

УДК 623.486:623.8  
EDN: RIXHRX

А.В. Клименко, Л.Б. Гусев, М.В. Максимов, Д.В. Быков

Военно-морской политехнический институт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова», Санкт-Петербург, Россия

## ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СОЗДАНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ СОХРАННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЪЕКТОВ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

**Объект и цель научной работы.** Целью является анализ управленческих решений, которые могут быть применены для формирования эффективной системы эксплуатации объектов военно-морского флота (ВМФ), прежде всего боевых кораблей. Основное внимание уделено способам восстановления ресурса корабельных технических средств в условиях ограничения поставок запасных частей, инструментов, принадлежностей и материалов.

**Материалы и методы.** Работа выполнена как аналитический обзор имеющихся публикаций по теме. Использован опыт служебной деятельности сотрудников Военно-морского политехнического института ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» по выполнению мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту объектов ВМФ различного типа.

**Основные результаты.** Ключевой проблемой системы эксплуатации объектов ВМФ является отсутствие достоверных методик определения объемов запасных частей, требующихся для их технического обслуживания и ремонта. Ни одно из известных готовых решений не учитывает специфику судостроительного производства. В этой связи перспективным направлением развития указанной системы видится разработка такой методики, которая обеспечивала бы оптимизацию затрат на закупку запчастей в условиях ресурсных ограничений вследствие введенных против России санкций. В качестве основы разрабатываемой методики взята стратегия управления запасами на основе неопределенности спроса и функции распределения вероятностей этого спроса за период поставки. Такой подход наиболее близок к существующей практике эксплуатации объектов ВМФ.

**Заключение.** Проведенный анализ показал необходимость совершенствования системы эксплуатации объектов ВМФ. Теоретическая ценность исследования заключается в обосновании стратегии управления запасами запасных частей для проведения технического обслуживания и ремонта объектов ВМФ с оптимизацией затрат на его приобретение в сложившихся условиях. Практическое значение итогов работы видится в выработке подходов к достоверному определению объемов закупок оборудования при формировании госконтрактов на ремонт или модернизацию объектов ВМФ.

**Ключевые слова:** эксплуатация кораблей, техническое обслуживание, корабельные технические средства, запасные части, теория управления запасами, управление цепями поставок.

*Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

UDC 623.486:623.8  
EDN: RIXHRX

A.V. Klimenko, L.B. Gusev, M.V. Maksimov, D.V. Bykov

Naval Polytechnic Institute of the VUNC Navy «N.G. Kuznetsov Naval Academy»

## SUBSTANTIATION OF THE METHODOLOGY FOR CREATING AN ADAPTIVE SYSTEM FOR THE SAFE OPERATION OF TECHNICAL FACILITIES OF NAVY FACILITIES

*Для цитирования:* Клименко А.В., Гусев Л.Б., Максимов М.В., Быков Д.В. Обоснование методологии создания адаптивной системы сохранной эксплуатации технических средств объектов военно-морского флота. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 4(406): 134–145.

*For citations:* Klimenko A.V., Gusev L.B., Maksimov M.V., Bykov D.V. Substantiation of the methodology for creating an adaptive system for the safe operation of technical facilities of Navy facilities. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 4(406): 134–145 (in Russian).

**Object and purpose of research.** The purpose of the work is to analyze management decisions that can be applied to form an effective system for the operation of naval facilities, primarily warships. The main attention is paid to ways to restore the resource of shipboard equipment in conditions of limited supply of spare parts, tools, accessories and materials.

**Materials and methods.** The work is performed as an analytical review of the available publications on the topic. The experience of the service activities of the employees of the Naval Polytechnic Institute of the VUNC Navy "Naval Academy" on the implementation of measures for the maintenance and repair of various types of naval facilities was used

**Main results.** The need to improve the system of operation of Navy facilities is due to a number of factors. The key problem seems to be the lack of reliable methods for determining the volume of spare parts required for maintenance and repair of the Navy facility. The development of such a methodology is a promising direction for the development of a system for the operation of Navy facilities. The methodology should ensure optimization of the cost of purchasing spare parts in conditions of resource constraints due to the sanctions imposed against our country. The inventory management strategy based on the uncertainty of demand and the probability distribution function of this demand over the delivery period is taken as the basis of the developed methodology. This approach is closest to the existing practice of operating Navy facilities. It is shown that none of the known ready-made solutions takes into account the specifics of shipbuilding production. This circumstance dictates the need for significant refinement of known techniques for the needs of the ship repair industry.

**Conclusion.** The analysis showed the need for further improvement of the system of operation of Naval facilities. The theoretical value of the study is to substantiate the strategy of managing spare parts stocks for the maintenance and repair of Navy facilities with the optimization of the cost of its acquisition under resource constraints. The practical significance of the results of the work is seen in the development of approaches to reliably determine the volume of equipment purchases when forming state contracts for the repair or modernization of Navy facilities.

**Keywords:** ship operation, maintenance, ship hardware, spare parts, inventory management theory, supply chain management.

*The authors declare no conflicts of interest.*

## Введение

### Introduction

Геополитическая ситуация в мире продолжает оставаться напряженной. Отношения Российской Федерации с рядом недружественных стран сохраняют тенденцию к обострению. Складывающаяся обстановка создает предпосылки к нарастанию угроз национальной безопасности Российской Федерации. Существует реальная возможность нанесения ущерба интересам нашей страны, в т.ч. в Мировом океане.

Ответом на возникающие вызовы современности является поддержание и развитие морского потенциала России. Данные выводы были закреплены в Морской доктрине Российской Федерации, утвержденной Президентом РФ В.В. Путиным в 2022 г. Основной морского потенциала России, безусловно, является военно-морской флот. Исходя из этого, важнейшей задачей руководящего состава ВМФ всех уровней является обеспечение функционирования и планомерное развитие эффективной системы эксплуатации объектов ВМФ. Под объектами ВМФ, главным образом, будем подразумевать корабли, суда и катера военно-морского флота, однако в эту категорию можно отнести и объекты береговой инфраструктуры.

