

УДК 656.612"401"
EDN: LPKBLP

А.А. Тучинский, К.В. Цыбанов
АО «ЦКБ МТ «Рубин», Санкт-Петербург, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ ПО КРИТЕРИЮ СТОИМОСТИ ХОДОВЫХ СУТОК

Объект и цель научной работы. Объектом исследования является жизненный цикл объектов морской техники (ОМТ). Цель – разработка методики определения оптимального срока службы ОМТ, включая выбор критерия оптимизации.

Материалы и методы. Работа выполнена с использованием компьютерного моделирования технико-эксплуатационных и экономических характеристик ОМТ, а также норм, правил и требований к циклическому функционированию ОМТ.

Основные результаты. Разработана методика определения оптимального срока службы. В качестве критерия оптимизации предложена стоимость единицы времени использования ОМТ по прямому назначению (стоимость ходовых суток).

Заключение. Методика может применяться для моделирования и сравнения различных вариантов эксплуатационных циклов ОМТ не только по предложенному, но и по другим критериям оптимизации. Для ряда ОМТ, разрабатываемых АО «ЦКБ МТ «Рубин», по результатам апробации методики предложены оптимальные сроки службы.

Ключевые слова: срок службы, определение оптимального срока службы, увеличение назначенных сроков службы, оптимизация эксплуатационных расходов, управление жизненным циклом, программное обеспечение «Лента».

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

UDC 656.612"401"
EDN: LPKBLP

A.A. Tuchinsky, K.V. Tsybanov
The Central Design Bureau for Marine Engineering "Rubin", St. Petersburg, Russia

OPTIMAL SERVICE LIFE CALCULATION FOR MARINE PLATFORMS IN TERMS OF SERVICE DAY COSTS

Object and purpose of research. The object of the study is the life cycle of marine platforms. The aim is to develop a methodology for determination of their optimal life cycle, including the selection of optimization criterion.

Materials and methods. Research was performed using computer modeling of the technical, operational and economic performance of marine engineering facilities in accordance with applicable rules, regulations and requirements for marine platform operation profiles.

Main results. A method for optimal life cycle determination has been developed. The optimization criterion has been selected as unit-time cost (i.e. service day cost) of intended platform operation.

Conclusion. This method can be applied for modeling and comparison of different variants of marine platform operation cycles, not only in terms of service day costs but also in terms of other optimization criteria. The procedure suggested by the authors has been successfully applied to determine optimal service life for a number of *Rubin* marine engineering designs.

Keywords: life cycle, optimal life cycle determination, service life extension OPEX optimization, life time management, *Lenta* software.

The authors declare no conflicts of interest.

Для цитирования: Тучинский А.А., Цыбанов К.В. Определение оптимального срока службы объектов морской техники по критерию стоимости ходовых суток. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; 3(409): 161–166.

For citations: Tuchinsky A.A., Tsybanov K.V. Optimal service life calculation for marine platforms in terms of service day costs. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024; 3(409): 161–166 (in Russian).

Общие положения

General

В современных реалиях особо остро встает вопрос сокращения расходов на создание и эксплуатацию объектов морской техники. Таким образом, оценка и оптимизация указанных расходов является одним из направлений, позволяющим повысить эксплуатационные характеристики проектируемых ОМТ [1, 2]. Необходимо также отметить, что существуют тенденции к увеличению полного срока службы в отношении перспективных ОМТ, которые разрабатываются за рубежом.

Позитивное влияние увеличения долговечности ОМТ очевидно. При увеличении назначенных сроков службы снижается доля стоимости создания ОМТ и увеличивается суммарное время его использования по прямому назначению.

Негативной стороной увеличения сроков службы ОМТ является возрастание объемов работ технических обслуживаний и ремонтов, моральное старение ремонтируемого оборудования, а также необходимость замены оборудования или выполнения работ по продлению сроков его службы.

