

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА И ХАРАКТЕРИСТИК
ОБЪЕКТОВ БАЗИРОВАНИЯ, ТЫЛОВОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ КОРАБЛЕЙ**

**SOLVING THE PROBLEM OF OPTIMIZING
THE COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF THE BASING,
LOGISTICS AND TECHNICAL SUPPORT FACILITIES
OF THE CONNECTION OF SHIPS**

Академик РАРАН М.В. Сильников, В.И. Лазоркин

АО «НПО Спецматериалов»

M.V. Silnikov, V.I. Lazorkin

В статье излагается методический подход к обоснованию поэтапного развития комплекса объектов базирования, тылового и технического обеспечения соединения кораблей по критерию боевой устойчивости соединения на начальных этапах обоснования. Решение задачи оптимизации состава и характеристик объектов производится с учётом поступления новых кораблей в состав соединения, развёртывания новых объектов на морском театре военных действий (МТВД), потерь кораблей и материальных запасов в результате воздействия противника, применения средств активной защиты и инженерных мероприятий по обеспечению живучести объектов.

Ключевые слова: объекты базирования кораблей, объекты хранения материальных запасов, боевая устойчивость, живучесть, циклы использования кораблей.

The article presents a methodical approach to justification of stage-by-stage development of the complex of objects of basing, logistics and technical support of the connection of ships by the criterion of combat stability of the connection at the initial stages of justification.

The task of optimizing the composition and characteristics of facilities is solved taking into account the arrival of new ships in the squadron, the deployment of new facilities on the maritime theater of war, losses of ships and material reserves as a result of the enemy's impact, the use of active protection and engineering measures to ensure the survivability of facilities.

Keywords: ships' basing facilities, material storage facilities, combat stability, survivability, ships' cycles of use.

Система «соединение кораблей — объекты базирования, тылового и технического обеспечения» является сложной многоуровневой системой с переменной структурой [1]. В дальнейшем для краткости будем называть объекты базирования, тылового и технического обеспечения — «объекты обеспечения соединения (ООС)».

С точки зрения взаимодействия с кораблями соединения ООС можно подразделить на две группы:

– объекты базирования кораблей (ОБК), расположенные на побережье у уреза воды, в которых осуществляется восстановление боеспособности, боеготовности и технической готовности кораблей;

– объекты хранения запасов (ОХЗ) материальных средств, расположенные в глубине территории.

Функциональные возможности ОБК целесообразно характеризовать в терминах количества боеспособных и боеготовых кораблей, сохранившихся в объектах в условиях воздействия противника, и обеспеченных всеми видами запасов материальных средств, а функциональные возможности ОХЗ — в терминах количества сохранившихся в условиях воздействия противника запасов материальных средств в расчётно-снабженческих единицах (РСЕ), которыми могут быть обеспечены корабли в требуемых объёмах.

Под РСЕ понимается количество материальных средств, установленное для исчисления потребности и обеспеченности кораблей в различных видах снабжения и определения норм расхода [2].

РСЕ исчисляются: по боеприпасам — в боевых комплектах, по горючему — в заправках (заправка — количество горючего, установленное на одну единицу боевой техники), по продовольствию — в суточных дачах, по запасным частям, инструментам и некоторым другим видам имущества — в комплектах, по

другим видам снабжения — в штуках, весовых и объёмных единицах.

Одним из основных требований к системе «соединение кораблей — ООС» является обеспечение боевой устойчивости базирующегося соединения кораблей, под которой понимается способность соединения сохранить боеспособность и свои боевые возможности для гарантированного выполнения поставленных боевых задач при активном противодействии противника [3]. Важнейшая роль в выполнении этого требования принадлежит ООС, которые обеспечивают:

- восстановление боеспособности, боеготовности и технической готовности кораблей;
- комплексную маскировку развертывания и функционирования объектов временного базирования кораблей;
- рассредоточение и своевременный вывод кораблей из-под ударов средств поражения противника;
- эшелонированную противовоздушную и противоракетную оборону районов постоянного и временного базирования кораблей;
- активную защиту кораблей и средств их обеспечения в пунктах базирования.

Формализованная структура системы «соединение кораблей — ООС» приведена на рис. 1.