## Анализ существующей системы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта объектов военно-морского флота

Analysis of the existing system of operation, maintenance and repair of Navy facilities

Под эксплуатацией корабля будем понимать комплекс организационно-технических мероприятий, которые объединены в непрерывный процесс, направленный на поддержание его установленной технической готовности, обеспечение наиболее эффективного использования корпуса и оборудования по прямому назначению и протекающий в рамках жизненного цикла с момента постройки вплоть до списания [1].

Система эксплуатации кораблей (СЭК) в современном виде сложилась более 50 лет назад и в текущий период претерпевает лишь небольшие эволюционные изменения. Вместе с тем множество исследователей, в т.ч. современных [2–6 и др.], отмечают целый комплекс факторов, обуславливающих необходимость существенного пересмотра СЭК. В их числе следующие:

- увеличивается количество разнообразных корабельных технических средств (КТС), использующих все новые физические принципы, рас-

тут уровень автоматизации и количество функциональных связей между элементами, что в итоге повышает трудоемкость технического обслуживания;

- директивным путем повышаются ресурсные характеристики, показатели надежности, живучести, безопасности, экономичности КТС и кораблей в целом;
- растут требования как к технической готовности, так и к функциональным характеристикам КТС;
- возрастает энерговооруженность объектов ВМФ;
- сокращается время на принятие управленческих решений и, как следствие, повышается вероятность ошибочного решения;
- увеличивается разрыв между наукой и практикой эксплуатации кораблей.

Одной из основных функций СЭК является техническое обслуживание (ТО). Система ТО является составной частью технического обеспечения объектов ВМФ и заключается в предупреждении и устранении неисправностей и отказов корабельной техники в процессе эксплуатации. В рамках проведения ТО осуществляется сбор, обработка, анализ и оценка информации по текущему и прогнозируемому техническому состоянию КТС, без учета которой теряет смысл математическое моделирование системы эксплуатации кораблей [7].

На проведение технического обслуживания существенное влияние оказывают факторы, представленные на рис. 1.

В настоящее время работы по техническому обслуживанию КТС планируются по наработке или календарным срокам в зависимости от особенностей конструкции и физических процессов, происходящих при эксплуатации корабельной техники [8].

Оценку результатов ТО производят по следующим показателям: продолжительность, трудоемкость, периодичность и вероятность выполнения технического обслуживания в заданное время, количество

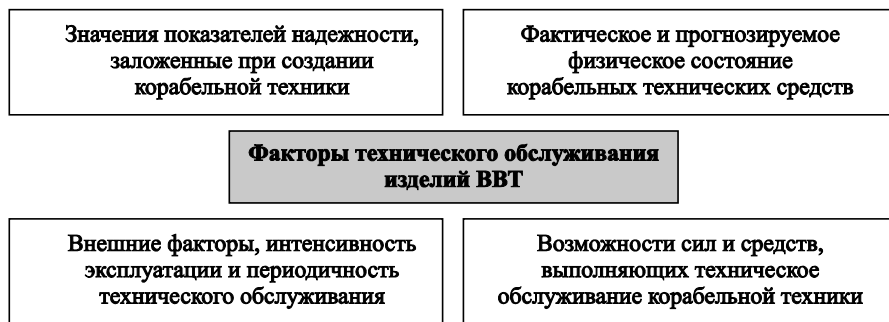
отказов из-за недостатков технического обслуживания в течение определенной наработки (календарного срока), приходящееся на один объект обслуживания, коэффициенты готовности и технической готовности, стоимость технического обслуживания и др.

Анализ достигнутых значений этих показателей позволяет выделить существенные недостатки периодической планово-предупредительной системы технического обслуживания. К этим недостаткам относятся [9, 10]:

- длительные плановые стоянки кораблей для проведения технического обслуживания;
- понижение готовности объектов ВМФ к выполнению задач по предназначению;
- недостаточная эффективность ТО по календарным срокам для предупреждения возникновения неисправностей и отказов;
- значительная трудоемкость выполнения работ по плану ТО и большая отвлеченность личного состава в период его проведения;
- низкий уровень ремонтной подготовки личного состава, обслуживающего КТС;
- недостаточное количество личного состава для выполнения технического обслуживания в соответствии с действующей эксплуатационной документацией.

При существующей системе ТО выполняется большой комплекс работ, связанный с вскрытием и осмотром значительного количества механизмов, систем и устройств. При этом фактическое состояние оборудования зачастую этого не требует, и кроме того поиск неисправности занимает значительную долю времени в общем процессе восстановления работоспособности механизмов и систем [3, 11]. Около 30 % от общего времени восстановления работоспособности оборудования и систем затрачивается на поиск неисправностей (т.н. дефектацию КТС).

Существенной проблемой действующей системы ТО является увеличение износа механизмов



**Рис. 1.** Факторы, оказывающие влияние на эффективность технического обслуживания корабельных технических средств

**Fig. 1.** Factors influencing the efficiency of maintenance of shipboard equipment

в результате его проведения, поскольку всякое вскрытие и разборка механизмов связаны с последующей приработкой вновь трущихся поверхностей и узлов. Зачастую сам факт вскрытия механизма несет в себе залог будущего отказа.

Ремонтно-восстановительные работы обеспечиваются комплектом запасных частей, инструментов, принадлежностей и материалов (ЗИП). Восстановление работоспособности изделия сводится к замене отказавшего (не соответствующего требованиям нормативно-технической документации) элемента / сменной части работоспособной запасной частью.

Комплект ЗИП является разновидностью ресурса, предназначенного для повышения надежности. Его можно рассматривать как разновидность резерва и применять к нему признаки классификации структурного резервирования.

