

Методика оценивания эффективности применения космических аппаратов связи по целевому назначению

Е.С. Абазина¹, А.А. Ковальский^{1*}, А.В. Питрин¹

¹Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

*Адрес для переписки: vka@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 29.06.2020

Принята к публикации 19.08.2020

Ссылка для цитирования: Абазина Е.С., Ковальский А.А., Питрин А.В. Методика оценивания эффективности применения космических аппаратов связи по целевому назначению // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 3. С. 6–16. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-3-6-16

Аннотация: В статье представлен подход к сравнению космических аппаратов связи, который может быть применим при необходимости оперативного и обоснованного принятия решения о выборе космического аппарата связи в условиях ограничения времени на принятие решения. Заявленная методика выбора отличается от известных совокупным учетом характеристических показателей аппарата, существенно влияющих на качество выполнения им задач по предназначению. Оцениваемыми характеристиками в работе выбраны доступность, пропускная способность, помехозащищенность, надежность и управляемость аппарата. В статье приведены результаты апробации предлагаемой методики для определения наиболее эффективного аппарата связи в геостационарной орбитальной группировке, принадлежащей Российской Федерации, задействованной при организации информационного обмена подвижных абонентов на территории государства.

Ключевые слова: целевая эффективность, космический аппарат связи, методика оценивания, доступность, пропускная способность, помехоустойчивость, надежность, управляемость.

1. Введение

В вопросах управления глобальными системами и информационного обмена с труднодоступными районами, при поддержке и сопровождении функционирования систем принятия решения и автоматизированных систем управления различного назначения, применение спутниковых систем связи (ССС) является приоритетным. Орбитальная группировка (ОГ) космических аппаратов связи (КАС) составляет основу СССР, ретрансляции и передачи данных. Несмотря на сравнительно молодую историю СССР, количество КАС в околоземном пространстве стремительно возрастает. Это справедливо как для геостационарных аппаратов, обеспечивающих круглосуточную видимость зоны обслуживания, так и для низкоорбитальных, ориентированных на предоставление спутниковой связи с объектами, находящимися в движении. Насыщенность низких и геостационарных орбит КАС разных поколений, обладающими различными энергетическими и надежными характеристиками, определяет слож-

ность задачи выбора единственного в качестве ретранслятора. Одним из подходов, позволяющим обосновать принятие решения такого выбора, является квалиметрический, который базируется на оценивании целевой эффективности каждого аппарата из множества оцениваемых.

2. Алгоритм оценивания целевой эффективности космических аппаратов связи

Согласно теории эффективности целенаправленных процессов, под эффективностью понимается комплексное операционное свойство («качество») целенаправленного процесса функционирования системы, характеризующее его приспособленность к достижению цели операции (к выполнению задачи системы) [1].

Поэтому под целевой (функциональной) эффективностью КАС в статье понимается степень его ответственности целевому назначению при применении (функционировании) в составе ОГ. Проведенные ис-

следования позволяют сделать вывод о том, что понятие «качества систем управления» является исходным по отношению к понятию «эффективность», которое в работах [1–3] полагается следствием «качества» для случаев, когда система обладает целесобразностью. При этом качество имеет значение некоторой совокупности отдельных полезных свойств, разделяемых по иерархическим уровням в зависимости от степени их общности. Предметом изучения квалиметрии являются количественные оценки качества объекта или процесса, которые характеризуют степень их соответствия предъявляемым требованиям (или целям). Научно-методический аппарат квалиметрии, послужил базой для разработки представляемой методики оценивания целевой эффективности КАС. Предлагаемая методика может быть применена для получения обоснован-

ной оперативной, но приблизительной оценки некоторого КАС по отношению ко множеству КАС, участвующих в оценивании между собой.

Схематично предлагаемую методику оценивания целевой эффективности КАС можно представить в виде алгоритма на рисунке 1.

Реализация предложенного алгоритма оценивания целевой эффективности КАС предполагает проведение ряда операций (шагов), на каждом из которых производится оценивание одной из характеристик аппарата, влияющих на возможность выполнения аппарата задач по предназначению с заданным качеством. Расчет характеристических показателей может быть реализован как последовательно, так и параллельно, что определяется количеством областей буферной памяти, их размерами, а также быстродействием применяемых процессорных устройств.

