

LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CRITICAL REFURBISHABLE PARTS OF SHIP EQUIPMENT

L. B. Leont'ev¹, A. L. Leont'ev²

¹ — Maritime State University named after adm. G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russian Federation

² — DVC "DalRAO" — branch of FSUE "Radon", Vladivostok, Russian Federation

To ensure the product life cycle (PLC), foreign and domestic information technologies have been developed that mainly ensure the stages of design and manufacture of products, but they do not allow for automation of the design of technologies for restoration and strengthening of parts. The relevance of restoration of critical parts of ship equipment is due to dependence on foreign supplies of equipment and spare parts (SP), as well as sanctions from unfriendly states, which complicated the acquisition of SP, and the need for import independence arose. The paper shows that life cycle management of a restored part has a significant impact on the efficiency of marine fleet operation, and provides stages and main sub-stages of the life cycle of restored parts of ship equipment. Restoration of parts is considered appropriate if the required durability and savings are ensured compared to manufacturing or purchasing a new part. The concept of life cycle management of restored parts is provided. Life cycle management of restored parts includes planning, control and management of all stages, as well as decision-making to ensure the durability of the part through the use of advanced materials and coating formation technologies. The stage of the life cycle of the restored part, determining the service life of the part, the economic efficiency of its restoration and subsequent operation, is the technological process that ensures the optimal chemical composition, mechanical and structural parameters of the coating. All the properties of the restored part are laid down at the stage of designing the technological process. The prospects of using the life cycle management of the restored part are shown using the example of restoring precision parts of the fuel equipment of marine diesel engines. The use of various technologies for the same type of restored precision parts allows obtaining coatings with different chemical composition, mechanical properties, structure and, accordingly, different values of durability and cost price to ensure the specified service life of the tribological unit at an acceptable price.

Keywords: life cycle, technological process, part, control, restoration, strengthening, tribo unit, wear resistance, marine equipment, coating. ship equipment, systems approach.

For citation:

Leont'ev, Lev B., and Andrey L. Leont'ev. "Life cycle management of critical refurbishable parts of ship equipment." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.4 (2024): 530–537. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-530-537.

УДК 629.5.083.5

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОТВЕТСТВЕННЫХ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л. Б. Леонтьев¹, А. Л. Леонтьев²

¹ — Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского,
Владивосток, Российская Федерация

² — ДВЦ «ДальРАО» — филиал ФГУП «Радон», Владивосток, Российская Федерация

Темой работы является исследование вопросов технологий восстановления и упрочнения деталей для обеспечения жизненного цикла изделия. Отмечается, что разработанные информационные зарубежные и отечественные технологии, обеспечивающие преимущественно этапы проектирования и изготовления изделий, не позволяют автоматизировать проектирование технологий восстановления и упрочнения деталей. Обращается внимание на то, что актуальность восстановления ответственных деталей судового оборудования обусловлена зависимостью от зарубежных поставок оборудования и запасных частей, а также введением санкций недружественных государств, усложнивших приобретение запасных частей,

в связи с чем возникла необходимость в импортозамещении. Показано, что управление жизненным циклом восстанавливаемой детали оказывает значительное влияние на эффективность эксплуатации морского флота, приведены этапы и основные подэтапы жизненного цикла восстанавливаемых деталей судового оборудования. Восстановление деталей считается целесообразным, если обеспечивается требуемая долговечность и экономия по сравнению с изготовлением или приобретением новой детали. Предложена концепция управления жизненным циклом восстанавливаемых деталей, включающая планирование и контроль на всех этапах, а также принятие решений по обеспечению долговечности детали за счет применения перспективных материалов и технологий формирования покрытия. Отмечается, что этапом управления жизненным циклом восстанавливаемых деталей, определяющим срок службы детали, экономическую эффективность ее восстановления и последующей эксплуатации, является технологический процесс, обеспечивающий оптимальные химический состав, механические и структурные параметры покрытия, а также подчеркивается, что все свойства восстановленной детали закладываются на этапе проектирования технологического процесса. Сделан вывод о том, что перспективность применения управления жизненным циклом таких деталей зависит от восстановления прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей. Показано, что применение различных технологий для однотипных восстанавливаемых прецизионных деталей позволяет получать покрытия с различными химическим составом, механическими свойствами, структурой и, соответственно, разными величинами долговечности и себестоимости для обеспечения заданного срока службы трибоузла при приемлемой цене.

