$ – зона ответственности средства РТО (требуемая зона видимости).

Вероятность $P_{пто_m}$, характеризующая способность штатных средств подсистемы РТО обеспечить навигационной информацией экипажи ВС на одном аэродроме будет определяться выражением:

$$P_{пто_m} = \sum_{r=1}^R \frac{S_r}{S_{общ}} P_{пто_r}, \quad (19)$$

где S_r – дальность полета ВС на r -м этапе полета; $S_{общ}$ – общая протяженность маршрута полета; R – количество штатных средств РТО обеспечивающих навигационной информацией экипажи ВС на одном аэродроме.

Способность штатных средств подсистемы РТО на нескольких аэродромах обеспечить навигационной информацией экипажи ВС будет определяться выражением:

$$P_{пто} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_{пто_m}, \quad (20)$$

где M – количество аэродромов; $P_{пто_m}$ – вероятность обеспечения навигационной информацией экипажей ВС на всех этапах полета на m -м аэродроме.

Однако, данный подход не позволяет в полной мере оценить возможности подразделений связи и РТО развернуть элементы подсистемы РТО, способные обеспечить выдачу навигационной информации на этапе выхода экипажей ВС к объектам действий, а также не учитывает состояния сил и средств связи и РТО в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.

С целью повышения объективности результатов оценки возможностей подразделений связи и РТО, в методику целесообразно включить показатель $k_{дост_пто_r}$ – коэффициент доступности элементов подсистемы РТО, характеризующий возможности подразделения связи и РТО штатными средствами РТО предоставить для информационного обмена достаточное количество линий связи на r -том этапе полета:

$$k_{дост_пто_r} = \begin{cases} 1, & \text{при } N_r \geq N_{r_{треб}} \\ \frac{N_r}{N_{r_{треб}}}, & \text{при } N_r < N_{r_{треб}} \end{cases}, \quad (21)$$

где N_r – количество линий связи обеспечивающих передачу навигационной информации экипажу на борт ВС на r -м этапе полета; $N_{r_{треб}}$ – требуемое количество линий связи, по которым должна передаваться навигационная информация на r -м этапе полета.

Учет дестабилизирующих факторов, оказывающих влияние на подсистему РТО производится аналогично подсистеме связи, аналитическим выражением (13). Следовательно, выражение (21) для определения $k_{дост_пто_r}$ примет вид:

$$k_{дост_пто_r} = \begin{cases} 1, & \text{при } N_{ср_r} \geq N_{r_{треб}} \\ \frac{N_{ср_r}}{N_{r_{треб}}}, & \text{при } N_{ср_r} < N_{r_{треб}} \end{cases}, \quad (22)$$

где N_{cr_r} – среднее число исправных каналов связи, образованных средствами РТО на r -м этапе полета.

Расчет $k_{доств_{пто}}$ для всех этапов полета ВС производится в соответствии с выражением:

$$k_{доств_{пто}} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R k_{доств_{пто_r}}. \quad (23)$$

Если значения показателей $k_{доств_c}$ и $k_{доств_{пто}}$ превышают 1, то производится расчет $Q_{рез}$ – резерва информационных возможностей системы связи и РТО:

$$Q_{рез_c} = k_{доств_c} - 1, \quad (24)$$

$$Q_{рез_{пто}} = k_{доств_{пто}} - 1. \quad (25)$$

Таким образом, в соответствии с (20) и (23) вероятность $P_{пто_{\delta\delta}}$, характеризующая способность подразделений связи и РТО обеспечить штатными средствами РТО выдачу навигационной информации экипажам на борт ВС на всех этапах полета в условиях воздействия дестабилизирующих факторов за время не превышающее требуемое будет определена аналогично (17):

$$P_{пто_{\delta\delta}}(t \leq t_{треб}) = k_{доств_{пто}} P_{пто}. \quad (26)$$