Эффективность формирования комплекта ЗИП определяется целым комплексом разнородных факторов [12]:

- структурой системы ЗИП;
- стратегией пополнения начальных запасов;
- приспособленностью изделия к восстановлению работоспособности путем использования запасных частей;
- правилами потребления запасов при наличии нескольких потребителей: бесприоритетное обслуживание, приоритетное обслуживание;
- правилами и условиями хранения запасов;
- правилами и условиями обмена запасами между различными комплектами ЗИП в многоуровневой структуре.

Не все из перечисленных факторов представляется целесообразным использовать с учетом действующей системы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта объектов ВМФ.

В существующей практике [10, 11] расчет числа запасных элементов производится безотносительно структур определенных систем и основывается на задании вероятности обеспеченности системы запасными элементами  $P_{\text{обесп}}$  в течение заданного промежутка времени (см. нормативные документы [13] по расчету одиночных комплектов ЗИП). Численные значения  $P_{\text{обесп}}$  задаются, как правило, произвольно, без увязки с показателями надежности функционирования. Так, для расчета комплекта ЗИП в целом  $P_{\text{обесп}}$  принимается обычно равной 0,9. В целом можно судить, что существующие методики определения объемов ЗИП не позволяют связать показатели надежности функционирования систем со значениями вероятностей обеспеченности систем необходимыми запасными элементами.

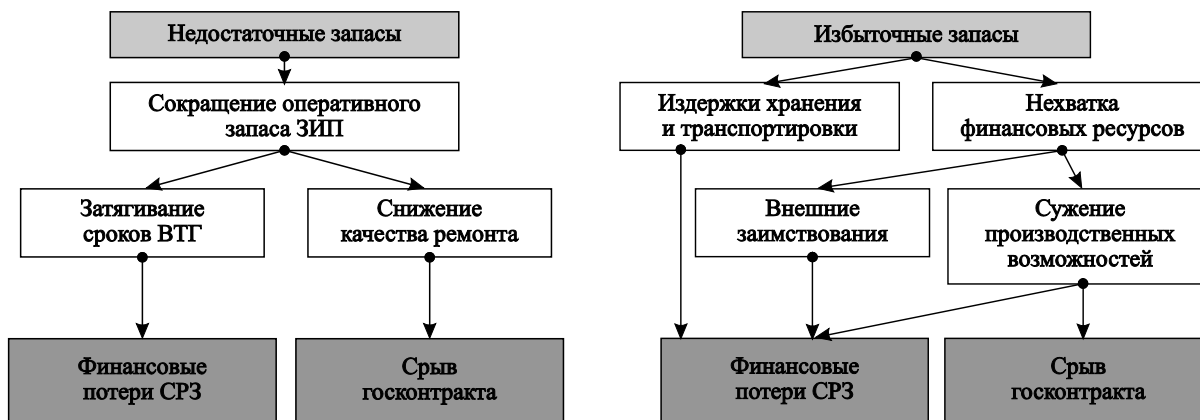
Можно сделать вывод о том, что принятая в ВМФ периодическая планово-предупредительная система технического обслуживания позволяет поддерживать заданный уровень технической готовности кораблей, однако обладает рядом недостатков. Наибольшая эффективность выполнения работ по плановому ТО достигается тогда, когда обеспечивается соответствие сроков выполнения работ с фактической необходимостью в них, а также достаточно полное совпадение плановых объемов обслуживания с фактически требующимися. Выполнение заранее назначенного объема работ по ТО для большинства сложных объектов не уменьшает вероятность возникновения поломок, а для некоторого оборудования даже увеличивает поток послеремонтных отказов. Ключевая проблема СЭК на текущем этапе – обеспечение работ по техническому обслуживанию и ремонту кораблей полноценным запасом ЗИП на всю номенклатуру КТС.

### **Обоснование требований к математической модели обеспечения объектов военно-морского флота комплектом запасных частей, инструментов и принадлежностей**

Substantiation of requirements for the mathematical model of providing Navy facilities with a set of spare parts, tools and accessories

С точки зрения физического наличия известно [14–19] два крайних состояния запасов (рис. 2): переизбыток запасов и недостаточность запасов. В первом случае возникают дополнительные нерациональные траты на хранение ЗИП для КТС на соответствующем складе. Происходит «замораживание» части средств судоремонтного предприятия, потраченных на приобретение лишних материальных средств. Во втором случае в нужный момент времени может не оказаться нужных запасов для проведения оперативного ремонта.

Для решения задачи достижения баланса между оптимизацией издержек содержания запасов и исключением срывов судоремонтного производства удобно применить довольно широко проработанную как в нашей стране [20, 21 и др.], так и за рубежом [22–24 и др.] теорию управления запасами (ТУЗ). Разработка и внедрение в практику методики определения норм запасов позволяют решить целый комплекс проблем, прежде всего практический интерес вызывает определение возможностей по экономии бюджетных средств, выделяемых в рам-



**Рис. 2.** Возможные состояния запасов судоремонтного предприятия  
**Fig. 2.** Possible stock conditions of the ship repair company

ках государственных контрактов на ремонт и модернизацию кораблей и судов. Кроме того, применение методов ТУЗ позволяет научно обоснованно повысить саму организацию закупочной деятельности и выявить резервы.

В настоящее время можно считать хорошо проработанным и успешно апробированным целый ряд подходов:

- детерминированные модели управления запасами [14, 16], основанные на теории нечетких множеств, теории ограничений, теории массового обслуживания и др.;
- стохастические модели управления запасами [21, 22], основанные на цепях Маркова, принципе максимума, динамическом программировании, статистической оптимизации, алгоритмах идентификации и фильтрации, адаптивных подходах, линейном и нелинейном программировании, инвариантных стратегиях, теории автоматического управления и др.