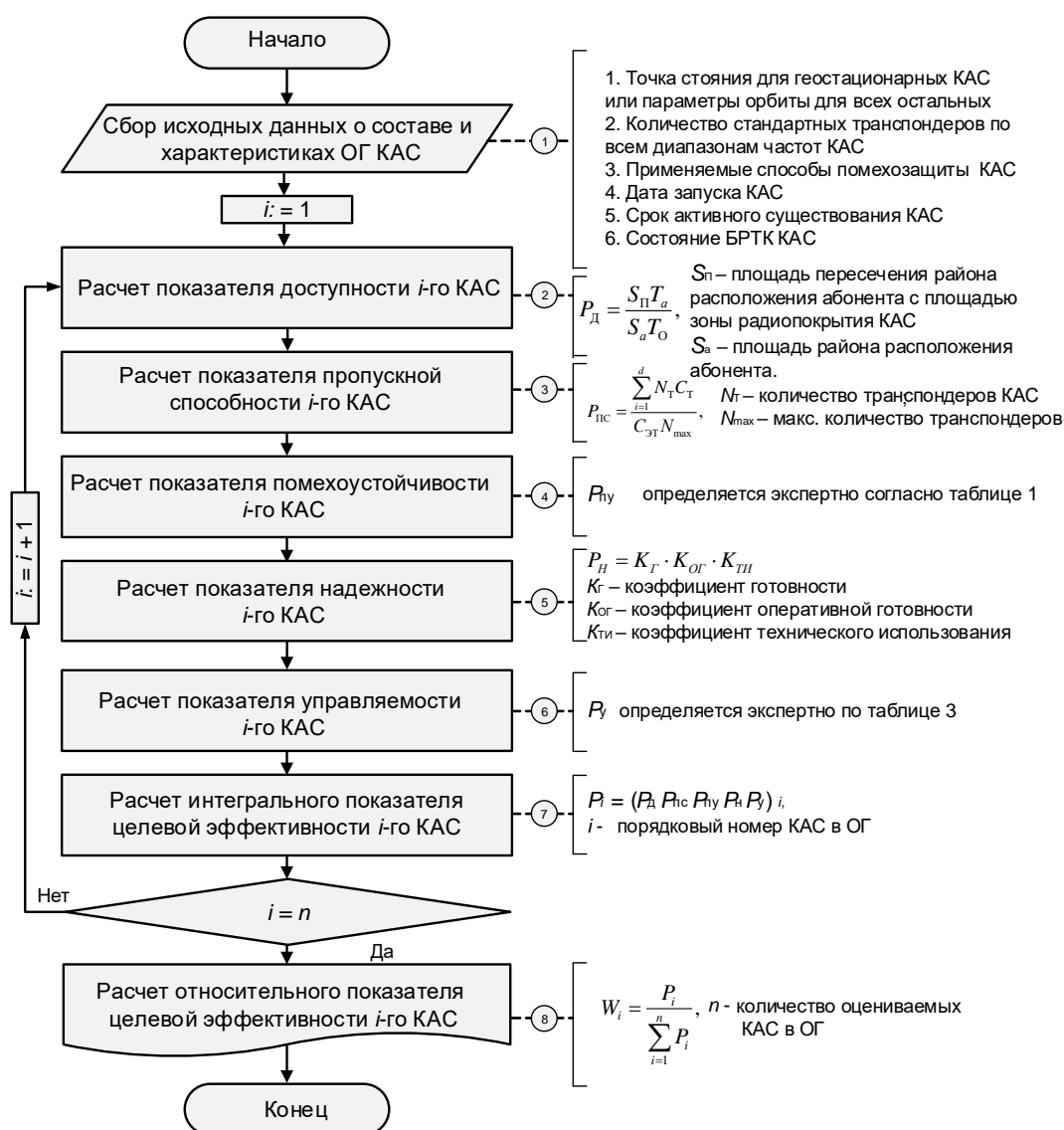


Рис 1. Блок-схема алгоритма оценивания целевой эффективности КАС

Fig. 1. Algorithm's Flowchart Evaluating the Communication Satellite's Target Efficiency

3. Состав основных показателей, исходных и выходных данных при расчете целевой эффективности космических аппаратов связи

Для оценивания целевой эффективности КАС необходимо определить состав исходных и выходных данных, а также показателей и критериев, по которым будет производиться их сравнение между собой.

В качестве исходных данных, собираемых на шаге 1, предлагается использовать следующие технические характеристики КАС:

- точка стояния для геостационарных или параметры орбиты для всех остальных КАС;
- количество стандартных транспондеров по всем диапазонам частот;
- применяемые способы повышения помехоустойчивости;
- дата начала эксплуатации;
- срок активного существования;
- состояние бортового ретрансляционного комплекса (БРТК);
- применяемые способы повышения надежности.

В качестве выходных данных методики и основного оцениваемого показателя, по которому выносится решение, в работе выбран показатель относительной целевой эффективности КАС (W_i), который показывает целевую эффективность отдельного аппарата относительно всех рассматриваемых в составе ОГ. В общем случае оцениваемый КАС может и не принадлежать к составу ОГ. В соответствии с [1–4] W_i принимает значения в диапазоне $W_i \in [0; 1]$ и может быть рассчитан по формуле (1) на шаге 8 приведенного алгоритма:

$$W_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1)$$

где W_i – относительный показатель целевой эффективности i -го КА из множества оцениваемых; i – условный порядковый номер КА во множестве оцениваемых, $i = \overline{1, n}$; P_i – значение интегрированного показателя целевой эффективности i -го КАС, $P_i \in [0; 1]$.

Основными характеристиками КАС с позиций выполнения задач по целевому предназначению являются:

- доступность;
- пропускная способность;
- помехозащищенность;
- надежность;
- управляемость.

Предлагаемая методика предполагает по мере сбора исходных данных вычисление соответствующих характеристических показателей (P_i) с их последующей нормировкой.

Рассмотрим наиболее значимые характеристики аппарата, оцениваемые в методике, определим показатели и критерии их эффективности, а также способы расчета.

4. Показатель доступности космических аппаратов связи и критерии оценивания эффективности

Доступность КАС – способность аппарата обеспечивать абонентам спутниковой сети связи доступ к радиоресурсу при сохранении назначенных приоритетов и способов установления связи [5]. Одним из наиболее часто вычисляемых показателей доступности КАС является вероятность санкционированного доступа абонента независимо от его местоположения относительно радиоресурса. Очевидно, что вероятность санкционированного доступа зависит от взаимного расположения абонента спутниковой сети связи и зоны радиопокрытия КАС, что фактически определяется вероятностью нахождения абонента в области обслуживания аппарата и зависит от выполнения условия взаимной радиовидимости спутникового абонентского терминала и КАС (рисунок 2).

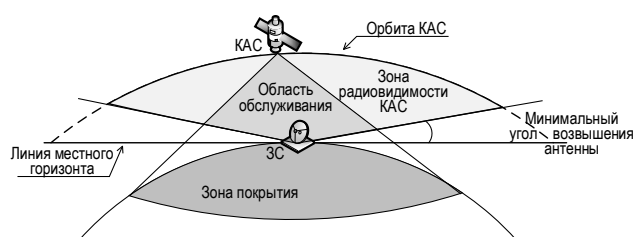


Рис. 2. Взаимосвязь зон покрытия, обслуживания и радиовидимости КАС

Fig. 2. The Relationship of Coverage Zone, Service Zone and Radio Visibility of Communication Satellite

Приняв допущение о том, что все абоненты равномерно распределены по зоне расположения, проведем расчет показателя доступности КАС (P_d). При наличии подвижных абонентов, для этого необходимо вычислить коэффициент пересечения зоны радиопокрытия и района расположения абонента, а также времени нахождения аппарата и абонентов в зоне взаимной радиовидимости.