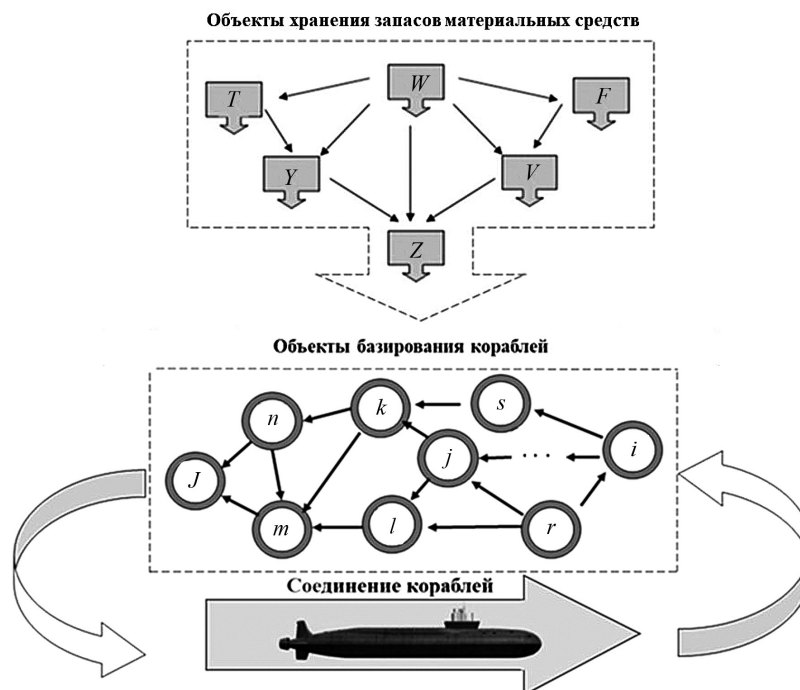


Рис. 1. Формализованная структура системы «соединение кораблей-объекты обеспечения соединения»

Главная задача обоснования ООС, обеспечивающих требуемый уровень боевой устойчивости соединения кораблей — сбалансирование состава и характеристик ОБК и ОХЗ.

В целях обоснования состава и характеристик ООС система «соединение кораблей» должна быть представлена в формализованном виде.

Формализации подлежат:

- движение кораблей в системе;
- структура и функционирование объектов;
- инженерно-технические мероприятия по обеспечению живучести объектов;
- нанесение ударов средств воздушного нападения (СВН) по объектам, противовоздушная оборона объектов от СВН и активная защита критически важных элементов объектов от средств поражения.

Основой формализации движения кораблей в системе являются циклы их использования в мирное и военное время [4]. Это даёт основание формализовать комплекс береговых объектов как замкнутую сетевую систему массового обслуживания (СМО) [5].

Формализация структуры и функционирования ООС осуществляется в соответствии с [6] с учётом требований к технологии восстановления боеспособности, боеготовности и технической готовности кораблей [7].

Формализация инженерно-технических мероприятий по обеспечению живучести объектов и их защиты от средств поражения осуществляется в соответствии с [8]. При этом объекты, в которых в момент нанесения удара находятся корабли (запасы материальных средств), называются функционирующими (ФО), объекты, в которых корабли и запасы при этом отсутствуют, — не функционирующими (НО), а объекты, имитирующие функционирующие, — ложными (ЛО).

Противник обнаруживает ФО и НО с некоторыми вероятностями, принимает ЛО за ФО с определённой вероятностью. По объектам, принятым противником за функционирующие, наносится удар.

Комплексы активной защиты и противовоздушной обороны объектов формализуются как СМО с отказами и случайным выбором каналов обслуживания [9, 10].

Постановка задачи оптимизация состава и характеристик ООС на заданном плановом периоде формулируется следующим образом.

Заданы:

- продолжительность планового периода и число плановых этапов;
- начальный состав соединения кораблей (B_0) и циклы их использования;
- вероятности невозвращения кораблей из боевых походов;
- элементы циклов использования кораблей, осуществляемых в каждом ОБК;
- начальный состав ОБК, ОХЗ и стоимостные характеристики объектов;
- ограничения на капиталовложения в развитие ООС, на количество мест развёртывания новых объектов на МТВД на каждом плановом этапе;
- нормы рассредоточения кораблей в ОБК;
- нормы хранения материальных запасов в ОХЗ (в РСЕ);
- наличие (или отсутствие) комплексов активной защиты (КАЗ) на объектах, ограничения на количество КАЗ, которые могут быть поставлены на каждом плановом этапе;
- количество прогнозируемых ударов по береговым объектам, состав и характеристики средств воздушного нападения (СВН) и средств поражения, участвующих в нанесении противником каждого удара, интенсивность поступления атакующих боеприпасов (АБ) в зоны ответственности КАЗ;
- характеристики КАЗ (средние значения времени, необходимого для поражения АБ, вероятности поражения АБ одним защитным боеприпасом (ЗБ), времени перезарядки средств активной защиты).