Ключевые слова: жизненный цикл, технологический процесс, деталь, управление, восстановление, трибоузел, износостойкость, судовое оборудование, покрытие.

Для цитирования:

Леонтьев Л. Б. Управление жизненным циклом ответственных восстанавливаемых деталей судового оборудования / Л. Б. Леонтьев, А. Л. Леонтьев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 4. — С. 530–537. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-4-530-537.

Введение (Introduction)

Для обеспечения конкурентоспособности предприятия машиностроения постоянно обновляют выпуск изделий чтобы удовлетворить требования заказчиков. Сократить время вывода на рынок нового изделия и тем самым повысить эффективность деятельности производственным предприятиям позволяет применение технологии управления жизненным циклом изделия (ЖЦИ), или продукции [1]–[8], для обеспечения управления жизненным циклом которого разработаны информационные технологии, обеспечивающие преимущественно этапы проектирования и изготовления изделий [5]. Существенным недостатком зарубежных систем ЖЦИ машиностроения является отсутствие подсистем технологической подготовки производства и проектирования технологических процессов (ТП) [4]–[8].

Актуальность восстановления ответственных деталей судового оборудования обусловлена зависимостью от зарубежных поставок оборудования и запасных частей (ЗЧ), а также санкциями недружественных государств, усложнившими приобретение ЗЧ, в связи с чем возникла необходимость в импортозамещении [9]. Восстановление изношенных деталей судового оборудования, особенно дизелей, является важнейшим резервом экономии трудовых и материальных ресурсов в судоремонте, позволяя значительно снизить дефицит ЗЧ. Основные свойства детали, которые предусматривают ее надежность и эффективность, должны быть учтены при проектировании ТП восстановления детали для обеспечения ее успешного функционирования и удовлетворения потребностей пользователей [3].

Проблема с ЗЧ может быть решена повышением износостойкости поверхностей трения путем формирования износостойких покрытий, обеспечивающих значительное увеличение срока эксплуатации до отказа и последующего их восстановления. Для повышения конкурентоспособности и эффективности предприятий, занимающихся изготовлением и восстановлением ответственных деталей, необходимо внедрять систему управления их жизненным циклом.

Целью статьи является разработка концепции управления жизненным циклом восстанавливаемых деталей для создания высококачественного изделия и апробация ее при восстановлении прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей для удовлетворения потребностей рынка и обеспечения устойчивости и конкурентоспособности предприятия.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Восстановление деталей является целесообразным, если обеспечивается требуемая долговечность и экономия по сравнению с изготовлением или приобретением новой детали. Границы ресурса восстановленной детали могут быть определены следующим неравенством:

$$t_{\text{мр}} \leq t_{\text{в}} \leq t_{\text{о}},$$

где $t_{\text{мр}}$, $t_{\text{в}}$, $t_{\text{о}}$ — ресурсы: межремонтный оборудования (механизма), восстановленной детали, до списания оборудования соответственно, тыс. ч.

Расчет показателей безотказности выполняется в соответствии с ГОСТом Р 27.102–2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения». Стоимость восстановленной детали, как правило, не должна превышать 60 % стоимости новой.

Для апробации концепции жизненного цикла восстанавливаемых деталей (ЖЦВД) были проанализированы следующие показатели, полученные в результате использования различных технологий восстановления прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей, установленных на судах Дальнего Востока: стоимость технологического процесса и наработка деталей до отказа. Для восстановления прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей использовались три технологии, характеризующиеся различной стоимостью и обеспечивающие заданный срок службы в зависимости от особенностей условий их работы:

- гальваническое хромирование;
- гальваническое хромирование с последующим фрикционно-силовым модифицированием органо-неорганическим композитом — вермикулит и хитозан для повышения износостойкости плунжера в несколько раз [10];
- ионно-плазменное нанесение покрытия нитридом титана, обеспечивающего очень высокую твердость (2287 HV) и износостойкость.

Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

Жизненный цикл восстанавливаемой детали — это последовательность этапов, которые она проходит, начиная с проектирования технологического процесса и заканчивая утилизацией. Каждый этап имеет свои особенности и требует определенных ресурсов. Для управления ЖЦВД восстанавливаемых и упрочняемых деталей в первую очередь необходимо определить этапы и их функциональные особенности (рис.). Управление жизненным циклом изделия включает планирование, контроль и управление всеми этапами, а также принятие решений по обеспечению долговечности детали за счет применения перспективных материалов и технологий формирования покрытия.