В последнее время активно развивается направление, объединяемое под общим названием «управление цепями поставок» (supply chain management) [25]. Особый интерес для настоящего исследования вызывает сугубо прикладной характер решаемых задач. Предлагаемые авторами методики целенаправленно создаются для принятия конкретных управленческих решений. По характеру решаемых задач все многообразие известных в данной области алгоритмов можно разбить на две большие группы:

- основанные на сетевых моделях;
- основанные на локальных моделях.

Первый тип задач моделирует работу некоего крупного производственного или логистического

центра. Они посвящены, главным образом, поиску режимов внутренней оптимизации производственного процесса. Внешние факторы (срыв поставки, отсутствие требуемых изделий на рынке, внезапное возрастание спроса и т.д.) при таком подходе учитываются в лучшем случае как некие интегральные коэффициенты.

Задачи второго типа предполагают более детальное изучение и, как следствие, более адекватное моделирование, узких цепей поставок. При таком подходе учитывается стохастический закон изменения наиболее значимых переменных на входе в модель.

Сами модели начали создаваться и просчитываться в 1970–1980 гг. [22]. Без использования ЭВМ акцент делался на относительно простых вычислениях. Главным недостатком было априорное постулирование характера изменения определяемых случайных величин в получаемом массиве данных (Гауссово распределение,  $t$ -распределение, Стьюдента, Хи-квадрат распределение и т.д.). Наиболее полно проработаны модели статического однопродуктового детерминированного спроса [20].

Главный общий недостаток таких моделей – не учитывается вероятностный характер реальных отношений между участниками производственного процесса (колебания спроса, цены изделий, времени и стоимости их поставки и хранения и т.д.). В реальных задачах требуется моделировать многопродуктовый спрос, что оставалось и продолжает оставаться краеугольной проблемой. Для практики необходимы такие модели и методы, которые применимы для прогнозных задач в условиях неопределенности, отсутствия

однозначных критериев оценки и невозможности полной формализации выбора предпочтительного варианта.

Революционное развитие вычислительных возможностей, наблюдаемое в последние годы, позволяет в полном объеме решить генеральную задачу – оперативно и с требуемой точностью обрабатывать огромные массивы исходных данных.

На диаграмме Венна (рис. 3) в графической форме показаны общие требования к работоспособной стратегии управления запасами ЗИП судоремонтного предприятия и адекватной целям проводимого исследования.

Анализ исследованной литературы [26] позволяет отобразить в упрощенной графической форме (рис. 4) общее состояние дел по реализации в существующих моделях всех представленных требований. Основное противоречие: требование к адекватности модели, как показано кривой 1, неизбежно влечет усложнение и делает крайне сложной ее практическую реализацию (т.е. реальное использование каким-либо специалистом на практике).

На графике также отмечено, что оптимизация исследуемых систем аналитическими методами по мере их усложнения и повышения адекватности сопровождается эффектом роста, а затем снижения универсальности синтезируемых моделей (кривая 2), т.е. современная практика показывает, что практически реально разработать модель только на частный объект.

Как уже отмечалось ранее, за период развития ТУЗ [27] предложено большое многообразие подходов к построению моделей управления запасами. Они отличаются и разнообразием аспектов решаемой задачи, и вводимыми допущениями (табл. 1 и 2). Ряд моделей, главным образом детерминированных, нацелены на расчет оптимального уровня запасов при условии, что все значимые факторы поддаются строгому вычислению. Другой класс моделей применяется для динамического расчета уровня запасов при стохастическом законе изменения входных параметров.

Приведем классификацию запасов по количественному уровню [28] (рис. 5):

**Максимально желательный запас** – определяет уровень запаса, экономически целесообразный в данной системе управления запасами (используется как ориентир при расчете объема заказа).

**Пороговый уровень запаса** используется для момента выдачи очередного заказа.

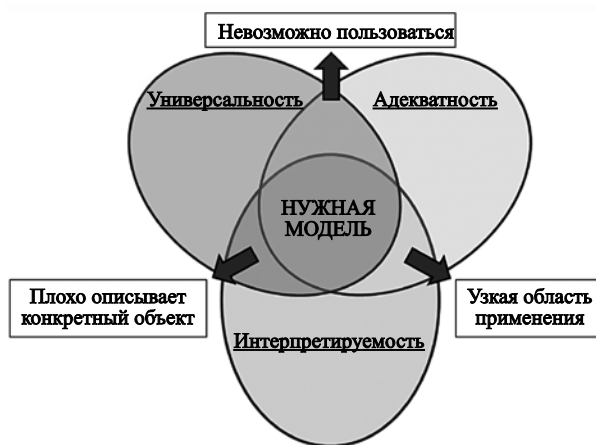


Рис. 3. Общие требования к разрабатываемой модели управления запасами

Fig. 3. General requirements for the inventory management model being developed

**Гарантийный (страховой) запас** – предназначен для непрерывного снабжения потребителя в случае непредвиденных обстоятельств.

**Текущий запас** – соответствует уровню запаса в любой момент учета (его текущее значение может совпасть с желательным, пороговым или гарантийным уровнем).

Бурное развитие логистики, начавшееся с 1960-х гг. и продолжающееся по настоящий момент, привело к существенной оптимизации издержек предприятий, в т.ч. судоремонтных, на обеспечение своих запасов. Однако остаются значительные резервы для дальнейшего совершен-



Рис. 4. Фактическая взаимосвязь между факторами реализуемости моделей

Fig. 4. The actual relationship between the factors of the feasibility of models

**Таблица 1.** Классификация стратегий (моделей) управления запасами

**Table 1.** Classification of inventory management strategies (models)

Признак классификации	Характеристика стратегии
Влияние на спрос	С учетом меняющейся потребности в готовых изделиях (зависимый спрос)
	Без учета меняющейся потребности в готовых изделиях (независимый спрос)
Способ оценки спроса	Детерминированный спрос
	Стохастический спрос
Закон изменения спроса	Непрерывно распределенный спрос
	Дискретно распределенный спрос
Пополнение запасов	Постоянное
	Переменное
Вид управляющего воздействия	Пассивные
	Полуактивные (прогнозирование)
	Активные (концепции точно в срок – just-in-time (JT), быстрого реагирования – quick response (QR) и др.)
Число номенклатур	Однономенклатурные
	Многономенклатурные
Вид контрольных параметров	Критический уровень (точка перезаказа – reorderpoint (ROP))
	Фиксированная периодичность заказа
	Комбинированные способы