Увеличение полного назначенного срока службы ОМТ $T_{ПЦ}$ целесообразно осуществлять кратно количеству больших циклов (БЦ) $n_{БЦ}$, исходя из следующей зависимости:

$$T_{ПЦ} \geq n_{БЦ} \cdot T_{зр} + (n_{БЦ} - 1) \bar{T}_{зр}, \quad (1)$$

где $T_{зр}$ – назначенный срок службы ОМТ до заводского ремонта; $\bar{T}_{зр}$ – средняя продолжительность заводских ремонтов ОМТ.

Критерий оптимизации и методика определения оптимального срока службы

Optimization criterion and method for optimal life cycle determination

В качестве критерия оптимизации расходов на создание и эксплуатацию предлагается принять стоимость единицы времени использования ОМТ по прямому назначению (стоимость ходовых суток) за весь срок службы.

Стоимость ходовых суток ρ_{Σ} определяется как

$$\rho_{\Sigma} = \frac{C_0 + C_{\Sigma 3}}{T_{\Sigma АП}}, \quad (2)$$

где C_0 – стоимость создания ОМТ; $C_{\Sigma 3}$ – суммарная за полный срок службы стоимость эксплуатации;

$T_{\Sigma АП}$ – суммарное время использования ОМТ по назначению (суммарная за полный срок службы продолжительность использования по прямому назначению).

Определение оптимального срока службы ОМТ выполняется по следующей разработанной методике:

1. формируется полный перечень и последовательность процессов (например, использование по прямому назначению, техническое обслуживание (ТО), заводской ремонт), входящих в эксплуатационный цикл;
2. для каждого вида процесса определяется значение его продолжительности и стоимости;
3. выполняется построение различных планируемых вариантов схем эксплуатационных циклов;
4. производится расчет суммарной стоимости эксплуатации и суммарного времени использования по назначению для каждого варианта эксплуатационного цикла;
5. производится расчет стоимости единицы времени использования по прямому назначению (стоимость ходовых суток) для каждого варианта эксплуатационного цикла;
6. на основании рассчитанных значений стоимости ходовых суток планируемых вариантов схем эксплуатационных циклов определяется оптимальный срок службы.

В формальном виде критерий оптимальности для срока службы $T_{СЛ}^{opt}$ может быть представлен функционалом

$$T_{СЛ}^{opt} = \Phi \{ (C_0, C_{\Sigma 3}) \rightarrow \min, T_{\Sigma АП} \rightarrow \max \}. \quad (3)$$

Все процессы ОМТ, входящие в эксплуатационный цикл, могут быть разделены на следующие виды:

- использование по прямому назначению;
- процессы, предназначенные для восстановления ресурсов, необходимых для очередного использования по назначению (восстановительные процессы), – различного вида ТО и ремонты;
- общетехнические мероприятия по подготовке ОМТ и экипажа к выходу в море для очередного использования по назначению;
- использование для проведения учений и отработки прочих специальных задач.

Для использования по назначению ОМТ должен располагать некоторым множеством ресурсов, позволяющих выполнять задачи назначения в течение заданного времени.

В разработанной методике ресурсы разделяются на два вида: временные и физические. Последние определяются запасом энергии (энергоресурс), топлива, материальных средств и возможной наработкой основных систем ОМТ. Временными ресурсами являются требования к периодичности отдельных мероприятий, в т.ч. назначенные сроки службы.

Временные ресурсы расходуются в каждом процессе, кроме тех, где они восстанавливаются. Физические ресурсы расходуются при использовании по назначению, а также для проведения учений и отработки прочих специальных задач. Восстанавливаются и временные, и физические ресурсы в процессах вида «ТО и ремонт». Отдельные ресурсы могут восстанавливаться при общетехнических мероприятиях и проведении учений.

Восстановительные процессы ОМТ различаются по составу и объему выполняемых работ. Так, при доковом ремонте ОМТ выполняются все работы докового осмотра, и, следовательно, восстанавливается не только ресурс «срок службы до докового ремонта», но и ресурс «срок службы до докового осмотра».

Формализация вариантов схем эксплуатационных циклов ОМТ для дальнейшего анализа может выполняться любым доступным способом (например, графически).