Наиболее важным этапом жизненного цикла детали является период ее эксплуатации. Именно его анализ позволяет решить проблему оптимального, теоретически обоснованного срока службы детали, который, как правило, должен быть равен сроку службы оборудования или узла, в который она входит. Этапом, определяющим срок службы детали и экономическую эффективность последующей эксплуатации, является ТП, который обеспечивает химический состав, механические и структурные параметры покрытия и, соответственно, триботехнические свойства трибосопряжения. Все свойства восстановленной детали закладываются на этапе проектирования ТП.

Основной причиной отказа 90 % деталей судового оборудования является износ поверхностей трения, величина которого у большинства отказавших деталей находится в пределах 0,1–1,0 мм. Современный уровень развития методов формирования покрытий позволяет достичь практически любых показателей долговечности детали, однако, как правило, увеличение долговечности приводит к увеличению себестоимости технологии, поэтому эффект от повышения долговечности детали не возместит их, и суммарный результат от разработанного ТП будет отрицательным.

Техническое использование восстановленных деталей заключается в их повторном использовании, после того как в процессе восстановления им были возвращены или приданы показатели безотказности и износостойкости, близкие к исходным, исходные или выше их.

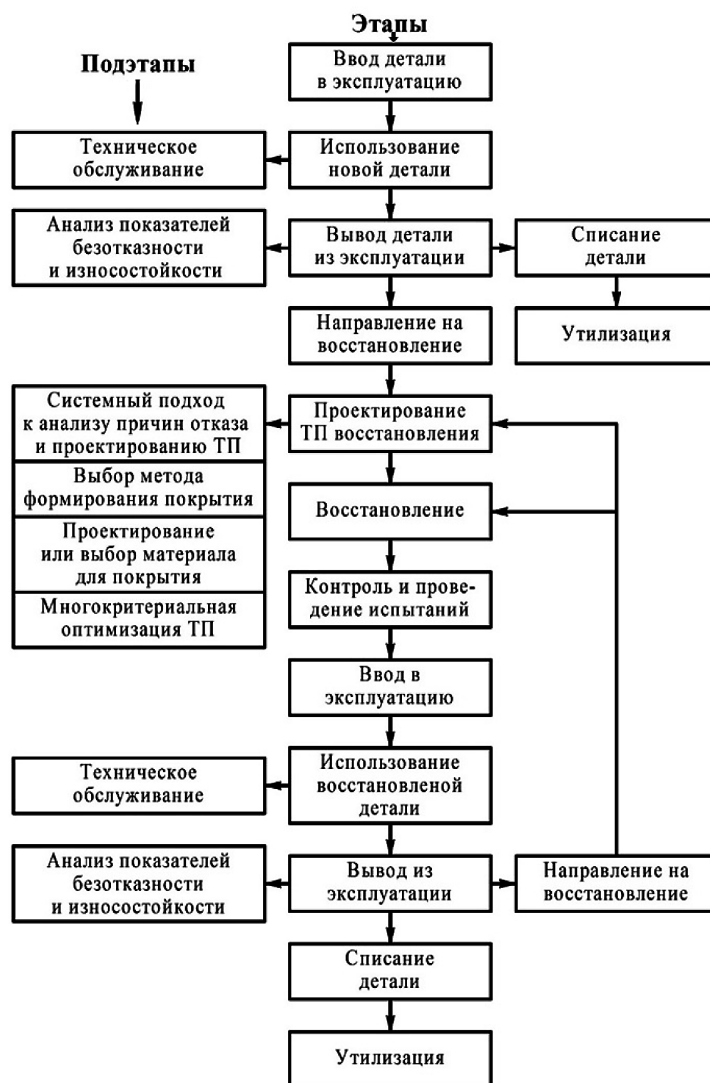


Схема этапов и подэтапов жизненного цикла восстанавливаемой детали

Для оценки экономической эффективности и целесообразности применяемых технологических процессов (ТП) восстановления и упрочнения конкретных типов деталей необходимо осуществлять контроль за их эксплуатацией и рассчитывать некоторые параметры их надежности для сравнения с соответствующими параметрами новых деталей, обычно ограничиваемыми определением некоторых показателей безотказности или долговечности и износостойкости.