Второй частный показатель $P_{срто_{\delta\delta}}(t_{расн} \leq t_{треб})$ – вероятность обеспечения элементами системы связи и РТО информационного обмена за время не превышающее требуемое, являющийся совокупностью показателей $P_{с_{\delta\delta}}(t \leq t_{треб})$ и $P_{пто_{\delta\delta}}(t \leq t_{треб})$, позволит оценить эффективность подразделений связи и РТО на втором этапе их применения. Аналитическое выражение для расчета $P_{срто_{\delta\delta}}(t_{расн} \leq t_{треб})$ в соответствии с [12], примет вид:

$$P_{срто_{\delta\delta}}(t_{расн} \leq t_{треб}) = k_{доств_c} P_c k_{доств_{пто}} P_{пто}. \quad (27)$$

Теория марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем позволяет описать функционирование элементов системы связи и РТО в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов. Полная группа состояний может быть описана системой дифференциальных уравнений Колмогорова [18, 19].

Каждое состояние S_i в момент времени t характеризуется вероятностью $P_i(t)$, которому соответствует значение функции, описывающей способность элемента системы связи и РТО решить частную задачу в данном состоянии. При этом существуют состояния, находясь в которых, элемент системы является неработоспособным.

С достаточной степенью детализации процесс функционирования элементов системы связи и РТО может быть описан состояниями, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Физический смысл состояний элемента системы связи и РТО

Состояние	Физический смысл состояний элемента системы связи и РТО
S_1	Элемент системы связи и РТО исправен и готов к обеспечению информационного обмена
S_2	Элемент системы связи и РТО функционирует в соответствии с предназначением
S_3	Подготовка элемента системы связи и РТО к перемещению
S_4	Элемент системы связи и РТО перемещается в новый район предназначения
S_5	Подготовка элемента системы связи и РТО к эксплуатации
S_6	Элемент системы связи и РТО поражен огневыми средствами противника
S_7	Элемент системы связи и РТО вскрыт средствами разведки противника
S_8	На элемент системы связи и РТО оказано воздействие средствами радиоэлектронного подавления противника
S_9	Выход из строя элемента системы связи и РТО в следствии эксплуатационного отказа
S_{10}	Элемент системы связи и РТО не функционирует вследствие воздействия дестабилизирующих факторов

Для определения вероятностей $P_i(t)$ разработан размеченный граф состояний случайного процесса, моделирующий функционирование элементов системы связи и РТО в зависимости от времени, представленный на рис. 1.

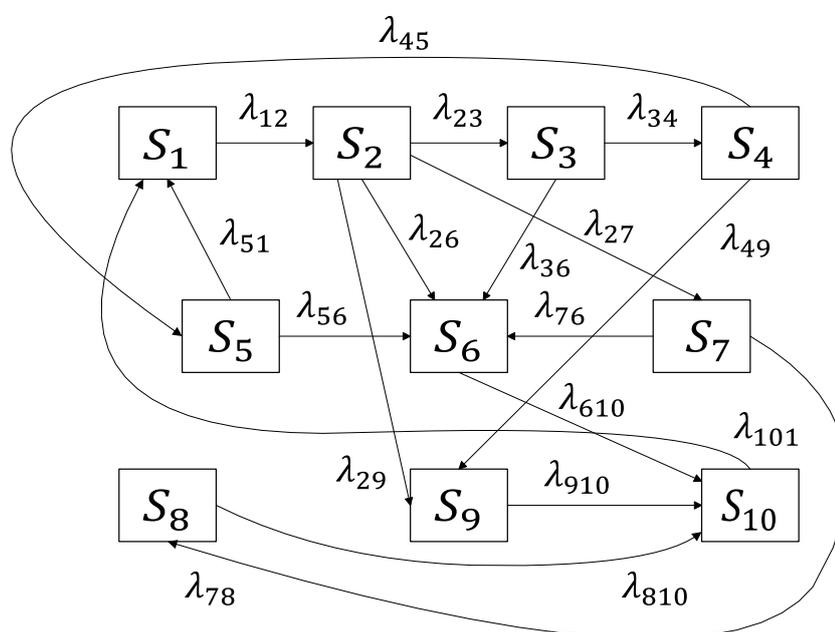


Рис. 1. Размеченный граф состояний случайного процесса, моделирующий функционирование элементов системы связи и РТО