**Таблица 2.** Классификация методов определения потребности в запасных частях, инструментах, принадлежностях и материалах

**Table 2.** Classification of methods for determining the need for spare parts

<b>СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА</b>		
<b>Оценка по аналогии</b>	<b>Оценка по интуиции</b>	
<b>ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА</b>		
Служат для определения вторичной потребности в материалах при известной первичной		
<b>Аналитический метод</b> Расчет идет от спецификации изделия по ступеням иерархии сверху вниз	<b>Синтетический метод</b> Проведение расчетов для каждой группы деталей исходя из степени их применяемости на отдельных ступенях иерархии	
<b>СТОХАСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА</b>		
Позволяют установить ожидаемую потребность на основе числовых данных, характеризующих ее изменения на протяжении определенного промежутка времени		
<b>Аппроксимация средних значений</b> Используется в условиях, когда потребность в материалах колеблется по месяцам при устойчивом среднем значении. Прогнозирование этим методом представляет собой процедуру усреднения известных значений потребности в материалах	<b>Метод экспоненциального сглаживания</b> Применяют в случае, когда прогнозирование процесса изменения потребности в ресурсах производится на основе уровней ряда динамики, веса которых убывают при отдалении данного уровня от прогноза. Вводится коэффициент сглаживания, сводящий к минимуму ошибку прогноза	<b>Регрессионный анализ</b> Предполагает приближение известных тенденций потребления материальных ресурсов с помощью математических функций, которые могут быть экстраполированы на будущий период

ствования данного вопроса. Требуется развитие математического аппарата для управления закупкой запасных частей, контроля их перемещения, систематизации хранения материальных запасов на складах и т.д.

Основная масса известных моделей и методов ТУЗ (имеются в виду готовые решения) предназначена, главным образом, для промышленных предприятий и торговых организаций различной спецификации. Для судоремонтных (судостроительных) заводов данные подходы в готовом виде неприменимы. Это объясняется, во-первых, большой номенклатурой различных КТС, каждое из которых является мелкосерийным образцом, во-вторых, – существенной долей крайне дорогостоящих штучных комплексов, устройств и агрегатов.

Следует отметить, что наибольших успехов добились подходы по синтезу различных методов и моделей ТУЗ, основанные на калмановской фильтрации и интерполяции [14]. Основой данного подхода выступает стоимостной критерий оптимальности затрат на основании объемов и периодичности поставок. Стратегия управления запасами на основе неопределенности спроса и функции распределения вероятностей этого спроса за период поставки представляется наиболее предпочтительной для достижения целей настоящего исследования и будет взята за основу для дальнейшей работы.

Представляется целесообразным продолжить дальнейшее развитие параметрических (прежде всего основанных на «ресурсных» подходах) математических моделей ТУЗ [17, 25] и порождаемых ими стратегий управления запасами (рис. 6). Эти стратегии получили наименование  $(Q, r)$ -стратегий ( $Q > r$ ). Здесь уровень  $Q$  определяет размер заказа, а уровень  $r$ , получивший название точки заказа, – уровень запаса, при достижении которого (в сторону снижения), необходимо подавать заказ на пополнение.

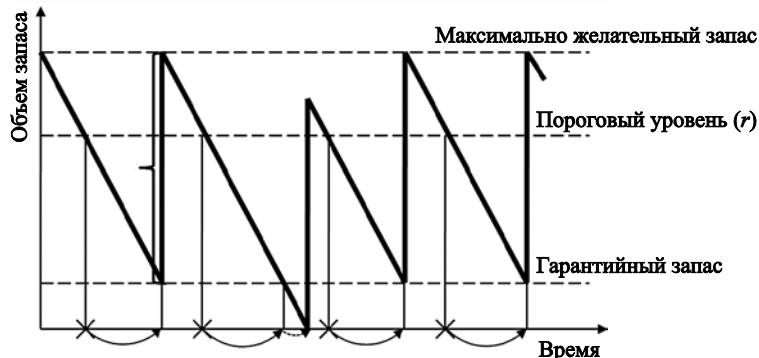


Рис. 6. Общий вид системы управления запасами

Fig. 6. General view of the inventory management system

- × момент подачи заказа
- время поставки
- время задержки поставки

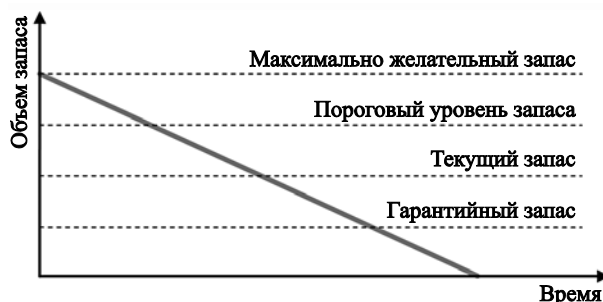


Рис. 5. Классификация запасов по количественному уровню

Fig. 5. Classification of stocks by quantitative level

Известно [20, 22] уравнение расчета оптимального размера заказываемой партии (формула Уилсона), шт.:

$$Q_w = \sqrt{\frac{2\lambda_{\text{сп}} A}{IC}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{сп}}$  – интенсивность поступления требований (или средняя интенсивность спроса), шт./год;  $A$  – стоимость подачи заказа, руб.;  $I$  – коэффициент издержек содержания запасов – стоимость запасов в единицу времени на единицу вложенного в эти запасы капитала ( $I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + \dots$ , где:  $I_1$  – коэффициент, учитывающий косвенные издержки,  $I_2$  – коэффициент, учитывающий мелкие хищения и порчу запасов,  $I_3$  – коэффициент, учитывающий страховые издержки,  $I_4$  – коэффициент, учитывающий налоги (если они включаются в коэффициент издержек содержания) и т.д.);  $C$  – стоимость единицы запаса (или средняя стоимость единицы запаса, если эта стоимость непостоянна), руб.