На основе результатов эксплуатации определяются показатели безотказности и средняя скорость изнашивания поверхности трения детали, а также доминирующий вид изнашивания. Рассчитываются следующие показатели: средняя наработка до отказа (t , тыс. ч), коэффициент вариации средней наработки до отказа, средняя скорость изнашивания поверхности трения, мм/тыс. ч) и коэффициент вариации средней скорости изнашивания. После вывода детали из эксплуатации принимается решение о ее списании или направлении на повторное восстановление в зависимости от технического состояния и экономической целесообразности.

При оптимизации технологических процессов в качестве критериев оптимизации предпочтительно использовать скорость изнашивания, определяющую наработку детали до отказа, и себестоимость ТП. Скорость изнашивания деталей трибосопряжения зависит от прочности основного металла детали, химического состава и физико-механических параметров поверхностного слоя, а также от величины коэффициента трения в сопряжении. Химический состав

триботехнического материала и параметры формирования покрытия обеспечивают управление механическими параметрами покрытия и триботехническими свойствами сопряжения, которые определяют, в свою очередь, скорости изнашивания поверхностей трения.

Использование восстановленных деталей предполагает необходимость выполнения следующих мероприятий:

- 1) проверка готовности к использованию, ввод и вывод из эксплуатации;
- 2) оценка и регистрация отклонений в работе судового оборудования с восстановленными деталями;
- 3) контроль и учет технического состояния восстановленных деталей;
- 4) анализ показателей безотказности и износостойкости восстановленных деталей.

При использовании восстановленных деталей должны заполняться формы судовой учетно-отчетной документации по технической эксплуатации с отметкой:

- шифра или краткого содержания и места восстановления;
- кратности восстановления;
- наработки детали в часах до и после восстановления.

Определение пригодности изношенных деталей для повторного восстановления на предприятиях необходимо осуществлять в соответствии с нормативно-технической документацией. К повторному восстановлению не допускаются детали, достигшие своего предельного состояния, т. е. выработавшие полный назначенный ресурс, указанный в нормативно-технической и конструкторской документации. Если наработка до отказа восстановленной детали или износостойкость не удовлетворяют установленным требованиям, то повторно проектируется ТП, который должен обеспечить заданный ресурс.

Экономическая эффективность восстановления детали зависит от стоимостной эффективности в процессе производства, эксплуатации и обслуживании, включающей затраты на материалы, электроэнергию и трудовые ресурсы, а также увеличение срока службы и снижение эксплуатационных расходов.

Разработанная авторами данного исследования в 2015 г. в ООО «Научно-производственный центр “Дальмак”» концепция ЖЦВД была апробирована при восстановлении прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей и обеспечила устойчивость и конкурентоспособность предприятия.

Опыт восстановления прецизионных деталей топливной аппаратуры (более 6 тыс. плунжерных пар всех типов судовых дизелей, эксплуатирующихся в Дальневосточном бассейне, и около 400 распылителей форсунок) позволяет сделать вывод о том, что судовладельцы согласны использовать восстановленные детали на судах при их цене не более 60 % от стоимости новых и обеспечении наработки на отказ не менее 80 % срока службы новых (данные приведены в таблице). В противном случае они предпочитают приобретать новые детали и узлы.

Необходимость разработки различных технологий вызвана низкой наработкой до отказа некоторых типов деталей из-за различных конструктивных особенностей и условий их работы. Большинство плунжерных пар с плунжерами с покрытием пористым хромом имели наработку примерно такую же, как и новые, однако их стоимость была намного ниже [11]. Для плунжерных пар СОД ZH 40/48, ZV 40/48, MAN B&W 9L28/32 A-F была разработана технология, обеспечивающая более высокую износостойкость для обеспечения заданного срока службы. Для пары трения «игла – корпус распылителя» хромовое покрытие не обеспечивало ее приемлемый ресурс, поэтому для восстановления было использовано ионно-плазменное напыление нитридом титана на иглу.

Применение различных технологий позволило получать покрытия с различными химическим составом, механическими свойствами (см. таблицу), структурой и, соответственно, разной износостойкостью, обеспечив тем самым заданный срок службы трибоузла [10].

Все типы применяемых покрытий характеризуются существенно меньшим коэффициентом трения в условиях трения при граничной смазке. Отказы восстановленных пар наблюдались вследствие, как правило, износа неупрочненной сопряженной детали.