Будем предполагать, что смена состояний случайного процесса обусловлена простейшими переходными потоками событий с интенсивностями, которые переводят элемент системы связи и РТО из одного состояния в другое. Физический смысл формализуемых переходов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Физический смысл формализуемых переходов

Формализуемый переход	Физический смысл перехода между событиями	Обозначение
$S_1 \rightarrow S_2$	Обеспечение информационного обмена	λ_{12}
$S_5 \rightarrow S_1$	Перемещение элемента системы связи и РТО в новый район предназначения	λ_{51}
$S_{10} \rightarrow S_1$	Восстановления работоспособности элемента системы связи и РТО	λ_{101}
$S_2 \rightarrow S_3$	Смена района предназначения элемента системы связи и РТО	λ_{23}
$S_2 \rightarrow S_6$	Воздействие на элемент системы связи и РТО огневыми средствами противника	λ_{26}
$S_2 \rightarrow S_7$	Обнаружение элемента системы связи и РТО средствами разведки противника	λ_{27}
$S_2 \rightarrow S_9$	Эксплуатационный отказ компонентов элементной базы элемента системы связи и РТО	λ_{29}
$S_3 \rightarrow S_4$	Смена района предназначения элемента системы связи и РТО	λ_{34}
$S_3 \rightarrow S_6$	Воздействие на элемент системы связи и РТО огневыми средствами противника	λ_{36}
$S_4 \rightarrow S_5$	Развертывание элемента системы связи и РТО на позиции в новом районе предназначения	λ_{45}
$S_4 \rightarrow S_9$	Эксплуатационный отказ автомобильного базового шасси обеспечивающего перемещение элемента системы связи и РТО в новый район предназначения	λ_{49}
$S_5 \rightarrow S_6$	Воздействие на элемент системы связи и РТО огневыми средствами противника	λ_{56}
$S_6 \rightarrow S_{10}$	Поражение элемента системы связи и РТО огневыми средствами противника	λ_{610}
$S_7 \rightarrow S_6$	Воздействие на элемент системы связи и РТО огневыми средствами противника	λ_{76}
$S_7 \rightarrow S_8$	Радиоэлектронное подавление средства связи и РТО средствами РЭБ	λ_{78}
$S_8 \rightarrow S_{10}$	Нарушение функционирования элемента системы связи и РТО в результате воздействия средств радиоэлектронного подавления противника	λ_{810}
$S_9 \rightarrow S_{10}$	Эксплуатационный отказ элемента системы связи и РТО	λ_{910}

Интенсивности переходных потоков событий λ_{ij} , связаны со средним временем T_{ij} – временем нахождения элемента системы связи и РТО в состоянии S_i перед переходом в состояние S_j : $\lambda_{ij} = \frac{1}{T_{ij}}$.

Матрица интенсивностей переходных вероятностей представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица интенсивностей переходных вероятностей

Состояние	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
S_1	0	λ_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0
S_2	0	0	λ_{23}	0	0	λ_{26}	λ_{27}	0	λ_{29}	0
S_3	0	0	0	λ_{34}	0	λ_{36}	0	0	0	0
S_4	0	0	0	0	λ_{45}	0	0	0	λ_{49}	0
S_5	λ_{51}	0	0	0	0	λ_{56}	0	0	0	0
S_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\lambda_{6,10}$
S_7	0	0	0	0	0	λ_{76}	0	λ_{78}	0	0
S_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\lambda_{8,10}$
S_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\lambda_{9,10}$
S_{10}	$\lambda_{10,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Система дифференциальных уравнений (28) описывающих состояния элементов системы связи и РТО:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= \lambda_{101} \left(1 - \sum_{i=1}^9 P_i(t) \right) + \lambda_{51} P_5(t) - \lambda_{12} P_1(t); \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= \lambda_{12} P_1(t) - (\lambda_{23} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{29}) P_2(t); \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= \lambda_{23} P_2(t) - (\lambda_{34} + \lambda_{36}) P_3(t); \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= \lambda_{34} P_3(t) - (\lambda_{45} + \lambda_{49}) P_4(t); \\
 \frac{dP_5(t)}{dt} &= \lambda_{45} P_4(t) - (\lambda_{51} + \lambda_{56}) P_5(t); \\
 \frac{dP_6(t)}{dt} &= \lambda_{26} P_2(t) + \lambda_{36} P_3(t) + \lambda_{56} P_5(t) + \lambda_{76} P_7(t) - \lambda_{6,10} P_6(t); \\
 \frac{dP_7(t)}{dt} &= \lambda_{27} P_2(t) - (\lambda_{76} + \lambda_{78}) P_7(t); \\
 \frac{dP_8(t)}{dt} &= \lambda_{78} P_7(t) - \lambda_{8,10} P_8(t); \\
 \frac{dP_9(t)}{dt} &= \lambda_{29} P_2(t) + \lambda_{49} P_4(t) - \lambda_{9,10} P_9(t); \\
 P_{10}(t) &= 1 - \sum_{i=1}^9 P_i(t).
 \end{aligned} \right\} (28)$$