Формула является основой семейства  $EQL$ -моделей ( $EQL$  – Economic order quantity (англ.) – экономичный (оптимальный) размер заказа) [15, 18].



Данный подход имеет ряд общеизвестных ограничений:

- интенсивность потребления является известной и постоянной величиной;
- заказ доставляется со склада, где хранится ранее произведенный товар;
- время поставки товара является известной и постоянной величиной;
- каждый заказ доставляется в виде одной партии;
- затраты на осуществление заказа не зависят от размера заказа;
- затраты на хранение запаса пропорциональны его размеру.

Очевидно, что ни одно из этих условий не выполняется в реальном судостроительном производстве. Отсюда вытекает необходимость в разработке математической модели, рассматривающей требуемый уровень заказа ЗИП (т.е. потребность в период по формуле (1)), коэффициент хранения (затраты по хранению единицы продукции в единицу времени) и интервал времени между заказами как стохастические величины. При этом модель должна обеспечивать отыскание минимума издержек на техническое обслуживание и ремонт объектов ВМФ с расчетом оптимального размера заказа.

## Заключение

Conclusion

Современная система эксплуатации кораблей нуждается в дальнейшем совершенствовании. Данная необходимость обусловлена такими факторами, как увеличение интенсивности использования кораблей с одновременным сокращением времени на их техническое обслуживание, выполнение большого объема явно избыточных работ по дефектации технических средств. Но самым важным видится отсутствие достоверных методик определения объемов ЗИП на всю номенклатуру КТС, требующихся для технического обслуживания и ремонта объекта военно-морского флота.

Выделен ряд перспективных направлений развития системы сохранной эксплуатации объектов ВМФ (прежде всего кораблей). Основными из них являются разработка метода оценки потребных запасов ЗИП для корабельных технических средств с оптимизацией затрат на его приобретение в условиях ресурсных ограничений вследствие введенных против нашей страны санкций.

За основу для разработки метода поддержания технической готовности объектов ВМФ принята теория управления запасами. Проанализированы

различные методы и модели ТУЗ и в качестве основы взята стратегия управления запасами на основе неопределенности спроса и функции распределения вероятностей этого спроса за период поставки. Такой подход наиболее близок к существующей практике эксплуатации кораблей.

В качестве базы для разработки метода взято семейство *EQL*-моделей, основанное на различных модификациях формулы Уилсона по определению оптимального размера заказа. Показано, что ни одно из известных готовых решений не учитывает специфику судостроительного производства. Данное обстоятельство диктует необходимость в существенной доработке известных методик под нужды ВМФ.

## Список использованной литературы

1. Мартынов Н.П., Бушуев В.В., Попов Н.Н. Формирование системы комплексного сервисного технического обслуживания изделий вооружения и военной техники // Судостроительная промышленность. Санкт-Петербург, 1998. С. 25–44.
2. Блинов Э.К. Техническая эксплуатация флота и современные методы судоремонта: учеб. пособие. Ленинград: Судостроение, 1988. 88 с.
3. Капитонов И.В. Совершенствование технической эксплуатации морских судов. Москва: Транспорт, 1986. 216 с.
4. Лобанов А.С., Барановский В.В. Обоснование перспективного корабельного газотурбинного двигателя пятого поколения // Морской вестник. 2018. № 3(67). С. 81–82.
5. Никитин В.С., Половинкин В.Н., Барановский В.В. Современное состояние и перспективы развития энергетических установок крупных кораблей ВМС иностранных государств // Труды Крыловского государственного научного центра. 2016. Вып. 94(378). С. 125–148.
6. Половинкин В.Н., Барановский В.В., Колодяжный Д.Ю. Оценка целесообразности и способов разработки и создания корабельного газотурбинного двигателя 5-го поколения // Судостроение. 2019. № 1(842). С. 11–31.
7. Голосов А.И., Марчуков Н.А., Халиуллин Ю.М. Экономико-математические методы обоснования управленческих решений: учеб. пособие. Санкт-Петербург: ВМА, 1997. 540 с.
8. Рыбалко В.В. Корабельные газотурбинные энергетические установки (эксплуатационные характеристики): учеб. пособие. Ленинград: ВМОЛА, 1989. 56 с.
9. Мирошниченко А.А. [и др.]. Судоремонт и снабжение кораблей: учеб. пособие. Ленинград: ВМОЛУА, 1988. 210 с.