Требуется определить состав и характеристики новых ОБК и ОХЗ, которые необходимо развернуть на МТВД на каждом плановом этапе, исходя из максимизации математического ожидания количества боеспособных и боеготовых кораблей, сохранившихся в ОБК и обеспеченных всеми видами запасов материальных средств.

Для того, чтобы исключить сложные обозначения и задание исходных данных многомерными матрицами введём сквозную нумерацию объектов. Пусть первые номера от 1 до J получают ОБК, а последующие номера от $J + 1$ до K — ОХЗ. Тогда соответствующие массивы исходных данных будут одномерными, что существенно упростит постановку и решение задачи.

Математическая постановка задачи имеет следующий вид:

$$Q_n^* \left(\{x_n^*\}, \{m_n^*\} \right) = \max_{\{x_n\}} \min_{\{m_n\}} \sum_{j=1}^J B_{n,j} \cdot w_{n,j} (x_{n,j}, m_{n,j});$$

$$\sum_{j=1}^{J+K} c_{n,j} (\|x_n\|) \leq C_n;$$

$$\sum_{j=1}^{J+K} m_{n,j} \leq M_n;$$

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^J \left(x_{n,i,j} + \sum_{v=1}^{n-1} x_{v,i,j} \right) \leq X_n^{\text{обк}};$$

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=J+1}^{J+K} \left(x_{n,i,j} + \sum_{v=1}^{n-1} x_{v,i,j} \right) \leq X_n^{\text{охз}};$$

$$V_{n,k} \cdot q_{n,k} (x_{n,k}, m_{n,k}) \geq \sum_{j=1}^J B_{n,j} \cdot v_{j,k} \cdot w_{n,j} (x_{n,j}, m_{n,j});$$

$$k = \overline{J+1, J+K};$$

$$\frac{B_{n,j}}{x_{1,j}} \leq \delta_j^{\text{обк}}, j = \overline{1, J};$$

$$\frac{V_{n,k-J} \cdot s_{k-J}}{x_{1,k}} \leq \delta_k^{\text{охз}}, k = \overline{J+1, J+K};$$

$$\bar{x}_n \in \Omega_{X_n}, \bar{y}_n \in \Omega_{Y_n}, n = \overline{1, T},$$

где J — число типов ОБК;

$B_{n,j}$ — математическое ожидание количества кораблей, проходящих обслуживание в ОБК j -го типа на n -м плановом этапе;

$V_{n,k}$ — математическое ожидание РСЕ k -го типа, которое необходимо хранить в ОХЗ k -го типа на n -м плановом этапе;

$$V_{n,k} = \sum_{j=1}^J B_{n,j} \cdot v_{j,k} \cdot K_{p,k};$$

K — число типов ОХЗ;

T — число плановых этапов;

C_n — ограничения на капиталовложения в развитие ООС на n -м плановом этапе;

M_n — наряд СВН, выделяемых противником при нанесении ударов по ООС на n -м плановом этапе;

$X_n^{\text{обк}}, X_n^{\text{охз}}$ — ограничения на количество мест развёртывания новых ОБК и ОХЗ на n -м плановом этапе соответственно;

$\delta_j^{\text{обк}}, \delta_k^{\text{охз}}$ — нормы рассредоточения кораблей в ОБК j -го типа и в ОХЗ k -го типа соответственно;

s_{k-J} — норма площади, необходимая для размещения одной РСЕ k -го типа;

$v_{j,k}$ — нормативное количество РСЕ k -го типа в расчёте на один корабль, проходящий обслуживание в ОБК j -го типа;

$K_{p,k}$ — коэффициент резервирования запасов k -го типа;

$w_{n,j} (x_{n,j}, m_{n,j})$ — вероятность сохранности кораблей в ОБК j -го типа (при $1 \leq j \leq J$) или запасов материальных средств $(j-J)$ -го типа на n -м плановом этапе:

$$w_{n,j} (x_{n,j}, m_{n,j}) =$$

$$= W_{n,j} \cdot \left\{ 1 - \left[\begin{array}{l} P_{\text{обн } j} \cdot P_{1\text{пор } j} \cdot \frac{\omega_{n,j}}{N_j^{\text{обк}}}, \text{ если } \omega_{n,j} \leq N_j^k \\ P_{\text{обн } j} \cdot \left[1 - \left(1 - P_{1\text{пор } j} \right)^{\frac{\omega_{n,j}}{N_j^{\text{обк}}}} \right] \\ \text{если } \sum_{v=1}^{n-1} x_{v,i,j} \omega_{n,j} \succ N_j \end{array} \right] \right\};$$

$$W_{n,j} = \begin{cases} B_{n,j}, & \text{при } 1 \leq j \leq J; \\ V_{n,j-J}, & \text{при } J+1 \leq j \leq J+K; \end{cases}$$