Для нахождения частного решения системы (28) воспользуемся начальными условиями: $P_1(0) = 1; P_i(0) = 0; i = 2, 3, \dots, 10$, суть которых заключается в том, что в начальный момент времени элемент системы связи и РТО находился в состоянии S_1 .

По истечении длительного периода времени ($t \rightarrow \infty$), вероятности $P_i(t)$, полученные из решения системы уравнений (28) не будут зависеть от времени и будут являться константами P_i . Их значения для состояний S_6, S_8, S_9 имеют четкий смысл – характеризуют влияние дестабилизирующих факторов и отра-

жают вероятность наступления определенных событий в процессе функционирования элементов системы связи и РТО, учет которых, в соответствии с [12], позволит определить $P_{пер_i}$ в аналитическом выражении (13).

Аналитическое решение системы линейных неоднородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (28) возможно с использованием различных методов решения неоднородных дифференциальных уравнений первого порядка (методом исключения, операторным методом, методом собственных значений и собственных векторов, численными методами) [18]. Данную задачу будем решать численными методами.

Для решения системы уравнений (28) используем конечноразностный многошаговый метод численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка – метод Адамса, реализованный в среде MathCad [20]. В результате решения получим значения вероятностей для всех состояний случайного процесса в зависимости от времени t . В общем виде качественные графики зависимостей вероятностей состояний $P_6(t)$, $P_8(t)$, $P_9(t)$ от времени представлены на рис. 2.

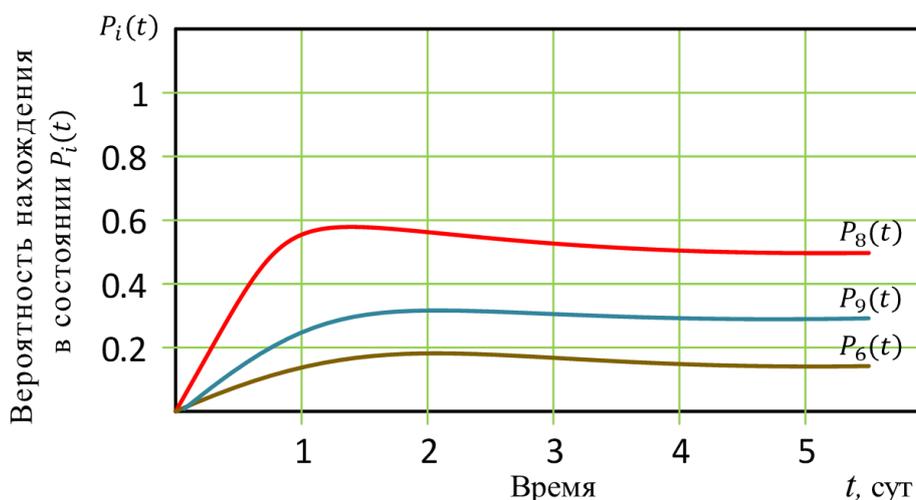


Рис. 2. Качественные графики зависимостей вероятностей состояний $P_6(t)$, $P_8(t)$, $P_9(t)$ от времени