Для расчета показателя доступности КАС, выполняемого на шаге 2, используем формулу:

$$P_d = \frac{S_{\Pi} T_a}{S_a T_o}, \quad (2)$$

где P_d – показатель доступности КАС; S_{Π} – площадь пересечения района расположения абонента с площадью зоны радиопокрытия КАС; S_a – площадь района расположения абонента; T_a – период времени, в течение цикла обращения КАС вокруг Земли, когда абонент находится в зоне радиопокрытия КАС; T_o – период времени обращения КАС вокруг Земли.

Очевидно, что частным случаем при размещении КАС на геостационарной орбите отношение будет равно 1, т. к. абоненты всегда находятся в одном и том же положении относительно аппарата. В случае, когда районов расположения абонентов несколько, расчет ведется по пересечению всех рассматриваемых районов.

Для случая, когда рассматриваются только стационарные абоненты, расчет показателя доступности КАС P_d ведется по упрощенной формуле и определяется отношением количества обслуживаемых аппаратом абонентов, находящихся в зоне радиопокрытия, к их общему количеству.

5. Показатель пропускной способности космических аппаратов связи и критерии оценивания эффективности

Пропускная способность КАС – способность аппарата, определяющая совокупный объем информации, передаваемый и обрабатываемый в образующих им радиоканалах за единицу времени, и может быть количественно оценена матрицей пропускных способностей направлений связи. В этом случае ее принято рассчитывать через суммарное количество эквивалентных (стандартных) транспондеров в заданных диапазонах частот [6, 7]. В качестве величины эквивалентного транспондера КАС принята полоса частот, равная 36 МГц. В этом случае нормированный показатель пропускной способности КАС ($P_{пс}$) вычисляется по формуле (3) на шаге 3 (при последовательном исполнении алгоритма методики):

$$P_{пс} = \frac{\sum_{i=1}^d N_T C_T}{C_{ЭТ} N_{\max}}, \quad (3)$$

где d – количество диапазонов частот, в которых может функционировать КАС; N_T – количество транспондеров КАС в заданном диапазоне частот; C_T – полоса частот транспондеров КАС в заданном диапазоне; $C_{ЭТ}$ – полоса частот эквивалентного транспондера КАС; N_{\max} – максимальное число транспондеров КАС в рассматриваемом множестве КАС (или в ОГ).

6. Показатель помехоустойчивости космических аппаратов связи и критерии оценивания эффективности

Помехоустойчивость КАС – способность аппарата выполнять задачи по предназначению в условиях воздействия всех видов помех [5].

Выполнить грубое (приблизительное, неточное) оценивание помехоустойчивости КАС возможно в результате сравнения современных стандартов спутниковой связи, реализуемых в КАС. Помехоустойчивость систем связи находится в жестком соотношении со скоростью передачи информации и напрямую связана с вопросами оптимального использования спектрального ресурса спутникового канала. Современные стандарты спутниковой связи предусматривают возможности адаптивного изменения баланса между помехоустойчивостью и скоростью передачи информации за счет выбора модуляции и кодирования. Основными стандартами, реализуемыми в действующих КАС на современном этапе, являются DVB-RCS (от англ. Digital Video Broadcasting – Return Channel via Satellite), DVB-S/S2 (от англ. Digital Video Broadcasting –

Sputnik), а также режим псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) и использование фазоманипулированных шумоподобных сигналов (ФМ ШПС), сравнение которых выполнено в работе [8]. Выводы авторов о том, что стандарт DVB-S является менее помехоустойчивым, чем DVB-S2 или DVB-RCS. Применение ППРЧ и ФМ ШПС позволяет достичь наилучшей помехоустойчивости, что обосновывает их использование в методике для расчета показателя помехоустойчивости КАС по методу экспертных оценок. Также при расчете учтена возможность применения и других способов обеспечения помехоустойчивости: обработка сигнала на борту, использование многолучевых антенн, управление лучами антенны, формирование «нулей» диаграммы направленности антенны.

Вычисление показателя помехоустойчивости КАС производится на шаге 4 (при последовательном исполнении алгоритма методики) по формуле (4), позволяющей определить соотношение наличия и эффекта технологий обеспечения помехоустойчивости БРТК КАС, и искомого показателя:

$$P_{пу} = \sum_{i=1}^m K_i, \quad (4)$$

где m – количество технологий, влияющих на помехоустойчивость БРТК КАС; K_i – показатель эффекта технологий обеспечения помехоустойчивости БРТК КАС, определяемый экспертно по таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Технологии обеспечения помехоустойчивости КАС

TABLE 1. Communication Satellite's Noise Immunity Technologies

№ п/п	Технологии обеспечения помехоустойчивости БРТК КАС	K_i
1.	Стандарт DVB-S	0,07/0,09
	Стандарты DVB-S2/ DVB-RCS	
2.	Использование ФМ ШПС	0,18
3.	Режим ППРЧ	0,22
4.	Многолучевые антенны	0,10
5.	Режим обработки сигналов на борту	0,14
6.	Управление лучами антенны	0,11
7.	Формирование «нулей» диаграммы направленности антенны	0,16
8.	Отсутствие технологий	0,05

7. Показатель надежности космических аппаратов связи и критерии оценивания эффективности

Надежность КАС – способность КАС обеспечивать спутниковую связь, сохраняя во времени значение эксплуатационных показателей в пределах норм эксплуатации.

Поэтому надежность КАС определяется совокупностью свойств, характеризующих способность КАС

обеспечивать в процессе функционирования получение заданного в тактико-техническом задании выходного эффекта при заданных условиях и режимах эксплуатации [8–11].

Для показателей надежности космических систем и комплексов в соответствии с [8–11] введена классификация, выделяющая обобщенные, основные и дополнительные показатели. Для оценивания надежности при заданных способах и условиях применения вычисляют обобщенные показатели, которые характеризуют надежность на всех периодах эксплуатации. Основные показатели надежности необходимо получать для оценивания в отдельные периоды эксплуатации. При решении частных задач обеспечения, оценки и контроля надежности используют дополнительные показатели.