10. Халиуллин Ю.М. Организация судоремонта ВМФ: учебное пособие. Санкт-Петербург: ВВМИУ, 1994. 76 с.
11. Халиуллин Ю.М., Голосов А.И. Проблемы управления развитием производственно-хозяйственных структур // Сборник тезисов докладов научно-технической конференции «Транском-94». Санкт-Петербург: СПбГУВК, 1994. С. 127–129.
12. Черкесов Г.Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП: учеб. пособие. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. 480 с.
13. ГОСТ РВ 0015-705-2008. Запасные части, инструменты и принадлежности. Основные положения. Москва: Стандартинформ, 2009. III, 15 с. (Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника).
14. Смагин В.И., Смагин С.В. Адаптивное управление запасами с учетом ограничений и транспортных запаздываний // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 3(4). С. 19–26.
15. Тиньков С.А., Тинькова Е.В., Бабенко И.В. Логистика. Управление запасами: учеб. пособие. Курск: Деловая полиграфия, 2014. 261 с.
16. Люнченко С. Применение методов кластеризации для управления запасами товарно-материальных ценностей // Евразийский союз ученых. 2020. № 4-4(73). С. 29–37.
17. Кузнецова А.А. Теория управления запасами предприятия // Российский экономический интернет-журнал. 2013. № 4. С. 1–14. URL: <https://www.e-rej.ru/upload/iblock/477/477ac222a80958099d0aa804fc497239.pdf> (дата обращения: 27.09.2023).
18. Шидловский И.Г. Совершенствование управления запасами при поставках партионных грузов: автореферат дис. ... кандидата экономических наук: 08.00.05 / И.Г. Шидловский; Нац. исслед. ун-т «Высш. шк. экономики». Москва, 2017. 22 с.
19. Хорев А.И., Булгакова И.Н., Чекудаев К.В. Оптимизация системы закупок импортного сырья предприятий на основе методов теории управления // Вестник Белгородского университета потребительской кооперации. 2009. № 2(30). С. 55–59.
20. Лотоцкий В.А., Мендель А.С. Модели и методы управления запасами: учеб. пособие. Москва: Наука, 1991. 189 с.
21. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. Санкт-Петербург: Питер, 2001. 384 с.
22. Анализ систем управления запасами / Дж. Хедли, Т. Уайтин; пер. с англ. М.А. Каснера [и др.]; под ред. А.Л. Райкина. Москва: Наука, 1969. 512 с.
23. Hou J., Gao H., Li X. DSets-DBSCAN: a parameter-free clustering algorithm // IEEE Transactions on Image Processing. 2016. Vol. 25, No. 7. P. 3182–3193. DOI: 10.1109/TIP.2016.2559803.
24. Smiti A., Elouedi Z. Fuzzy density based clustering method: Soft DBSCAN-GM // Proceedings of the IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Systems (IS). 2016. P. 443–448.
25. Мандель А.С., Гранин С.С. Исследование аналогий между задачами теории управления запасами и задачами теории управляемых систем массового обслуживания // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018): материалы конф.: [В 2 т.]. Москва: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2018. Т. 1. С. 279–281.
26. Дзензелюк Н.С., Тарасов Ю.Н. Теория синтеза и практика внедрения систем управления запасами: основные проблемы и пути их разрешения // Управление экономическими системами. 2013. № 4(52). С. 29 (с. 1–9). URL: <https://econpapers.repec.org/article/scn007255/14794925.htm> (дата обращения: 27.09.2023).
27. Сергеев А.В., Новиков А.А. Разработка системы управления запасами методами классической теории автоматического управления // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2013. № 7(55). С. 32. URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:scn:007255:15549069> (дата обращения: 19.10.2023).
28. Стаханов Д.В., Журный Н.В. Управление материальными запасами: учеб. пособие. Таганрог: Типография издателя Ступина А.Н., 2013. 66 с.

## References

1. Martynov N.P., Bushuev V.V., Popov N.N. Formation of a system of complex service maintenance of armament and military equipment products // Shipbuilding industry. St. Petersburg, 1998. P. 25–44 (in Russian).
2. Blinov E.K. Technical operation of the fleet and modern methods of ship repair: Student's Guide. Leningrad: Sudostroyeniye, 1988. 88 p. (in Russian).
3. Kapitonov I.V. Improvement of technical operation of sea vessels. Moscow: Transport, 1986. 216 p. (in Russian).
4. Lobanov A.S., Baranovsky V.V. Substantiation of a promising shipboard gas turbine engine of the 5th generation // Morskoy Vestnik (Maritime Messenger). 2018. No. 3(67). P. 81–82 (in Russian).
5. Nikitin V.S., Polovinkin V.N., Baranovsky V.V. The current state and prospects for the development of power plants of large ships of the Navy of foreign states // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2016. Vol. 94(378). P. 125–148 (in Russian).
6. Polovinkin V.N., Baranovsky V.V., Kolodyazhny D.Yu. Evaluation of the feasibility and methods of developing