С учетом (1) и (27), и в соответствии с [12] выражение для определения общего показателя ($P_{он}(t_{расч} \leq t_{треб})$) – вероятности решения подразделениями связи и РТО задач в соответствии с предназначением в условиях воздействия дестабилизирующих факторов и за время не превышающее требуемое примет вид:

$$P_{он}(t_{расч} \leq t_{треб}) = \alpha P_{подг.} + \beta P_{срто_{од}}, \quad (29)$$

где α и β – весовые коэффициенты характеризующих важность этапов применения подразделения связи и РТО для конкретных условий обстановки.

Под требуемым временем $t_{треб}$ принят временной интервал, в рамках которого должна быть обеспечена упреждающая готовность системы связи и РТО, способной своевременно реализовать процессы информационного обмена в конкретных условиях обстановки.

Существует несколько методов определения весовых коэффициентов: анализа иерархий, экспертных оценок, логического анализа и другие.

Для определения числовых значений весовых коэффициентов α и β , в выражении (29), в данной методике отдано предпочтение методу экспертных оценок. Сущность метода заключается в проведении экспертами интуитивно-логического анализа с количественной оценкой суждений и формальной обработкой результатов. Для определения числовых значений оценок весовых коэффициентов, для различных условий обстановки и способов применения подразделений связи и РТО, необходимо участие высококвалифицированных специалистов в области связи и РТО [21]. При этом, должны быть соблюдены условия: $\alpha + \beta = 1$; $\alpha > 0$; $\beta > 0$.

Для расчетов использован метод обработки экспертных оценок, который позволяет получить оценки с учетом компетентности экспертов [21].

Заключение

Предложенная система показателей оценки эффективности, включающая: общий показатель $P_{\text{он}}(t_{\text{расч}} \leq t_{\text{треб}})$ – вероятность решения подразделениями связи и РТО задач в соответствии с предназначением в условиях воздействия дестабилизирующих факторов и за время не превышающее требуемое; частный показатель $P_{\text{подг}}(t_{\text{подг}} \leq t_{\text{подг расч}})$ – вероятностью подготовки элементов системы связи и РТО за время не превышающее располагаемое; частный показатель $P_{\text{сртоод}}(t_{\text{расч}} \leq t_{\text{треб}})$ – вероятностью обеспечения элементами системы связи и РТО информационного обмена за время не превышающее требуемое и разработанная методика оценки эффективности подразделений связи и РТО полетов авиации Воздушно-космических сил, позволят органам управления связью и РТО делать обоснованные выводы о способности подразделений связи и РТО обеспечить упреждающую готовность элементов системы связи и РТО к информационному обмену в различных условиях обстановки.

Отличительными особенностями предложенной методики, от известных [5, 6, 7, 8, 9], являются разработанные математическая модель оценки состояний элементов системы связи и РТО в условиях воздействия дестабилизирующих факторов и коэффициенты $k_{\text{доств}_c}$, $k_{\text{доств}_{рто}}$, характеризующие доступность элементов системы связи и РТО.

Материал статьи может использоваться при разработке и исследованиях способов применения подразделений связи и РТО полетов авиации в различных условиях обстановки.

