

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ ТРЕБОВАНИЙ ЖИВУЧЕСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

О.В. Иванченко, С.А. Зайцев, С.А. Маврин, И.В. Грушевой, Т.Н. Скибин  
(Севастопольский военно-морской институт им. П.С. Нахимова)

*Приводится обоснование требований живучести системы связи морских подвижных объектов, разработана соответствующая вероятностная модель живучести и оценка их параметров по экспериментальным данным с учетом комплексного воздействия помех естественного происхождения при условии обеспечения устойчивой связи с МПО.*

### ***вероятностная модель живучести, комплексное воздействие помех***

**Постановка проблемы.** Обеспечение живучести системы связи морских подвижных объектов (МПО), к которым относятся суда, корабли различных типов и классов, является одной из важнейших задач их эффективного использования по назначению. Под живучестью системы связи МПО будем подразумевать способность функционировать в условиях наличия мешающих воздействий искусственного (например, помехи с целью радиоэлектронного подавления) или естественного (атмосферные флюктуационные помехи над океаном и континентом) происхождения, включая воздействия, которые непосредственно направлены на уничтожение соответствующих средств или линий связи (например, в результате террористического акта, несанкционированного огневого воздействия по судовым или береговым элементам связи).

Исследования показывают [1, 2], что для обеспечения живучести средств и системы связи необходимо выполнить целый комплекс организационно-технических мероприятий, базирующихся на глубоком знании положений теории связи на море, анализе известного опыта эксплуатации отечественных и иностранных судов (кораблей). Указанные обстоятельства определяют актуальность дальнейших исследований, позволяющих на качественном и количественном уровне обосновывать требования к живучести системы связи МПО.

**Цель статьи.** Обоснование требований живучести системы связи МПО, разработка соответствующих вероятностных моделей живучести и оценка их параметров по экспериментальным данным. Исследования проводились с учетом комплексного воздействия помех естественного происхождения при условии обеспечения устойчивой связи с МПО.

**Материалы исследований.** Известно, что система связи МПО должна обеспечивать обмен информационными сообщениями на необходимом расстоянии с учетом метеорологических условий и особенностей распространения радиоволн при выполнении требований живучести. Поэтому для решения задачи обоснования требований живучести системы связи целесообразно использовать комплексный подход, который реализуется как на этапе ее создания, так и на этапе ее непосредственного использования по назначению. Основные положения предлагаемого подхода перечислены ниже.

1. Анализ внешних и внутренних факторов, которые влияют на живучесть системы связи МПО.

2. Анализ решаемых задач и известных способов построения системы связи МПО.

3. Обоснование требований по эксплуатационной надежности, помехоустойчивости и пропускной способности каналов связи.

4. Выбор способов построения оптимальной структуры системы связи.

5. Ввод в эксплуатацию средств и линий связи, поддержание системы связи в готовности к эффективному использованию по назначению.

6. Сбор и обработка информации о живучести системы связи по результатам ее эксплуатации.

7. Совершенствование структуры системы связи с учетом изменения факторов, влияющих на ее живучесть.

Согласно изложенного подхода степень соответствия системы связи МПО предъявляемым требованиям оценивается путем задания предельных величин частных показателей эксплуатационной надежности, помехоустойчивости и пропускной способности, с помощью которых в дальнейшем определяется численное значение обобщенного показателя живучести  $W_{\text{МПО}}$ . Учитывая основные факторы [2], влияющие на живучесть радиосвязи, оценить значение показателя  $W_{\text{МПО}}$  системы связи с судами гражданского назначения, можно из выражения:

$$W_{\text{МПО}} = K_{\text{Г.П}} P_{\text{СВ}}, \quad (1)$$

а для системы связи с кораблями Военно-морских Сил (ВМС):

$$W_{\text{МПО}} = K_{\text{Г.П}} P_{\text{СВ}} (1 - P_{\text{ПОД}}) (1 - P_{\text{ВЫВ}}), \quad (2)$$

где  $K_{\text{Г.П}}$  – нестационарный коэффициент готовности полный (КГП) системы связи МПО;  $P_{\text{СВ}}$  – вероятность осуществления связи для заданных дальностей МПО при выполнении условия  $K_{1_i} \geq E_{C_i} / E_{\text{П}_i}$  [2];  $P_{\text{ПОД}}$  – вероятность подавления системы связи с кораблями ВМС (далее, корабли) средствами РЭБ;  $P_{\text{ВЫВ}}$  – вероятность вывода из строя каналов связи с кораблями в результате их огневого поражения;

$E_{C_i}$  – значение напряженности поля сигнала в точке приема  $i$ -го средства связи;  $E_{П_i}$  – значение напряженности поля помехи.

Рассмотрим порядок определения значений составляющих, входящих в соотношения (1), (2).