Для определения оптимального срока службы используются достигнутые и планируемые значения следующих показателей:

- время использования по прямому назначению;
- время непрерывного использования без планового ТО;
- назначенные сроки службы оборудования и корпусных конструкций (полный и до заводского ремонта (ЗР));
- назначенные ресурсы основного оборудования непрерывного действия (полный и до ЗР);
- периодичность проведения доковых осмотров, доковых ремонтов;
- периодичность замены основного оборудования энергетического модуля;
- трудоемкость всех видов ТО и ремонтов;
- продолжительность организационно-технических мероприятий;
- стоимость создания;
- стоимость оборудования;
- стоимость ЗР;
- и др., например, из ГОСТ Р 58302-2018 [3].

По результатам построения для каждого варианта схемы эксплуатационных циклов опреде-

ляется суммарная стоимость всех процессов C_{Σ} . По формуле (2) определяется стоимость единицы времени использования ОМТ по прямому назначению ρ_{Σ} . Оптимальным сроком службы принимается продолжительность варианта схемы эксплуатационных циклов с минимальным значением ρ_{Σ} .

Описание программного обеспечения для автоматизации расчетов

Calculation software

Для автоматизации построения схем эксплуатационных циклов, расчетов их параметров, включая показатели надежности и стоимости, предлагается применять разработанную АО «ЦКБ МТ «Рубин» и введенную в промышленную эксплуатацию программу «Лента» [4].

Программа «Лента», исходя из заданных назначенных показателей долговечности (ресурсов и сроков службы), периодичности и продолжительности различных видов обслуживания, последовательно моделирует все процессы ОМТ, входящие в эксплуатационный цикл.

По результатам моделирования определяются количество и суммарная продолжительность периодов использования по прямому назначению, продолжительность, трудоемкость и стоимость всех процессов технического обслуживания и ремонта.

Эти характеристики позволяют рассчитать коэффициент использования по назначению и коэффициент технического использования ОМТ, стоимость эксплуатации, а также стоимость единицы времени использования ОМТ по прямому назначению (стоимость ходовых суток).

На рис. 1 представлено окно программы «Лента» с результатами моделирования схемы циклов эксплуатации, где отображаются:

- суммарное количество процессов, их продолжительность и стоимость;
- последовательность всех процессов;
- остаток ресурсов на момент окончания выбранного процесса;
- рассчитанные параметры больших и полного циклов эксплуатации.

Общий вид окна графического представления полученной схемы эксплуатационных циклов для ОМТ представлен на рис. 2.

Программа «Лента» позволяет моделировать различные варианты эксплуатационных циклов