Литература

1. Боговик А. В., Игнатов В. В. Теория управления в системах военного назначения. – СПб.: ВАС, 2008. – 459 с.
2. Боговик А. В., Игнатов В. В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. – СПб.: ВАС, 2006. – 183 с.
3. Бойко А. А. Способ аналитического моделирования боевых действий // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 2. С. 1-27. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10201.
4. Бурянин С. Н. Комплексная методика оценки эффективности применения подразделений связи и радиотехнического обеспечения // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2020664684.
5. Ивануткин А. Г., Казьмин А. И. Подход к оценке эффективности радиотехнического обеспечения полетов авиации // Труды МАИ. 2015. № 82. С. 1-16. – URL: https://mai.ru/upload/iblock/3bb/ivanutkin_kazmin_rus.pdf (дата обращения 17.12.2018).
6. Ивануткин А. Г. Методика оценки эффективности радиотехнического обеспечения полетов авиации // Военная мысль. 2016. № 7. С. 33-40.
7. Воробьев В. А., Сахаров С. В., Митрофанова С. В. Оценка эффективности комплекса технических средств, стоящего на вооружении частей связи и радиотехнического обеспечения полетов государственной авиации // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 7. С. 109-117. – URL: <https://vva.mil.ru/upload/site21/ufXuF5AVK4.pdf> (дата обращения 24.02.2019).
8. Саяпин А. В. Методика оценки эффективности радиотехнического обеспечения боевых действий авиации // Вестник академии военных наук. 2007. № 4 (21). С. 114-116 – URL: <http://militaryarticle.ru/vestnik-akademii-voennykh-nauk/2007-vavn/10659-metodika-ocenki-jeffektivnosti-radiotehnicheskogo> (дата обращения 17.01.2019).
9. Меженов А. В., Кретов А. А., Сызранцев В. С. Обоснование критерия эффективности и показателей качества для оценки устойчивости системы связи и радиотехнического обеспечения в едином информационном пространстве // I-methods. 2019. № 3. С. 2-19. – URL: <http://intech-spb.com/wp-content/uploads/archive/2019/3/4-Mejenov.pdf> (дата обращения 6.11.2020).
10. Надежность и эффективность в технике. Справочник, т. 3 Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с. – URL: https://www.studmed.ru/nadezhnost-i-effektivnost-v-tehnike-spravochnik-v-10-tom-3_4c3d4896375.html (дата обращения 25.11.2020).
11. Макаренко С. И. Справочник научных терминов и обозначений. – СПб.: Научные технологии, 2019. – 254 с.
12. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учебник. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 571 с.
13. Самусевич Г. А. Основы теории массового обслуживания: учебное пособие. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 102 с.

14. Матвеев В. Ф., Ушаков В. Г. Системы массового обслуживания. – М.: МГУ, 1984. – 240 с.
15. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
16. Антонович П. И., Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Ушанев К. В. Перспективные способы деструктивного воздействия на системы военного управления в едином информационном пространстве // Вестник Академии военных наук. 2014. № 3 (48). С. 93-101.
17. Михайлов Р. Л. Радиоэлектронная борьба в Вооруженных силах США: военно-теоретический труд. – СПб.: Научное издательство «Лань», 2018. – 131 с.
18. Арнольд В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: МЦНМО, 2012. – 344 с.
19. Козлитин С. Н., Козирацкий Ю. Л., Будников С. А. Моделирование совместного применения средств радиоэлектронной борьбы и огневого поражения в интересах повышения эффективности борьбы за превосходство в управлении // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 49-73. doi: 10.24411/2410-9916-2020-00001.
20. Охорзин В. А. Оптимизация экономических систем. Примеры и алгоритмы в среде Mathcad. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 144 с.
21. Барлаков С. А., Моисеев С. И., Порядина В. Л. Модели и методы в управлении и экономике с применением информационных технологий: учебное пособие. – СПб.: Интермедия, 2017. – 264 с.

References

1. Bogovik A. V., Ignatov V. V. *Teoriya upravleniya v sistemah voennogo naznacheniya* [Management theory in the military system]. Saint Petersburg, Military Academy of Communications, 2008. 459 p. (in Russian).
2. Bogovik A. V., Ignatov V. V. *Effektivnost' sistem voennoj svyazi i metody ee ocenki* [The effectiveness of military communications systems and methods of its assessment]. Saint Petersburg, Military Academy of Communications, 2006. 183 p. (in Russian).
3. Boyko A. A. Warfare Analytical Modelling Method. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 2, pp. 1-27. doi: 10.24411/2410-9916-2019-10201 (in Russian).
4. Buryanin S. N. *Kompleksnaya metodika ocenki effektivnosti primeneniya podrazdelenij svyazi i radiotekhnicheskogo obespecheniya. Svidetel'stvo o registracii programmy na EVM* [Comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of the use of communications and radio support units. The Certificate on Official Registration of the Computer Program]. No. RU 2020664684, 2020.
5. Ivanutkin A. G., Kazmin A. I. Approach to evaluating the effectiveness of radio engineering support for aviation flights. *Trudy MAI*, 2015, no. 82, pp. 1-16. Available at: https://mai.ru/upload/iblock/3bb/ivanutkin_kazmin_rus.pdf (accessed 17 December 2018) (in Russian).
6. Ivanutkin A. G. *Metodika ocenki effektivnosti radiotekhnicheskogo obespecheniya poletov aviatsii* [Methodology for evaluating the effectiveness of radio