При организации связи с МПО по радиосети [1] значение нестационарного КГП определяется по формуле

$$K_{Г.П} = 1 / \left( 1 + \sum_{i=1}^n \frac{1 - K_{Г.П_i}}{K_{Г.П_i}} \right), \quad (3)$$

где  $n$  – число средств связи (СрС) радиосети.

Тогда для определения значения нестационарного КГП при организации связи с МПО по радионаправлению [1] можно использовать соотношение

$$K_{Г.П} = \prod_{i=1}^m K_{Г.П_i}, \quad (4)$$

где  $m$  – число СрС радионаправления.

В соотношениях (3), (4) значения нестационарных КГП, соответствующих СрС с учетом их начальных технических состояний и режимов эксплуатации, определяются по следующим формулам [3]:

$$K_{Г.П} = P_0 K_{Г} + \overset{\circ}{K}_{Г}(P_1 + P_2); \quad (5)$$

$$K_{Г} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda e^{-(\lambda + \mu)\tau}}{\mu + \lambda}; \quad (6)$$

$$\overset{\circ}{K}_{Г} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \left( 1 - e^{-(\lambda + \mu)\tau} \right), \quad (7)$$

где  $K_{Г}$  и  $\overset{\circ}{K}_{Г}$  – значения нестационарных коэффициентов готовности на интервале  $\tau$  использования средств связи по назначению (интервал приема-передачи сообщений) при условии, что в момент начала интервала  $\tau$  после окончания контроля функционирования СрС было работоспособно (РС) с вероятностью  $P_0$  или неработоспособно (НРС) с вероятностью  $P_1 + P_2$ .

Значения вероятностей  $P_i$ , где  $i = \overline{0,2}$ , получены для разработанной в [3] марковской модели надежности. Результаты расчетов нестационарных КГП с использованием соотношений (5) – (7) в сравнении с расчетными значениями стационарных КГ для известных моделей надежности [4] представлены в виде графиков соответствующих зависимостей на рис. 1, а, б. Обобщенные результаты расчетов с использованием графиков зависимостей, приведенных на рис. 1, а, б, сведены в табл. 1.

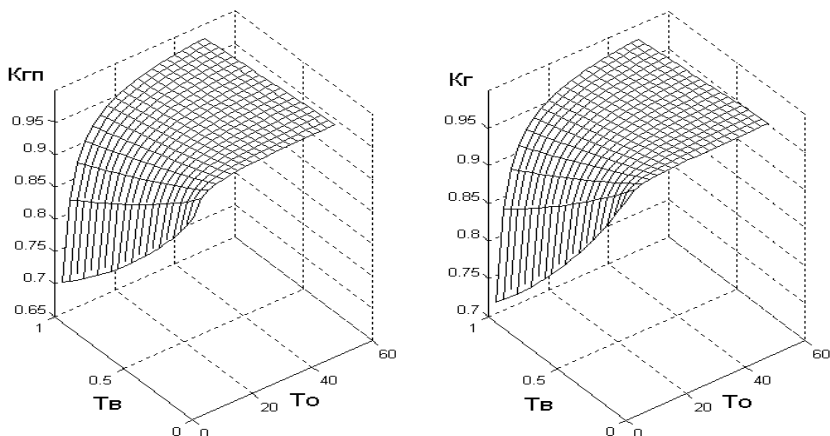


Рис. 1. Графики зависимостей  $K_{Г.П}$ :  
 а –  $K_{Г.П}$  для нестационарного КГ полного; б –  $K_{Г}$  для стационарного КГ

Таблица 1

Значения стационарного КГ и нестационарного КГП

Среднее время восстановления, $T_{в}$ , ч	Стационарный КГ, $K_{Г}$	Средняя наработка на отказ, $T_{о}$ , ч	Нестационарный КГП, $K_{Г.П}$ .	Средняя наработка на отказ, $T_{о}$ , ч
1	0,95	19	0,95	21
	0,9	9	0,9	10
	0,85	6	0,85	7
	0,8	4	0,8	4,5

При обосновании требований живучести следует особое внимание уделить вопросам учета воздействия внешних и внутренних факторов на устойчивость радиосвязи. Воздействия этих многочисленных факторов носят в основном случайный характер. Поэтому в соотношениях (3), (4) присутствует вероятностный показатель количественной меры оценки этих воздействий – вероятность осуществления связи для заданных дальностей МПО  $P_{СВ}$  [2]. Для КВ и УКВ радиостанций, с помощью которых организуется радиосвязь поверхностными (земными) волнами, значение  $P_{СВ} \in [0, 1]$ . Исключением является спутниковая связь, для которой  $P_{СВ} \approx 1$ . Анализ усредненных кривых прохождения радиоволн при связи морских судов Черноморского бассейна с основным радиоцентром в г. Севастополе свидетельствует, что для каждого средства связи имеется свой КВ-диапазон оптимальных частот. Именно правильный выбор диапазона оптимальных частот и учет условий распространения радиоволн на всем протяжении ра-

диотрассы оказывает существенное влияние на значение  $P_{CB}$ . В табл. 2 представлены значения  $P_{CB}$  при связи МПО с радиоцентром в Севастополе в период с 15 по 27 июля 2005 года, соответствующие диапазонам оптимальных и не оптимальных частот.