В методике для оценивания надежности КАС используются обобщенные комплексные показатели [9] – коэффициенты готовности K_{Γ} , оперативной готовности $K_{\text{ог}}$ и технического использования $K_{\text{ти}}$, на основании которых рассчитывается итоговый показатель надежности КАС $P_{\text{н}}$ (шаг 5 последовательного исполнения алгоритма методики):

$$P_{\text{н}} = K_{\Gamma} \cdot K_{\text{ог}} \cdot K_{\text{ти}}. \quad (5)$$

Коэффициент готовности K_{Γ} характеризует готовность КАС к применению по назначению только в произвольный момент времени.

Оценивание готовности КАС в соответствии с [10] представляет собой формализованную процедуру анализа конструкции изделия, включающую в себя оценку принятых конструктивных решений на предмет соответствия их установленным требованиям к готовности или восстанавливаемости. В методике расчет коэффициента внутренней готовности осуществляется по формуле (6), каждое излагаемых определяется экспертно (таблица 2):

$$K_{\Gamma} = \sum_{g=1}^G K_{\Gamma g}, \quad (6)$$

где $K_{\Gamma g}$ – экспертное значение коэффициента готовности при реализации g -го решения обеспечения восстанавливаемости КАС; G – число реализуемых решений обеспечения восстанавливаемости КАС.

Коэффициент оперативной готовности $K_{\text{ог}}$ характеризует надежность КАС, необходимость применения которого возникает в произвольный момент времени. Коэффициент оперативной готовности имеет вероятностный характер и рассчитывается как вероятность того, что КАС окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени или, другими словами, это вероятность безотказной работы КАС на заданный период времени [8–11].

Коэффициент оперативной готовности $K_{\text{ог}}^{\text{стат}}$ может быть статистически рассчитан по формуле [8–11]:

$$K_{\text{ог}}^{\text{стат}} = \frac{N(t_{\infty} + \Delta t)}{N(0)}, \quad (7)$$

где $N(t_{\infty} + \Delta t)$ – число критически важных блоков КАС, работоспособных в произвольный, достаточно удаленный момент времени t_{∞} , и проработавших безотказно в период времени Δt ; $N(0)$ – общее число критически важных блоков КАС.

Под критически важными блоками КАС понимаются блоки, отказ, которых приводит к отказу БРТК КАС и невозможности его функционирования по целевому назначению.

ТАБЛИЦА 2. Решения, обеспечивающие восстанавливаемость КАС

TABLE 2. Solutions that Ensure Communications Satellites's Recoverability

g	Возможность установки переключателей резерва	$K_{\Gamma g}$
1	<i>Структурное резервирование</i> – способ обеспечения надежности изделия за счет введения в состав конструкции изделия дополнительных (резервных) составных частей, способных выполнять функции основных составных частей при их отказе	0,30
2	<i>Функциональное резервирование</i> – способ обеспечения надежности изделия за счет применения многофункциональности отдельных составных частей изделия, способных выполнять функции других отказавших составных частей, без существенного ухудшения функциональных характеристик изделия; определяет возможность динамического перераспределения функциональной нагрузки элементов при изменении функциональной структуры изделия	0,25
3	<i>Алгоритмическое резервирование</i> – способ обеспечения надежности изделия за счет введения в состав программного обеспечения дополнительных, параллельно работающих ветвей алгоритмов минимально возможной сложности; определяет возможность включения в состав систем управления алгоритмов и средств, осуществляющих перестройку структуры (реконфигурацию), а также способных использовать для выполнения задания работоспособные ресурсы	0,20
4	<i>Временное резервирование</i> – способ обеспечения надежности изделия за счет создания временных перерывов в работе отдельных составных частей изделия, которые при их отказе могут быть использованы для восстановления, без нарушений выполнения целевых задач изделием	0,15
5	<i>Информационное резервирование</i> – способ обеспечения надежности изделия путем создания избыточных копий массивов информации или семантически адекватных источников информации, за счет введения дополнительной информации, предназначенной для восстановления основной информации в случае ее искажения; способ определяет возможность распараллеливания работ, связанных с функционированием изделия	0,10
6	<i>Отсутствие резервирования</i>	0,05

Чаще всего для КАС коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ находится в рамках 0,70–0,95 на период гарантийного срока активного существования.

Коэффициент технического использования $K_{ти}$ характеризует долю времени нахождения КАС в работоспособном состоянии относительно общей продолжительности эксплуатации. В предлагаемой методике $K_{ти}$ определяется через коэффициент остаточного ресурса КАС ($K_{ор}$), который в обобщенном виде равен отношению периода нахождения КАС в эксплуатации к проектируемому гарантийному сроку активного существования и рассчитывается по формуле:

$$K_{ор} = \frac{T_{э}}{T_{гар}}, \quad (8)$$

где $T_{э}$ – период нахождения КАС в эксплуатации; $T_{гар}$ – проектируемый гарантийный срок активного существования КАС.

Далее коэффициент $K_{ти}$ КАС определяется экспертно в соответствии с таблицей 3.

ТАБЛИЦА 3. Соотношение коэффициента технического использования с его остаточным ресурсом

TABLE 3. Correlation of the Communications Satellite's Technical Use Coefficient with its Remaining Resource

№ п/п	$K_{ор}$	$K_{ти}$
1.	0–0,2	1,00
2.	0,2–0,4	0,95
3.	0,4–0,6	0,90
4.	0,6–0,8	0,85
5.	0,8–1,0	0,80
6.	0,1–1,2	0,75
7.	1,2–1,4	0,70
8.	1,4–1,6	0,65
9.	1,6–1,8	0,60
10.	1,8–2,0	0,55
11.	2,0–∞	0,50

8. Показатель управляемости космических аппаратов связи и критерии оценивания эффективности

Управляемость КАС – это способность аппарата изменять свое состояние в заданных пределах при воздействиях на нее органов управления в соответствии с изменениями обстановки [5]. Оценивание управляемости КАС выполняют по значению вероятности того, что время выполнения задач по управлению им не превысит допустимой длительности технологического цикла управления. Сложность расчета данного показателя в режиме масштаба времени, приближенного к реальному, определяет выбор экспертного способа оценивания в предлагаемой методике.