$P_{\text{обн } j}$ — вероятность обнаружения противником функционирующего объекта j -го типа:

$$P_{\text{обн } j} = 1 - \exp\{-\gamma_j \cdot t_j\};$$

γ_j — интенсивность обнаружения функционирующего и не функционирующего объекта j -го типа;

t_j — время проведения противником разведки объекта j -го типа;

$P_{1\text{пор } j}$ — вероятность поражения одним АБ функционирующего и не функционирующего объектов j -го типа;

$\omega_{n,j}$ — математическое ожидание количества АБ, преодолевших активную защиту и воздействующих на объект j -го типа:

$$\omega_{n,j} =$$

$$= m_{n,j} \cdot \left[1 + \frac{\left(x_{n,4,j} + \sum_{v=1}^{n-1} x_{v,4,j} \right) \cdot \mu_j^k}{\lambda_j} \right]^{-\left(x_{4,j} + \sum_{v=1}^{n-1} x_{v,4,j} \right)};$$

$m_{n,j}$ — наряд АБ, назначенный противником на объекты j -го типа на n -м плановом этапе;

μ_j — интенсивность поражения АБ, воздействующих на ОБК j -го типа:

$$\mu_j = \left(\tau_{\text{пер}j} + \frac{t_{pj}}{\pi_j} \right)^{-1};$$

t_{pj} — среднее время, необходимое для поражения АБ защитным боеприпасом (ЗБ) объекта j -го типа;

$\tau_{\text{пер}j}$ — время перезарядки ЗБ в КАЗ объекта j -го типа;

π_j — вероятность поражения АБ одним ЗБ КАЗ объекта j -го типа;

N_j — математическое ожидание обнаруженных и принятых противником за функционирующие ОБВ j -го типа:

$$N_j = P_{\text{обн}j} \cdot \left[\left(x_{n,1,j} + \sum_{v=1}^{n-1} x_{v,1,j} \right) + \left(1 - P_{\text{расп}j} \right) \cdot \left(x_{n,2,j} + \sum_{v=1}^{n-1} x_{v,2,j} \right) \right] + P_{\text{л}j} \cdot \left(x_{n,3,j} + \sum_{v=1}^{n-1} x_{v,3,j} \right);$$

$P_{\text{расп}j}$ — вероятность распознавания противником НО j -го типа;

$P_{\text{л}j}$ — вероятность принятия противником ЛО j -го типа за ФО;

$c_{n,j}(\|x_n\|)$ — затраты на развёртывание новых объектов j -го типа на n -м плановом этапе:

$$c_{n,j}(\|x_n\|) = \begin{cases} \Phi_j \cdot B_{n,j} + c_{cj} \cdot (x_{n,1,j} + x_{n,2,j}) + c_{nj} \cdot x_{n,3,j} + (C_{\text{цун}j} + c_{\text{маз}j}) \cdot \sigma(x_{n,4,j}), & \text{если } x_{n,1,j} \geq 1; \\ c_{cj} \cdot x_{n,2,j} + c_{nj} \cdot x_{n,3,j} + (C_{\text{цун}j} + c_{\text{маз}j}) \cdot x_{n,4,j} \times \sigma(x_{n,4,j}), & \text{если } x_{n,1,j} = 0; \end{cases}$$

Φ_j — стоимость подвижных (береговых и плавучих) средств обеспечения базирования одного корабля (одной РСЕ);

$x_{n,1,j}$ — количество ФО j -го типа на n -м плановом этапе;

$x_{n,2,j}$ — количество НО j -го типа на n -м плановом этапе;

$x_{n,3,j}$ — количество ЛО j -го типа на n -м плановом этапе;

$x_{n,4,j}$ — количество модулей активной защиты в КАЗ объектов j -го типа на n -м плановом этапе;

$\sigma(x_{n,4,j})$ — признак наличия КАЗ на j -м объекте:

$$\sigma(x_{4,j}) = \begin{cases} 1, & \text{if } x_{4,j} \neq 0; \\ 0, & \text{if } x_{4,j} = 0. \end{cases}$$

Блок-схема алгоритма оптимизации состава и характеристик объектов обеспечения соединения кораблей приведена на рис. 2.