Таблица 2

Значения вероятностей осуществления связи для заданных маршрутов перехода МПО

Маршрут перехода	Диапазон оптимальных частот, МГц	Диапазон не оптимальных частот, МГц	$P_{CB}$
п. Севастополь – п. Тузла (Турция)	5,1 – 6		0,75
п. Тузла (Турция) – п. Варна (Болгария)		6,8 – 7,4	0,5
п. Варна (Болгария) – п. Констанца (Румыния)		5,1 – 5,28	0,3
п. Констанца (Румыния) – п. Одесса	5,3 – 7,6		0,7

Для сравнения следует отметить, что для организации связи между кораблями ВМС США и ВМС Украины при проведении совместных учений в акватории Черного моря в августе 2005 г., назначались следующие диапазоны оптимальных и единичных частот: 3269 – 3270,5 кГц (КВ-диапазон); 6246,5 – 6247,0 кГц (КВ-диапазон); 156,8 МГц (УКВ-диапазон). Связь кораблей ВМС США с радиоцентрами, расположенными как на территории Украины, так и США, была организована на фиксированных частотах УКВ-диапазона: 345,725 МГц – основная (365,475 МГц – запасная); 303,575 МГц (342,100 МГц). На период учений значение  $P_{CB} \approx 1$ . Высокая устойчивость связи достигалась за счет обеспечения высокого уровня эксплуатационной надежности и возможности быстрой, практически мгновенной перестройки рабочей частоты средств связи. Эти же обстоятельства позволили обеспечить требуемый уровень помехоустойчивости системы связи МПО. Все виды командной и административной связи, включая Internet, обеспечивались с использованием спутниковых систем связи.

Выполненные по формулам (1) – (7) расчеты с использованием данных табл. 1, 2 получены в условиях воздействия помех естественного происхождения. Результаты расчетов показывают, что значения  $W_{МПО}^{(1)}$  для отечественных МПО изменяются в пределах от 0,15 до 0,2. Расчеты выполнены при наличии на судах одного устаревшего морально и физически передатчика КВ-диапазона мощностью до 1 кВт и 2-х комплектов относительно современных радиостанций УКВ-диапазона.

Аналогичные расчеты были выполнены по результатам совместных учений с участием корабля ВМС США класса эсминец «МАНАН» (DDG72), оснащенного 14-ю передатчиками КВ-диапазона мощностью от 1 до 10кВт и 21-м комплектом радиостанций УКВ-диапазона, замыкающихся на спутниковую систему связи. Величина обобщенного показателя живучести по результатам расчетов составила  $W_{\text{МПО}}^{(2)} \approx 1$ .

**Выводы.** 1. Сравнительная количественная оценка показателей  $W_{\text{МПО}}^{(1)}$ ,  $W_{\text{МПО}}^{(2)}$  отражает реально сложившуюся на качественном уровне ситуацию, характеризует живучесть средств и систем связи различных типов и классов МПО.

2. Предложенный подход может быть использован для разработки корректных и адекватных моделей живучести системы связи кораблей ВМС. В этом случае требования по живучести систем и средств связи задаются по результатам моделирования с учетом факторов огневого воздействия и радиоэлектронного подавления. Используемые для количественной оценки этих факторов соответствующие показатели  $P_{\text{ПОД}}$ ,  $P_{\text{ВЫВ}}$  можно определять с помощью известного аппарата марковских случайных процессов и по специальной методике, изложенной в [5].

3. Практическая значимость полученного результата заключается в возможности использования предложенного подхода для построения оптимальной системы связи и создания перспективных средств связи МПО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев В.И. *Связь военно-морского флота*. – М.: Воениздат, 1971. – 248 с.
2. Соловьев В.И., Новик Л.И., Морозов И.Д. *Связь на море*. – Л.: Судостроение, 1978. – 320 с.
3. Аналитико-стохастическая модель надежности изделия военного назначения со сложными режимами эксплуатации / В.А. Колпаков, О.В. Иванченко, Л.Н. Данилович, С.А. Маврин, И.В. Грушевой // *Збірник наукових праць*. – Севастополь: СВМІ ім. П.С. Рахімова, 2005. – Вип. 1 (7). – С. 17-25.
4. *Надежность технических систем: Справочник* / Ю.К. Беляев и др.; Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1983. – 606 с.
5. Орлов М.М. *Методика оцінки стійкості підсистеми зв'язку системи управління военного призначення* // *Збірник наукових праць*. – Х.: ХВУ, 2002. – Вип. 1 (39). – С. 55-57.

Поступила 3.04.2006

**Рецензент:** доктор технических наук, доцент Д.Б. Кучер,  
Севастопольский военно-морской институт им. П.С. Нахимова.