В соответствии с [11–13] на взаимодействие бортовой системы управления аппарата, наземный автоматизированный комплекс управления и целевой бортовой аппаратуры связи немалое влияние оказывает тип орбиты. Увеличение расстояния от наземного автоматизированного комплекса управления до КАС влечет ухудшение качества радиосигнала в прямом и обратном направлении (на линии «вверх» и на линии «вниз»), что ведет к задержкам в управлении, уменьшению скорости передачи информации, следовательно, и к снижению объемов телеметрической информации от целевой бортовой аппаратуры.

В связи с этим оперативное приближенное оценивание управляемости КАС P_y определяется его типом орбиты на шаге 6 алгоритма представляемой методики согласно таблице 4.

ТАБЛИЦА 4. Взаимосвязь показателя управляемости КАС и типа его орбиты

TABLE 4. The Relationship between the Communication Satellite's Controllability Index and the Type of its Orbit

№ п/п	Тип орбиты КАС	P_y
1.	Низкая круговая	1,00
2.	Средняя круговая	0,95
3.	Геостационарная	0,90
4.	Высокоэллиптическая	0,85

Экспертные оценки параметров, представленные в таблицах 1–4, сформированы на основе анализа материалов работ [8–13].

9. Расчет показателя целевой эффективности космических аппаратов связи

Для обобщения полученных характеристических показателей КАС на шаге 7 выполняется расчет интегрального показателя целевой эффективности КАС по формуле:

$$P_i = (P_d \cdot P_{пс} \cdot P_{пу} \cdot P_n \cdot P_y)_i, \quad (9)$$

где i – условный порядковый номер КАС во множестве оцениваемых (или в составе рассматриваемой ОГ).

На практике также удобно использовать нормированный показатель целевой эффективности КАС $P_{i\text{норм}}$, который рассчитывается по формуле:

$$P_{i\text{норм}} = P_i / P_{\max}, \quad (9)$$

где $P_{i\text{норм}}$ – нормированное значение интегрированного показателя целевой эффективности i -го КАС, $P_i \in [0; 1]$; P_{\max} – максимальное значение интегрированного показателя целевой эффективности КАС, входящего в состав ОГ, относительно которого будет производиться сравнение других аппаратов.

Нормированный показатель эффективности отображает, на сколько применение оцениваемого КАС соответствует целевому назначению относительно эталонного (самого наилучшего) аппарата, входящего в состав рассматриваемой ОГ.

На заключительном этапе работы представленного алгоритма производится расчет относительного показателя целевой эффективности КАС (шаг 8), который характеризует эффективность применения отдельного аппарата относительно всей орбитальной группировки при организации информационного обмена. Расчет осуществляется в соответствии с формулой (1) и завершает алгоритм методики оценивания целевой эффективности КАС.

10. Аprobация методики оценивания эффективности применения космических аппаратов связи по целевому назначению

Аprobация предложенной методики была проведена для орбитальной группировки, состоящей из 24 КАС. Для оценивания целевой эффективности выбраны геостационарные аппараты, принадлежащие РФ, серий «Ямал», «Экспресс», «Радуга» и «Луч».

Цель аprobации – оценить эффективность применения КАС при организации информационного обмена подвижных абонентов на территории РФ и определить наиболее эффективные из них.

Исходные данные для проведения расчетов согласно разработанной методике представлены в таблице 5. После обобщения исходных данных, произведем расчеты показателей целевой эффективности КАС по предложенному алгоритму расчета (рисунок 1).

Сводные данные характеристических показателей КАС и результаты расчета их целевой эффективности приведены в таблице 6. В результате проведенных расчетов построим диаграммы распределения $P_{\text{норм}}$ и относительного показателя целевой эффективности КАС W_i , изображенных на рисунках 3 и 4, соответственно.

ТАБЛИЦА 5. Исходные данные оцениваемых КАС для аprobации предложенной методики

TABLE 5. Initial Data of the Estimated Communication Satellites for Testing the Proposed Method

№ п/п	Наименование КАС	Технические характеристики оцениваемых КАС			
		Точка стояния, град.	Количество транспондеров	Дата запуска	Срок активного существования, лет
1.	Экспресс-АМУ1	36	70	24.12.2015	15
2.	Экспресс-А1Р	145	10	10.06.2002	10
3.	Экспресс-АМ2	145	29	29.03.2005	12
4.	Экспресс-АМ22	80	30	28.12.2003	12
5.	Экспресс-АМ3	103	29	24.06.2005	12
6.	Экспресс-АМ33	96,5	27	28.01.2008	12
7.	Экспресс-АМ44	-11	27	11.02.2009	12
8.	Экспресс-АМ5	140	84	26.12.2013	15
9.	Экспресс-АМ6	53	72	21.10.2014	15
10.	Экспресс-АМ7	40	62	18.03.2015	15
11.	Экспресс-АМ8	-14	42	14.09.2015	15
12.	Экспресс-АТ1	56	32	15.03.2014	15
13.	Экспресс-АТ2	140	16	15.03.2014	15
14.	Луч-5А	167	21	11.12.2011	10
15.	Луч-5Б	-16	21	02.11.2012	10
16.	Луч-5В	95	21	28.04.2014	10
17.	Луч-5	95	21	27.09.2014	15
18.	Радуга-1М1	89,8	24	28.02.2009	10
19.	Радуга-1М2	70	24	28.01.2010	10
20.	Радуга-1М3	85	24	11.11.2013	10
21.	Ямал-202	49	18	24.11.2003	12
22.	Ямал-300К	90	26	02.11.2012	11
23.	Ямал-401	90	53	15.12.2014	15
24.	Ямал-402	55	46	08.12.2012	11

ТАБЛИЦА 6. Выходные данные оцениваемых КАС для апробации предложенной методики

TABLE 6. Output Data of Estimated Communication Satellites for Testing the Proposed Method for Testing the Proposed Method