engineering support for aviation flights]. *Military Thought*, 2016, vol. 7, pp. 33-40 (in Russian).

7. Vorobyev V. A., Saharov S. V., Mitrofanova S. V. Evaluation of the effectiveness of the complex of technical means in service with the communication and radio support units of state aviation flights. *Vozdushno-kosmicheskie sily teoriya i praktika*, 2018, no. 7, pp. 109-117. Available at: <https://vva.mil.ru/upload/site21/ufXuF5AVK4.pdf> (accessed 24 February 2019) (in Russian).

8. Sayapin A. V. Methodology for evaluating the effectiveness of radio engineering support for combat aviation operations. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2007, vol. 21, no. 4, pp. 114-116. Available at: <http://militaryarticle.ru/vestnik-akademii-voennykh-nauk/2007-vavn/10659-metodika-ocenki-jeffektivnosti-radiotekhnicheskogo> (accessed 17 January 2019) (in Russian).

9. Mezhenov A. V., Kretov A. A., Sizrancev V. S. Justification of the efficiency criterion and quality indicators for assessing the stability of the communication system and radio engineering support in a single information space. *I-methods*, 2019, no. 3, pp. 2-9. Available at: <http://intech-spb.com/wp-content/uploads/archive/2019/3/4-Mejenov.pdf> (accessed 6 November 2020) (in Russian).

10. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike* [Reliability and efficiency in engineering]. Guide vol. 3 *Effektivnost' tekhnicheskikh sistem* [Efficiency of technical systems]. By general edit. V. F. Utkin, U. V. Kruchkova. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 328 p. Available at: https://www.studmed.ru/nadezhnost-i-effektivnost-v-tehnike-spravochnik-v-10-t-tom-3_4c3d4896375.html (accessed 25 November 2020) (in Russian).

11. Makarenko S. I. *Spravochnik nauchnykh terminov i oboznachenij* [Reference book of scientific terms and designations]. Saint Petersburg, Naukoemkie tekhnologii., 2019. 254 p. (in Russian).

12. Ventcel E. S. *Teoriya veroyatnostej* [Probability theory]. Moscow, Publishing center «Academy», 2003. 571 p. (in Russian).

13. Samusevich G. A. *Osnovy teorii massovogo obsluzhivaniya* [Fundamentals of queuing theory]. Ekaterinburg, Ural State Technical University, 2009. 102 p. (in Russian).

14. Matveev V. F., Ushakov V. G. *Sistemy massovogo obsluzhivaniya* [Queueing system]. Moscow, Moscow State University, 1984. 240 p. (in Russian).

15. Kleinrock L. *Theory Queueing System*. New York, Wiley Interscience, 1975. 448 p.

16. Antonovoch P. I., Makarenko S. I., Mihailov R. L., Ushanev K. V. Perspektivnye sposoby destruktivnogo vozdejstviya na sistemy voennogo upravleniya v edinom informacionnom prostranstve [Promising ways of destructive influence on military control systems in a single information space]. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2014, vol. 48, no. 3, pp. 93-101. (in Russian).

17. Mikhailov R. L. *Radioelektronnaya bor'ba v Vooruzhennykh silah SSHA* [Electronic warfare in the US Armed forces]. Saint Petersburg, Naukoemkie tekhnologii, 2018. 131 p. (in Russian).

18. Arnold V. I. *Obyknovennyye differentsial'nyye uravneniya* [Ordinary differential equation]. Moscow, Center for continuing mathematical education, 2012. 344 p. (in Russian).