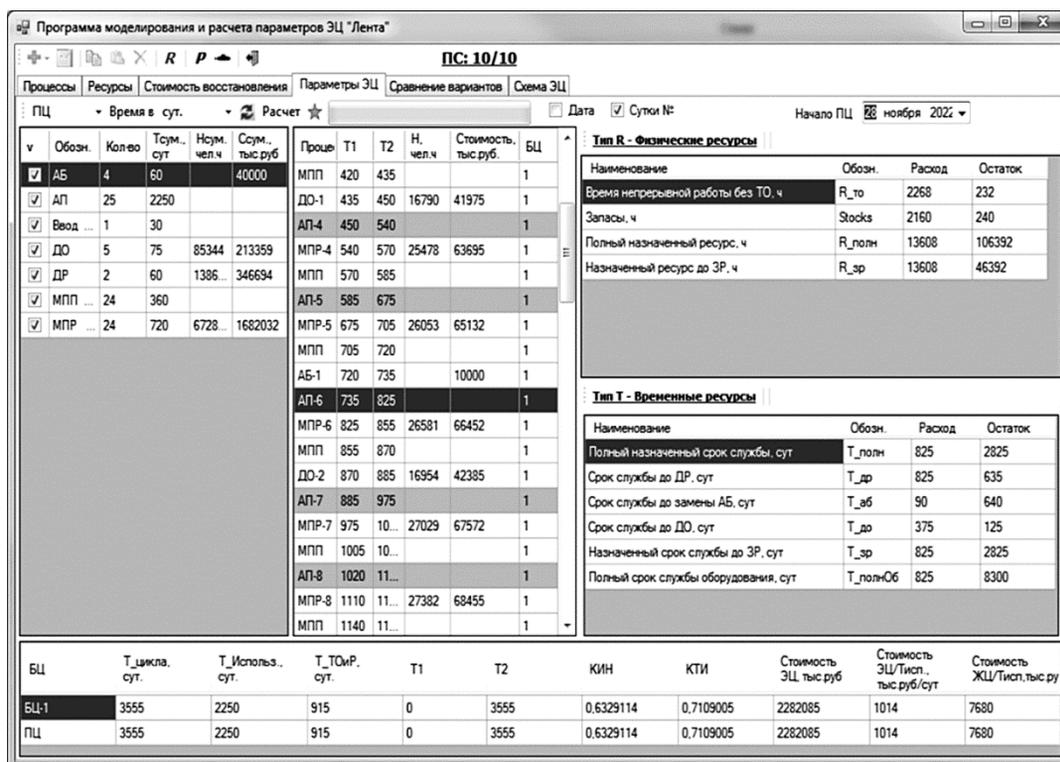


Рис. 1. Окно результата моделирования схемы эксплуатационных циклов
Fig. 1. Simulation results for the operational profile

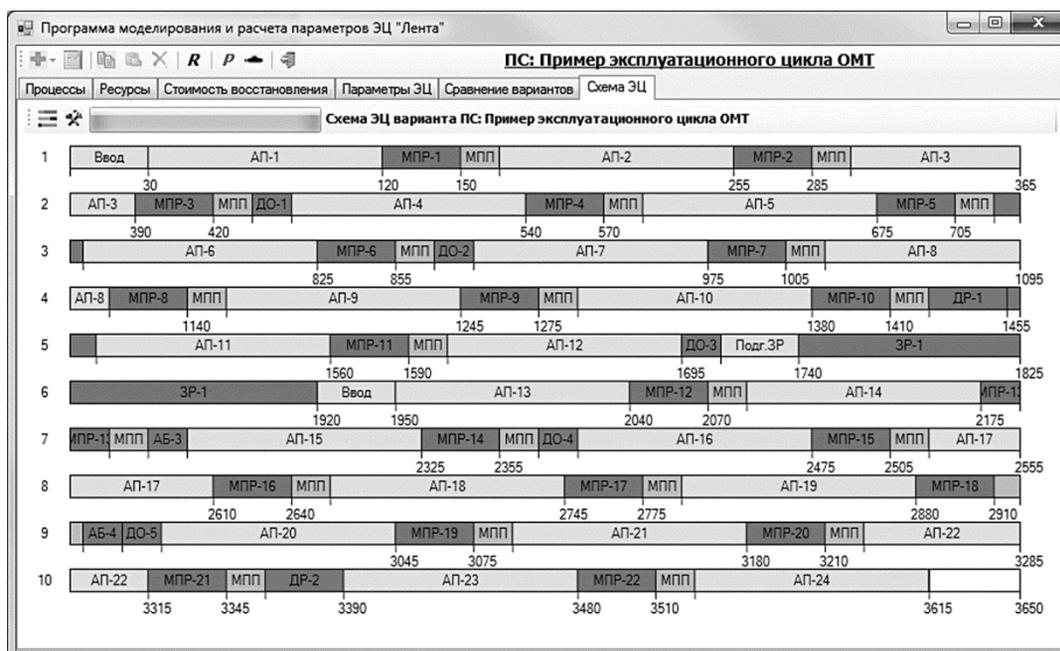
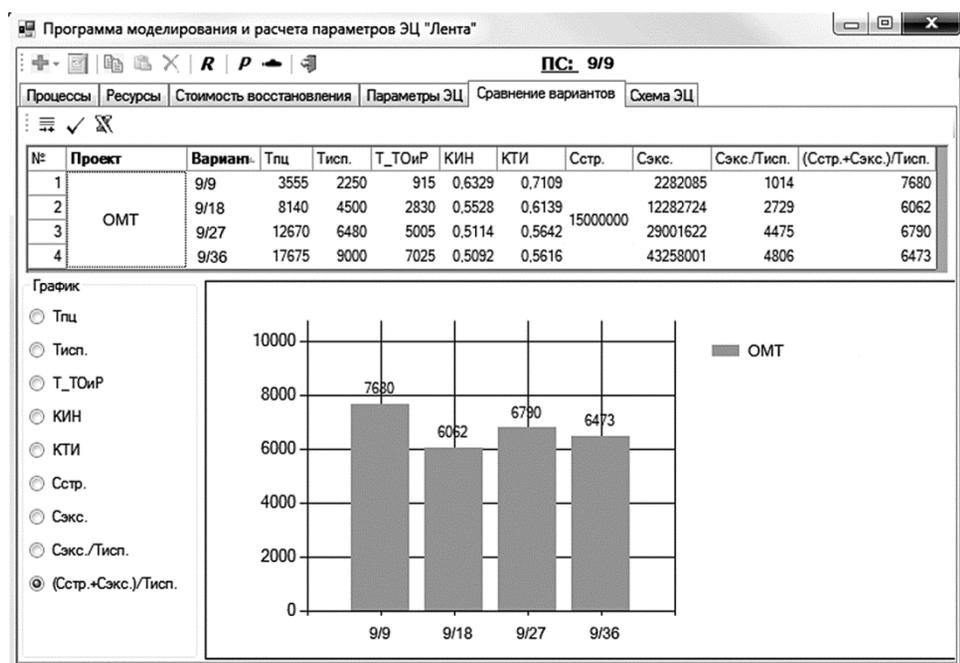