№ п/п	Наименование	Характеристические показатели КАС					$P_{\text{норм}}, \%$	$W_i, \%$
		P_d	$P_{\text{пс}}$	$P_{\text{пу}}$	P_n	P_y		
1.	Экспресс-АМУ1	0,48	0,83	0,19	0,92	0,90	78	7,5
2.	Экспресс-А1Р	0,47	0,12	0,07	0,57	0,90	3	0,2
3.	Экспресс-АМ2	0,47	0,35	0,07	0,73	0,90	9	0,9
4.	Экспресс-АМ22	0,63	0,35	0,07	0,71	0,90	12	1,2
5.	Экспресс-АМ3	0,63	0,32	0,17	0,72	0,90	28	2,7
6.	Экспресс-АМ33	0,18	0,32	0,17	0,74	0,90	8	0,8
7.	Экспресс-АМ44	0,50	1,00	0,19	0,76	0,90	82	7,9
8.	Экспресс-АМ5	0,58	0,86	0,19	0,88	0,90	94	9,1
9.	Экспресс-АМ6	0,50	0,74	0,19	0,89	0,90	71	6,8
10.	Экспресс-АМ7	0,16	0,50	0,19	0,91	0,90	16	1,5
11.	Экспресс-АМ8	0,60	0,38	0,19	0,92	0,90	45	4,4
12.	Экспресс-АТ1	0,50	0,19	0,19	0,90	0,90	18	1,8
13.	Экспресс-АТ2	0,33	0,25	0,19	0,90	0,90	16	1,5
14.	Луч-5А	0,15	0,25	0,21	0,81	0,90	7	0,7
15.	Луч-5Б	0,63	0,25	0,21	0,82	0,90	30	2,9
16.	Луч-5В	0,63	0,25	0,21	0,86	0,90	32	3,1
17.	Луч-5	0,63	0,29	0,21	0,83	0,90	35	3,4
18.	Радуга-1М1	0,63	0,29	0,65	0,76	0,90	100	9,6
19.	Радуга-1М2	0,63	0,29	0,65	0,74	0,90	97	9,4
20.	Радуга-1М3	0,56	0,21	0,65	0,85	0,90	75	7,2
21.	Ямал-202	0,63	0,31	0,07	0,70	0,90	11	1,0
22.	Ямал-300К	0,63	0,63	0,19	0,82	0,90	70%	6,7
23.	Ямал-401	0,59	0,55	0,19	0,90	0,90	63	6,1
24.	Ямал-402	0,63	0,36	0,19	0,81	0,90	39	3,7

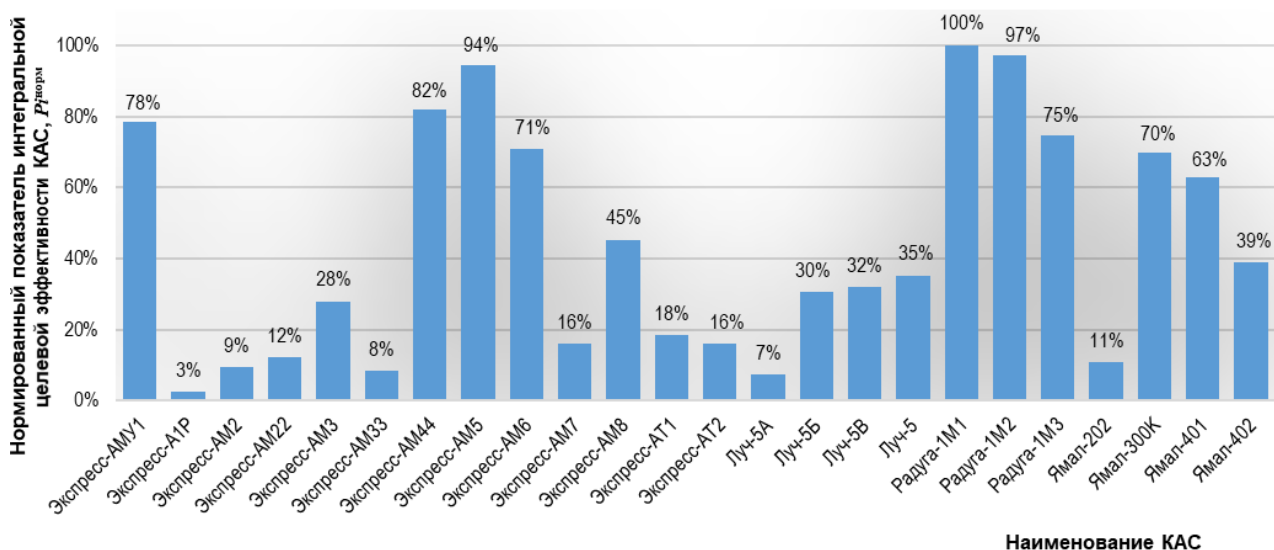


Рис 3. Диаграмма распределения нормированного показателя целевой эффективности КАС в составе рассматриваемой ОГ

Fig. 3. Distribution Diagram of the Communication Satellite's Target Efficiency Normalized Indicator as a Part of the Considered Orbital Grouping

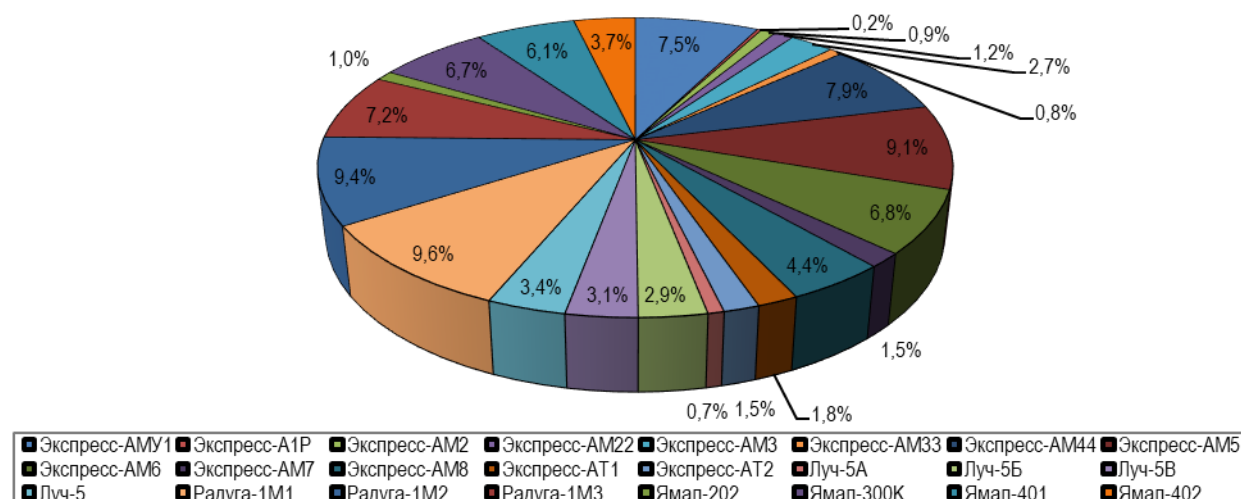


Рис 4. Диаграмма распределения относительного показателя целевой эффективности КАС в составе рассматриваемой ОГ