После подготовки исходных данных (блок 1) оценивается состав соединения в начале очередного планового этапа (блок 2). Применительно к началу первого этапа считается, что потери кораблей в боевом походе и в КОБ отсутствуют и новые корабли в состав соединения не поступают.

В начале n -го планового этапа количество кораблей в соединении (B_n) рассчитывается по формуле:

$$B_n = B_{n-1} - \Delta b_n^- + \Delta b_n^+,$$

где Δb_n^- — потери кораблей в соединении к началу n -го планового этапа:

$$\Delta b_n^- = \beta_{n-1}^{\text{бн}} \cdot P_{n-1}^-;$$

Δb_n^+ — количество кораблей, поступивших в соединение в начале n -го этапа;

$\beta_{n-1}^{\text{бн}}$ — количество кораблей, участвующих в боевом походе на $(n-1)$ -м этапе;

P_{n-1}^- — вероятность невозвращения корабля из боевого похода к началу n -го этапа.

Расчёт распределения кораблей по элементам цикла их использования (блок 3) производится путём решения уравнений состояний системы относительно среднего числа кораблей, находящихся в элементах цикла (узлах сетевой СМО) [10]. После этого производится распределение кораблей по ОБК в соответствии с технологией их базового обслуживания, а точнее с элементами цикла, реализуемыми в объектах (блок 4), и распределение запасов материальных средств по ОХЗ в соответствии с технологией их хранения (блок 5).

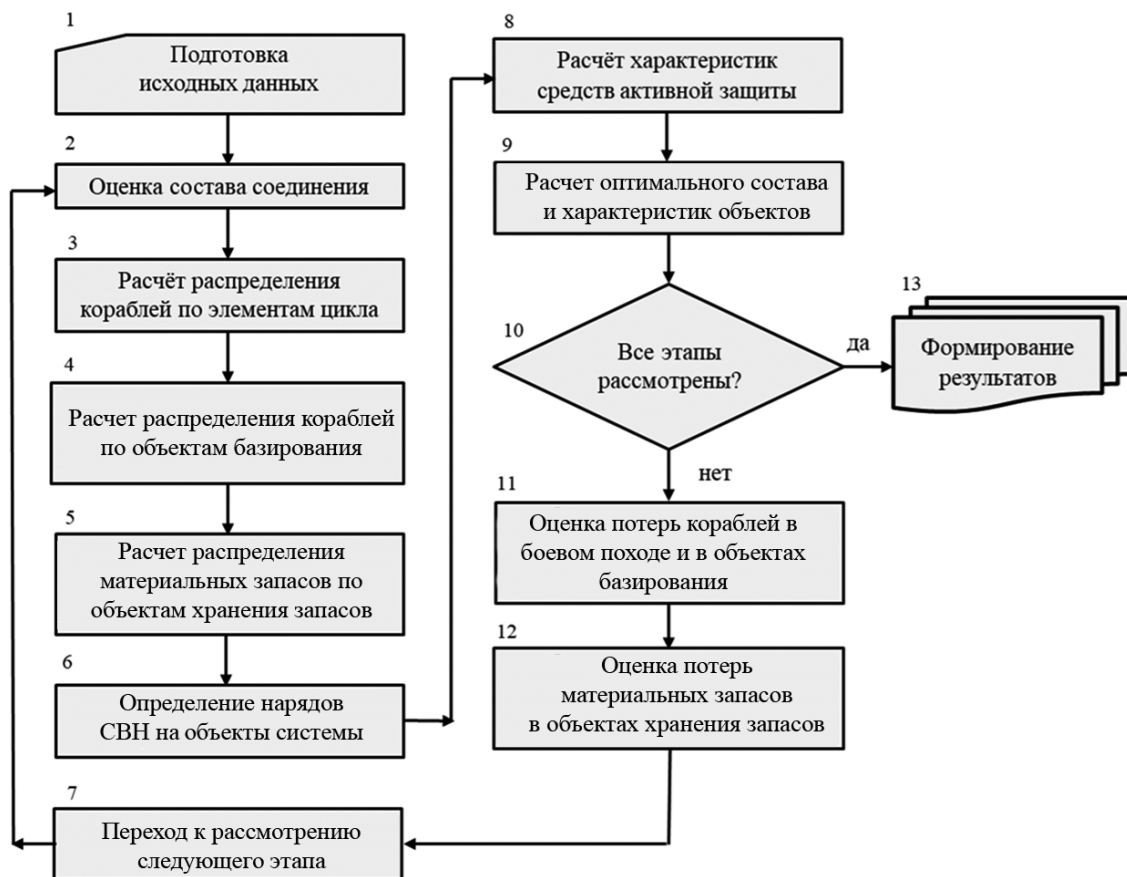


Рис. 2. Блок-схема алгоритма оптимизации состава и характеристик объектов обеспечения соединения кораблей