Рис. 2. Окно графического представления схемы эксплуатационных циклов
Fig. 2. Plots of operational profile simulation results

Рис. 3. Окно сравнения вариантов эксплуатационных циклов по зависимости стоимости ходовых суток от назначенных сроков службы

Fig. 3. Comparison of different operational profiles in terms of selected criterion



ОМТ и строить зависимости стоимости ходовых суток от назначенных сроков службы.

На рис. 3 приведено окно в программе «Лента», где выводятся результаты сравнения вариантов схем эксплуатационных циклов по зависимости стоимости ходовых суток от назначенных сроков службы.

На рис. 4 представлен типовой вид графика сравнения стоимости ходовых суток в зависимости от срока службы до ЗР и количества БЦ.

Заклучение

Conclusion

В статье предложена методика определения оптимального срока службы объектов морской техники, а также критерий оптимальности – стоимость единицы времени использования ОМТ по прямому назначению (стоимость ходовых суток).

Методика успешно прошла апробацию в АО «ЦКБ МТ «Рубин». По описанной методике выполнены оценки оптимального срока службы ряда ОМТ, разрабатываемых АО «ЦКБ МТ «Рубин», и предложены оптимальные сроки службы.

Ввиду особенностей ОМТ с длительным сроком эксплуатации, таких как моральное старение техники, сложность поиска оборудования, которое

потребуется заменить при заводском ремонте, планируется выполнить дополнительные исследования в части выбора и назначения дополнительных критериев оптимального срока службы ОМТ и добавить их в методику.

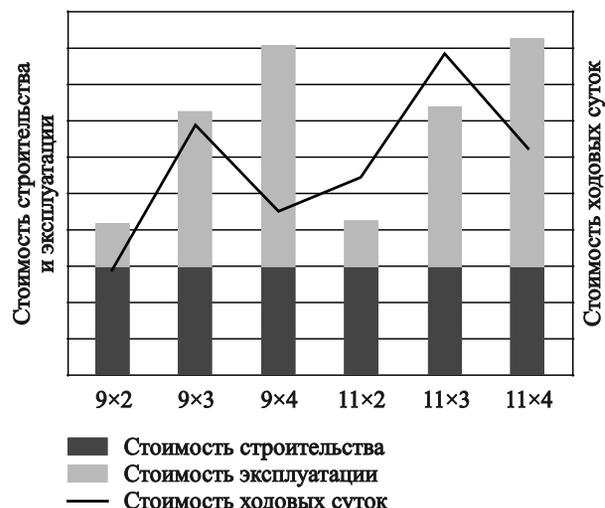


Рис. 4. Зависимость стоимости ходовых суток от полного срока службы и количества больших циклов