Fig. 4. Distribution Diagram of the Communication Satellite's Target Efficiency Relative Indicator as a Part of the Considered Orbital Grouping

Анализ приведенных результатов показывает, что при организации информационного обмена подвижных абонентов на территории РФ наиболее эффективно применение следующих КАС:

за счет высоких показателей доступности и помехоустойчивости

Радуга-1М1 (показатели $P_{\text{норм}} = 100\%$, $W_i = 9,6\%$);

Радуга-1М2 (показатели $P_{\text{норм}} = 97\%$, $W_i = 9,4\%$);

за счет высоких показателей доступности и пропускной способности

Экспресс-АМ5 (показатели $P_{\text{норм}} = 94\%$, $W_i = 9,1\%$);

Экспресс-АМ4 (показатели $P_{\text{норм}} = 82\%$, $W_i = 7,9\%$).

КАС серии «Ямал» показали среднюю эффективность в составе ОГ:

Ямал-300К (показатели $P_{\text{норм}} = 70\%$, $W_i = 6,7\%$);

Ямал-401 (показатели $P_{\text{норм}} = 63\%$, $W_i = 6,1\%$).

КАС серии «Луч» показали низкую эффективность в составе ОГ, что объясняется тем, что основной задачей данных КАС является ретрансляция информации от других космических аппаратов:

Луч-5 (показатели $P_{\text{норм}} = 35\%$, $W_i = 3,4\%$);

Луч-5В (показатели $P_{\text{норм}} = 32\%$, $W_i = 3,1\%$).

10. Заключение

Представленная в работе методика оценивания целевой эффективности базируется на положениях квалиметрии и ориентирована на расчет интегрального и относительного показателей эффективности, учитывающего характеристические показатели КАС. В качестве основных характеристик, подлежащих оцениванию, в методике выбраны доступность, пропускная способность, помехоустойчивость, надежность и управляемость КАС.

Данная методика может быть использована должностными лицами при:

- планировании и распределении орбитального канального ресурса сетей спутниковой связи;
- резервировании в целях обеспечения устойчивости направлений спутниковой связи;

– сравнении космических аппаратов связи, когда требуется оперативное и обоснованное принятие решения о выборе одного из них для выполнения целевых задач по обеспечению связью широкого круга абонентов;

– обосновании тактико-технических характеристик космических аппаратов связи.

Методика является выражением ситуационного подхода к принятию решений в условиях жестких временных ограничений на всесторонний анализ оцениваемого объекта или недостаточности исходных данных и может быть рекомендована для применения в интересах обеспечения требуемого уровня оперативности на выработку решения. При этом получаемые оценки являются приближенными, а при возможности учета дополнительных факторов, условий и увеличения интервала оценивания могут быть уточнены и скорректированы.

Наземный сегмент космической системы в статье не рассматривается, что составляет ограничение работы. Это обосновано ориентацией методики на сравнение космических аппаратов между собой при необходимости оперативного выбора одного из них.

В данной статье, посвященной лишь оцениванию эффективности применения космических аппаратов связи по целевому назначению, не ставилось задачи оценивания эффективности системы спутниковой связи в целом. Однако предложенная методика может быть применена для ее решения как один из компонентов более сложного научно-методического аппарата.

Изложенный в статье научно-методический подход в совокупности с проведенным системным анализом может быть использован для оценивания эффективности систем спутниковой связи между собой, что позволит более обоснованно определить оптимальный состав и тактико-технических характеристики разрабатываемых систем. [14–16].

Список используемых источников

1. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1. Методология, методы, модели. М.: МО СССР, 1989. 660 с.
2. Фомин Л.А., Будко П.А. Эффективность и качество инфокоммуникационных систем. Методы оптимизации: Монография. М.: ООО ИФ «Физико-математическая литература», 2008. 296 с.
3. Солодкая М.С. Надежность, эффективность, качество систем управления // QUALITY.EUP.RU. URL: <https://www.quality.eup.ru/MATERIALY10/qsm.htm> (дата обращения 13.08.2020)
4. Мануйлов Ю.С., Павлов А.Н., Новиков Е.А. Системный анализ и организация автоматизированного управления космическими аппаратами. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2010. 266 с.
5. ГОСТ Р 53801-2010 Связь федеральная. Термины и определения. Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2011.
6. Жуков С.Е., Ковальский А.А., Квасов М.Н., Митряев Г.А. Оперативное распределение радиоресурса системы спутниковой связи в целях обеспечения управления космическими аппаратами // Труды Научно-исследовательского института радио. 2017. № 2. С. 29–36.
7. Зиннуров С.Х., Ковальский А.А., Митряев Г.А. Решение задачи оптимального планирования для сеансов управления орбитальной группировкой космических аппаратов // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 67–74. DOI:10.31854/1813-324x-2018-1-67-74
8. Паршуткин А.В., Маслаков П.А. Исследование помехоустойчивости современных стандартов спутниковой связи к воздействию нестационарных помех // Труды СПИИРАН. 2017. № 4(53). С. 159–177. DOI:10.15622/sp.53.8
9. ГОСТ Р 56526-2015 Требования надежности и безопасности космических систем, комплексов и автоматических космических аппаратов единичного (мелкосерийного) изготовления с длительными сроками активного существования. М.: Стандартинформ, 2016.
10. ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. М.: Стандартинформ, 2019.
11. ГОСТ Р 58625-2019 Системы и комплексы космические. Анализ ремонтпригодности. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2020.
12. ГОСТ Р 58628-2019 Системы и комплексы космические. Анализ готовности. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2020.
13. Бортовые системы управления космическими аппаратами / Под ред. А.С. Сырова. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 304 с.
14. Новиков Е.А. Гибкие технологические стратегии управления целевым применением космической навигационной системы. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. 175 с.
15. Мануйлов Ю.С., Птушкин А.И., Стародубов В.А. Методологические основы применения гибких стратегий управления космическими аппаратами. СПб.: МО РФ, 2002. 102 с.
16. Мануйлов Ю.С., Калинин В.Н., Гончаревский В.С. и др. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: учебник. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. 609 с.