19. Kozlitsin S. N., Koziratsky Yu. L., Budnikov S. A. Electronic warfare and fire damage means joint use modeling for improving a superiority of control struggle efficiency. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 1, pp. 49-73. doi: 10.24411/2410-9916-2020-00001. (in Russian).

20. Okhorzin V. A. *Optimizatsiya ekonomicheskikh sistem. Primery i algoritmy v srede Mathcad* [Optimization of economic systems. Examples and algorithms in Mathcad]. Moscow, Finansy i statistika, 2005. 144 p. (in Russian).

21. Barlakov S. A., Moiseev S. I., Poryadina V. L. *Modeli i metody v upravlenii i ekonomike s primeneniem informatsionnykh tekhnologiy* [Models and methods in management and economics with the application of information technology]. Saint Petersburg, Intermedia Publ., 2017. 264 p. (in Russian).

Статья поступила 13 декабря 2020 г.

Информация об авторах

Бурянин Сергей Николаевич – соискатель ученой степени кандидата военных наук. Преподаватель кафедры боевого применения автоматизированных систем управления. Филиал Военного учебно-научного центра ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Челябинск). Область научных интересов: управление связью и РТО полетов авиации; эффективность систем связи и РТО; тактика подразделений связи и РТО. E-mail: Buryanins@yandex.ru

Адрес: 454015, Россия, г. Челябинск, городок 11, д. 40.

Methodology for evaluating the effectiveness of communication and radio engineering departments of Russian Air-Space Force

S. N. Buryanin

Relevance. To date, some experience and methodological material have been accumulated to substantiate the requirements for the composition of the communications and radio support forces of the Russian Federation, the characteristics of military equipment, as well as the development of the functioning of individual elements of the communication and radio support system. At the same time, it is necessary to clarify the issues of development and justification of methods of using forces and means of communication and radio equipment, taking into account the adopted modern and promising models of aviation equipment, communication equipment and radio equipment. Relevance is due on the one hand to the needs of practice, in which there is a need to develop ways to use communications and radio support units equipped with modern weapons and military equipment, United by a single plan and subordinate to a single management body, and on the other – the imperfection of existing methods for evaluating the effectiveness of communications units **The aim of the work** the goal is to develop a methodology for evaluating the effectiveness of communications and radio support units in a dynamically changing environment. **Methods used:** the development of methods for evaluating the effectiveness of communication and radio engineering support units is based on the use of methods of system analysis, mathematical modeling and probability theory, taking into account the specifics of the functioning of elements of the communication and radio engineering support system. **The**

novelty lies the novelty elements are: methods for assessing the state of communications and radio engineering support units under the influence of destabilizing factors; newly introduced coefficients that characterize the availability of communication and radio engineering support system elements and take into account the specifics of their functioning. **Results:** the developed system of indicators to measure the effectiveness of the departments of communications and radio engineering; the technique of an estimation of efficiency of divisions of the communications and electronic security for the performance evaluation: the probability of the training elements of the communications and electronic security to ensure information exchange in just over have; the probability of provision with the elements of communication systems and electronic security of information exchange in time does not exceed demand; the probability of the decision units of communication and radio engineering tasks in accordance with the intended use in rapidly changing conditions. **The practical significance lies** it consists in methodological support of communication management bodies and radio engineering support in order to justify the adoption of management decisions on the use of subordinate forces and means.

Key words: mathematical model, stochastic process, estimation of efficiency, the division of communications and radio engineering, communication and electronic security methods of application units of communication and radio engineering, information exchange, electronic software.

Information about Author

Sergey Nikolaevich Buryanin – Doctoral candidate. Teacher of the Department of combat application of automated control systems. Branch Of the military training and research center of the air force "Air force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin" (Chelyabinsk branch). Field of research: communication and radio engineering control of aviation flights; effectiveness of communication and radio engineering control systems; tactics of communication and radio engineering control units. E-mail: Buryanins@yandex.ru

Address: Russia, 454015, Chelyabinsk, Gorodok 11, 40.