Fig. 4. Service day costs as function of full service life and the number of large service cycles

Список использованной литературы

1. Разработка и апробация методики определения стоимости эксплуатации составных частей перспективных малых подводных лодок на примере ИСБУ / *А.С. Серебренников, Н.А. Шарков, М.И. Романова, Д.В. Сидоренков* // Морской вестник. 2023. Спец. вып. 1(16). С. 18–21.
2. Методический подход к управлению стоимостью эксплуатации перспективных подводных лодок на стадиях проектирования / *А.С. Серебренников, Н.А. Шарков, М.И. Романова, И.А. Ломакин, С.А. Никифоров* // Военное кораблестроение в XXI веке (ВОКОР-2021) : Труды Межотраслевой научно-практической конференции. Санкт-Петербург : НИИ КиВ ВМФ ВУНЦ ВМФ ВМА, 2021.
3. ГОСТ Р 58302-2018. Управление стоимостью жизненного цикла. Номенклатура показателей для оценивания стоимости жизненного цикла изделия. Общие требования. Москва : Стандартинформ, 2019. III, 7, [1] с.
4. *Цыбанов К.В., Шевченко В.Н., Третьяков А.В.* Управление жизненным циклом объектов морской техники. Моделирование и расчет параметров эксплуатационных циклов – программа «Лента» // Труды Первой отраслевой научно-практической конференции «Производственные технологии в судостроении – вопросы информатизации» (ПТС ВИ-2021). Санкт-Петербург : ЦТСС, 2021. С. 164–170.

References

1. Development and appraisal of operational cost assessment method for CMS (Combat Management System) of future mini-submersibles / *A.S. Serebrennikov, N.A. Sharkov, M.I. Romanova, D.V. Sidorenkov* // *Morskoy Vestnik*. 2023. Special issue 1(16). P. 18–21 (*in Russian*).
2. Method for managing operational cost of advanced submarines at design stages / *A.S. Serebrennikov, N.A. Shar-*

kov, M.I. Romanova, I.A. Lomakin, S.A. Nikiforov // Naval shipbuilding in the XXI century (VOCOR-2021) : Proceedings of Inter-industry scientific and practical conference. St. Petersburg : Research Institute of Shipbuilding and Armament of the Russian Navy, Naval Academy, 2021 (*in Russian*).

3. Russian National Standard GOST R 58302-2018. Life cycle cost optimization. Life cycle cost indicators. General requirements. Moscow : Standartinform, 2019. III, 7, [1] p. (*in Russian*).
4. *Tsybanov K.V., Shevchenko V.N., Tret'yakov A.V.* Life cycle management of marine engineering facilities. Modeling and calculation of parameters of operational cycles – the Lenta program // Proceedings of the First branch scientific and practical conference “Production technologies in shipbuilding – issues of informatization” (PTS VI-2021). St. Petersburg : TSSC, 2021. P. 164–170 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Тучинский Антон Алексеевич, начальник группы АО «ЦКБ МТ «Рубин». Адрес: 191119, Россия, Санкт-Петербург, ул. Марата, д. 90. E-mail: neptun@ckb-rubin.ru.
Цыбанов Кирилл Владимирович, инженер 1-й категории АО «ЦКБ МТ «Рубин». Адрес: 191119, Россия, Санкт-Петербург, ул. Марата, д. 90. E-mail: tcybanov@gmail.com.

About the authors

Anton A. Tuchinsky, Head of Group, JSC Central Design Bureau for Marine Engineering “Rubin”. Address: 90, Marata st., St. Petersburg, Russia, post code 191119. E-mail: neptun@ckb-rubin.ru.

Kirill V. Tsybanov, 1st category engineer, JSC Central Design Bureau for Marine Engineering “Rubin”. Address: 90, Marata st., St. Petersburg, Russia, post code 191119. E-mail: tcybanov@gmail.com.

Поступила / Received: 15.04.24
Принята в печать / Accepted: 22.08.24
© Тучинский А.А., Цыбанов К.В., 2024