* * *

The Communication Satellites's Target Effectiveness Evaluating Methodology

E. Abazina¹, A. Kovalsky¹, A. Pitrin¹

¹Military space academy of A.F. Mozhaysky,
St. Petersburg, 197198, Russian Federation

Article info

DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-3-6-16

Received 29th June 2020

Accepted 19th August 2020

For citation: Abazina E., Kovalsky A., Pitrin A. The Communication Satellites's Target Effectiveness Evaluating Methodology. *Proc. of Telecom. Universities*. 2020;6(3):6–16. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-3-6-16

Abstract: *There is an approach of the communication satellites comparison presents in the paper. It can be applied in situations when it is necessary to make the promptly and reasonably decision on the communication satellites choice in conditions of limited time for decision-making. The stated choice method differs from the known ones by taking into account the overall characteristics of the satellite, which significantly affect the quality of its intended*

tasks. The estimated characteristics in the work are the availability, bandwidth, noise immunity, reliability and controllability of the satellite. The paper also presents the approbation results of the proposed method to determine the most effective communication satellite in a geostationary orbital grouping belonging to the Russian Federation, involved in the organization of information exchange of mobile subscribers on the territory of the state.


Keywords: communication satellite's target efficiency, the communication satellite's target efficiency estimating method, the estimating bandwidth availability, the communication satellite's noise immunity, the communication satellite's reliability, the communication satellite's manageability.

References


1. Petukhov G.B. *Foundations of the Theory of the Effectiveness of Purposeful Processes. Part 1. Methodology, Methods, Models*. Moscow: USSR Ministry of Defense Publ.; 1989. 660 p. (in Russ.)
2. Fomin L.A., Budko P.A. *Efficiency and Quality of Infocommunication Systems. Optimization Methods*. Moscow: Fiziko-matematicheskaya literatura Publ.; 2008. 296 p. (in Russ.)
3. Solodkaya M.S. Reliability, efficiency, quality of control systems. *QUALITY.EUP.RU*. Available from: <https://www.quality.eup.ru/MATERIALY10/qsm.htm> [Accessed 13 August 2020]
4. Manuilov Yu.S., Pavlov A.N., Novikov E.A. *System Analysis and Organization of Automated Control of Spacecraft*. St. Petersburg: Military Space Academy of A.F. Mozhaysky Publ.; 2010. 266 p. (in Russ.)
5. GOST P 53801-2010 *Federal communication. Terms and determinations*. Moscow: Standartinform Publ.; 2011. (In Russ.)
6. Zhukov S., Kovalsky A., Kvasov M., Mitryaev G. Operational distribution of the radio resource of satellite communication system for the purpose of ensuring management of spacecrafts. *Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta radio*. 2017;2:29–36. (in Russ.)
7. Zinnurov S., Kovalsky A., Mitryaev G. Task's Solution of Satellite Communication System's Optimal Radio Resource Planning for the Sessions of Space Appliance's Orbital Group Managing. *Proc. of Telecom. Universities*. 2018(1):67–74. DOI:10.31854/1813-324x-2018-1-67-74
8. Parshutkin A.V., Maslakov P.A. Study of the Noise Immunity of Modern Standards of Satellite Communications to the Impact of Non-Stationary Interference. *SPIIRAS Proceedings*. 2017;4(53):159–177. (in Russ.) DOI:10.15622/sp.53.8
9. GOST P 56526-2015. *Reliability and safety requirements for space systems, complexes and unmanned spacecraft of unique (small series) production with long life of active operation*. Moscow: Standartinform Publ.; 2016. (in Russ.)
10. GOST P 53111-2008. *Stability of Functioning of a Public Communication Network. Requirements and check methods*. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (in Russ.)
11. GOST P 58625-2019 *Space systems and complexes. Maintainability analysis. General requirements*. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (in Russ.)
12. GOST P 58628-2019 *Space systems and complexes. Availability analysis. General requirements*. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (in Russ.)
13. *On-Board Spacecraft Control Systems* / Ed. A.S. Syrov. Moscow: MAI-PRINT Publ.; 2010. 304 p. (in Russ.)
14. Novikov E.A. *Flexible Technological Strategies for Managing the Target Application of the Space Navigation System*. St. Petersburg: Military Space Academy of A.F. Mozhaysky Publ.; 2009. 175 p. (in Russ.)
15. Manuilov Yu.S., Ptushkin A.I., Starodubov V.A. *Methodological Foundations for the Application of Flexible Spacecraft Control Strategies*. St. Petersburg: Ministry of Defense of the Russian Federation Publ.; 2002. 102 p. (in Russ.)
16. Manuilov Yu.S., Kalinin V.N., Goncharevsky V.S., et al. *Control of Spacecrafts and Means of Ground Control Complex*. St. Petersburg: Military Space Academy of A.F. Mozhaysky Publ.; 2010. 609 p. (in Russ.)

Сведения об авторах:

АБАЗИНА
Евгения Сергеевна

кандидат технических наук, преподаватель кафедры сетей и систем связи космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, yka@mil.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5944-0316>

КОВАЛЬСКИЙ
Александр
Александрович

кандидат технических наук, докторант военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, yka@mil.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6878-5858>

ПИТРИН
Алексей Владимирович

адъюнкт военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, yka@mil.ru