Определение нарядов СВН, выделяемых противником для воздействия на объекты системы, производится путём распределения их общего количества между объектами пропорционально количеству находящихся в них кораблей и материальных запасов (блок 6).

В блоке 8 рассчитываются характеристики средств активной защиты $\{\pi_j\}$, $\{\mu_j\}$, после чего в блоке 9 рассчитывается оптимальный состав и характеристики объектов на рассматриваемом плановом этапе с использованием процедуры «Maximize» программного обеспечения системы Mathcad [11].

Если все плановые этапы рассмотрены (блок 10) алгоритм переходит к формированию результатов. В противном случае производится оценка потерь кораблей в боевом походе и в ОБК (блок 11) и потерь запасов материальных средств в ОХЗ (блок 12), после чего алгоритм переходит к рассмотрению следующего планового этапа (блок 7) и управление передаётся блоку 2.

Задача оптимизации состава и характеристик объектов базирования, тылового и технического обеспечения соединения кораблей представляет собой чрезвычайно сложную задачу не только вследствие большой размерности системы, сложности взаимосвязей между элементами и изменчивости структуры в различные периоды функционирования системы, но, главным образом, из-за наличия большого количества факторов неопределённости, особенно на начальных этапах обоснования системы. Именно на этих этапах зарождается облик будущей системы, её основные военно-экономические показатели, определяются необходимые затраты ресурсов на её создание (развитие). Ошибки при обосновании объектов обеспечения соединения могут в дальнейшем привести к серьёзному снижению боевой устойчивости корабельных сил и необоснованным затратам ресурсов. Поэтому процесс обоснования такого рода систем носит многоэтапный характер

с последовательным уточнением необходимых исходных данных и уменьшением роли факторов неопределённости.

Основное назначение предлагаемой модели — обоснование требований к комплексу объектов базирования, тылового и технического обеспечения соединения кораблей в ходе решения задачи оптимизации состава и характеристик объектов на начальных этапах обоснования создания (развития) комплекса. Естественно, что на последующих этапах обоснования комплекса требуется применение математического аппарата, более адекватно отражающего структурные и функциональные особенности объектов.

Литература

1. Стратегическое применение военно-морского флота (военно-морских сил). Сайт: https://war_peace_terms.academic.ru/.

2. Расчётно-снабженческая единица. Справочник по терминологии в оборонной сфере. Сайт: <https://dictionary.mil.ru/folder/123103/item/129296/>.

3. Боевая устойчивость // Военный энциклопедический словарь / Гл. ред. А.П. Горкин. — Москва: Большая российская энциклопедия, 2001. Т. 1. С. 194.

4. Цикличность и нормы эксплуатации кораблей. Сайт: https://studwood.ru/2131269/tehnika/tsiklichnost_normy_ekspluatatsii_korabley.

5. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Теория массового обслуживания: учебное пособие. 2-е изд., испр. — Томск: Изд-во НТЛ. 2010. 228 с.

6. Лазоркин В.И., Сильников М.В. Методология оценки структурной устойчивости больших систем // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. Вып. 7–8 (121–122). С. 40–43.

7. Корабельный Устав Военно-Морского Флота (утв. приказом Главнокомандующего Военно-Морским Флотом от 01.09.2001 № 350).

8. Лазоркин В.И., Сильников М.В. Выбор оптимального сочетания инженерных мероприятий по обеспечению живучести объекта // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2017. Вып. 3–4 (105–106). С. 124–128.

9. Сильников М.В., Лазоркин В.И. Формализация системы противовоздушной обороны и системы активной защиты объектов от средств поражения в условиях массированного налёта средств воздушно-космического нападения // Известия РАН. 2021. № 2 (117). С. 25–32.

10. Лазоркин В.И., Виноградов С.Н. Метод формализации системы активной защиты объектов военной инфраструктуры // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2016. Вып. 7–8 (97–98). С. 39–43.

11. Дьяконов В.П. Энциклопедия Mathcad 2001i и Mathcad 11. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 832 с.: ил.