- and creating a shipboard gas turbine engine of the 5<sup>th</sup> generation // *Sudostroyeniye*. 2019. No. 1(842). P. 11–31 (*in Russian*).
7. Golosov A.I., Marchukov N.A., Khaliullin Yu.M. Economic and mathematical methods of substantiation of managerial decisions : Student's Guide. St. Petersburg : VMA, 1997. 540 p. (*in Russian*).
  8. Rybalko V.V. Shipboard gas turbine power plants (operational characteristics) : Student's Guide. Leningrad : VMOLA, 1989. 56 p. (*in Russian*).
  9. Miroshnichenko A.A. [et al.]. Ship repair and supply of ships : Student's Guide. Leningrad : VMOLUA, 1988. 210 p. (*in Russian*).
  10. Khaliullin Yu.M. Organization of naval ship repair : Student's Guide. St. Petersburg : VVMIU, 1994. 76 p. (*in Russian*).
  11. Khaliullin Yu.M., Golosov A.I. Problems of managing the development of industrial and economic structures // Collection of abstracts of reports of the scientific and technical conference Transcom-94: collection of abstracts. St. Petersburg : SPbGUVK, 1994. P. 127–129 (*in Russian*).
  12. Cherkesov G.N. Evaluation of the reliability of systems taking into account the spare parts : Study guide. St. Petersburg : BHV-Petersburg, 2012. 480 p. (*in Russian*).
  13. GOST RV 0015-705-2008. Spare parts, tools and accessories. The basic elements. Moscow : Standartinform, 2009. III, 15 p. (Military equipment). (*in Russian*).
  14. Smagin V.I., Smagin S.V. Adaptive inventory management taking into account restrictions and transport delays // Bulletin of Tomsk State University. 2008. No. 3(4). P. 19–26 (*in Russian*).
  15. Tinkov S.A., Tinkova E.V., Babenko I.V. Logistics. Inventory management : Student's Guide. Kursk : Business Polygraphy, 2014. 261 p. (*in Russian*).
  16. Lyunchenko S. Application of clustering methods for inventory management // Eurasian Union of Scientists. 2020. No. 4-4(73). P. 29–37 (*in Russian*).
  17. Kuznetsova A.A. Theory of enterprise inventory management // Russian Economic Online Journal. 2013. No. 4. P. 1–14. URL: <https://www.e-rej.ru/upload/iblock/477/477ac222a80958099d0aa804fc497239.pdf> (Accessed: 27.09.2023) (*in Russian*).
  18. Shidlovsky I.G. Improvement of inventory management in the supply of batch goods : Author's Cand. Sci. (Economics) abstract : 08.00.05 / I.G. Shidlovsky ; Moscow HSE University. Moscow, 2017. 22 p. (*in Russian*).
  19. Khorev A.I., Bulgakova I.N., Chekudaev K.V. Optimization of the procurement system of imported raw materials of enterprises based on the methods of the theory of inventory management // Bulletin of the Belgorod University of Consumer Cooperation. 2009. No. 2(30). P. 55–59 (*in Russian*).
  20. Lototsky V.A., Mendel A.S. Models and methods of inventory management : Student's Guide. Moscow : Nauka, 1991. 189 p. (*in Russian*).
  21. Ryzhikov Yu.I. Theory of queues and inventory management. St. Petersburg : Peter, 2001. 384 p. (*in Russian*).
  22. Analysis of inventory management systems / J. Hedley, T. Whitin ; Russian translation by M.A. Kasner [et al.] ; Under editorship of A.L. Raikin. Moscow : Nauka, 1969. 512 p. (*in Russian*).
  23. Hou J., Gao H., Li X. DSets-DBSCAN: a parameter-free clustering algorithm // IEEE Transactions on Image Processing. 2016. Vol. 25, No. 7. P. 3182–3193. DOI: 10.1109/TIP.2016.2559803.
  24. Smiti A., Elouedi Z. Fuzzy density based clustering method: Soft DBSCAN-GM // Proceedings of the IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Systems (IS). 2016. P. 443–448.
  25. Mandel A.S., Granin S.S. Investigation of analogies between the tasks of the theory of inventory management and the tasks of the theory of controlled queuing systems // Management of large-scale systems (MLSD'2018) : Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference : [in 2 vol.]. Moscow : V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences, 2018. Vol. 1. P. 279–281 (*in Russian*).
  26. Dzenzelyuk N.S., Tarasov Yu.N. Theory of synthesis and practice of implementing inventory management systems: main problems and ways of their resolution // Management of economic systems: electronic scientific journal. 2013. No. 4(52). P. 29 (p. 1–9) URL: <https://econpapers.repec.org/article/scn007255/14794925.htm> (Accessed: 27.09.2023) (*in Russian*).
  27. Sergeev A.V., Novikov A.A. Development of a stock management system by methods of the classical theory of automatic control // Management of economic systems: electronic scientific journal. 2013. No. 7(55). P. 32. URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:scn:007255:15549069> (Accessed: 19.10.2023) (*in Russian*).
  28. Stakhanov D.V., Zhirny N.V. Material reserves management : Study guide. Taganrog : Printing house of the publisher Stupin A.N., 2013. 66 p. (*in Russian*).

---

#### Сведения об авторах

Клименко Андрей Васильевич, начальник Военного института (военно-морского политехнического) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова». Адрес: 196602, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Кадетский бульвар, д. 1. Тел.: +7 (812) 465-27-00. E-mail: [vunc-vmf-vmii@mil.ru](mailto:vunc-vmf-vmii@mil.ru).

Гусев Леонид Борисович, заведующий кафедрой физики Военного института (военно-морского политехнического)

ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова». Адрес: 196602, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Кадетский бульвар, д. 1. Тел.: +7 (812) 465-35-70. E-mail: dima\_moraychok@mail.ru.

*Максимов Максим Владимирович*, сотрудник главного командования ВМФ. Адрес: 196602, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Кадетский бульвар, д. 1. Тел.: +7 (812) 312-56-76.

*Быков Дмитрий Владимирович*, заместитель начальника кафедры паровых турбин Военного института (военно-морского политехнического) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова». Адрес: 196602, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Кадетский бульвар, д. 1. Тел.: +7 (812) 494-02-05. E-mail: dmitry-byckow@yandex.ru.

### **About the authors**

*Andrey V. Klimenko*, Head of the Military Institute (Naval Polytechnic) of the Naval Polytechnical Institute of the

VUNC Navy "N.G. Kuznetsov Naval Academy". Address: 1, Kadetsky Boulevard, Pushkin, St. Petersburg, Russia, post code 196602. Tel.: +7 (812) 465-27-00. E-mail: vunc-vmf-vmii@mil.ru.

*Leonid B. Gusev*, Head of the Physics Department of the Military Institute (Naval Polytechnic) of the Naval Polytechnical Institute of the VUNC Navy "N.G. Kuznetsov Naval Academy". Address: 1, Kadetsky Boulevard, Pushkin, St. Petersburg, Russia, post code 196602. Tel.: +7 (812) 465-27-00. E-mail: vunc-vmf-vmii@mil.ru.

*Maxim V. Maksimov*, an employee of the main command of the Navy. Address: 1, Kadetsky Boulevard, Pushkin, St. Petersburg, Russia, post code 196602. Tel.: +7 (812) 465-27-00. E-mail: vunc-vmf-vmii@mil.ru.

*Dmitry V. Bykov*, Deputy Head of the Department of Steam Turbines of the Military Institute (Naval Polytechnic) of the VUNC of the Naval Polytechnical Institute of the VUNC Navy "N.G. Kuznetsov Naval Academy". Address: 1, Kadetsky Boulevard, Pushkin, St. Petersburg, Russia, post code 196602. Tel.: +7 (812) 465-27-00. E-mail: vunc-vmf-vmii@mil.ru.

Поступила / Received: 25.07.23  
Принята в печать / Accepted: 04.12.23  
© Коллектив авторов, 2023