**Технико-экономические показатели новых
и восстановленных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей**

Наименование пары трения и тип (марка) дизеля	Тип покрытия плунжера / иглы	Механические свойства покрытия		Средняя наработка детали до отказа, тыс. ч	Отношение стоимости восстановленной детали к новой*, %
		Модуль упругости, Е·10 ⁵ Н/мм ²	Микротвердость, НВ		
Плунжерная пара МОД	Новая пара без покрытия	2,05	637	28,1	100
	Пористый хром	2,4	1043	26,6	25–30
Плунжерная пара СОД	Нет	2,05	637	22,0	–
	Пористый хром	1,97	965	21,6	30–40
	Нитрид титана	1,90	2364	25,8	≤ 60
Плунжерная пара СОД (ZH 40/48, ZV 40/48, MAN B&W 9L28/32 A-F)	Пористый хром + (вермикулит + хитозан)	1,95	1032	29,7	50–60
Игла – корпус распылителя форсунки	Новая пара без покрытия	1,27	801	–	100
Игла – корпус распылителя форсунки	Нитрид титана	1,84	2287	–	≤ 60

* — в ценах 2018 г.

Следует отметить, что динамическая гидроплотность пар и цикловая подача топлива плунжерными парами с износостойким покрытием плунжера остаются практически неизменными в течение более длительного времени (период стабильной динамической гидроплотности в среднем в 2–3 раза больше, чем для пар без покрытия) [11], что повышает их срок службы и эффективность работы дизеля. Таким образом, управление жизненным циклом восстанавливаемых деталей повышает эффективность эксплуатации морского флота благодаря их высокому качеству при значительно меньшей стоимости.

Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемая концепция управления жизненным циклом восстанавливаемой детали апробирована при восстановлении прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей.
2. Применение данной концепции позволяет стабильно работать предприятию, занимающемуся восстановлением ответственных дорогостоящих деталей, в условиях конкуренции и успешно продавать свои услуги.
3. Основным этапом жизненного цикла восстанавливаемой детали является технологический процесс, определяющий ее срок службы и стоимость восстановления.

4. Рациональный технологический процесс позволяет получать оптимальные механические и триботехнические свойства покрытий при приемлемой его стоимости и необходимом ресурсе трибоузла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерофеев В. С. Методы и технологии управления жизненным циклом сложных изделий и инженерных объектов / В. С. Ерофеев // Экономика высокотехнологичных производств. — 2020. — Т. 1. — № 2. — С. 53–62. DOI: 10.18334/evp.1.2.110966.

2. Лёсин И. А. Управление жизненным циклом изделия на предприятиях машиностроения (Product Lifecycle Management) / И. А. Лёсин, А. А. Дивненко // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы: сборник статей по материалам VIII Всероссийской межвузовской научно-практической конференции. — Пенза: Пензенский государственный университет, 2021. — С. 369–371.

3. Водин Д. В. Жизненный цикл машиностроительной продукции как один из факторов экономической эффективности / Д. В. Водин // Экономика, управление, финансы. материалы VI Международной научной конференции. Сер. «Молодой ученый» 2016. — Краснодар: Новация, 2016. — С. 26–28.

4. Евгеньев Г. Б. Методы и средства управления жизненным циклом изделий машиностроения / Г. Б. Евгеньев, Б. В. Кузьмин, В. И. Рубакина // Системы управления, связи и безопасности. — 2015. — № 4. — С. 198–216.

5. Петрушин С. И. Организация жизненного цикла изделий машиностроения / С. И. Петрушин, Р. Х. Губайдулина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 7. — С. 137–138.

6. Управление жизненным циклом изделия (концепция PLM) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.plm-ural.ru/resheniya/upravlenie-zhiznennym-tsiklom-izdeliya-konceptsiya-plm> (дата обращения: 27.03.2024).

7. Степошина С. В. Системы поддержки жизненного цикла изделия российских разработчиков / С. В. Степошина // Современное перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей Международной научно-технической конференции. — Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. — С. 384–388.

8. Кондусова В. Б. Разработка имитационной модели жизненного цикла сложных изделий машиностроения с длительным сроком эксплуатации на основе применения контракта жизненного цикла / В. Б. Кондусова, Д. В. Кондусов // Информационные технологии в проектировании и производстве. — 2019. — № 2 (174). — С. 30–34.

9. Распоряжение Правительства РФ от 28.10.2019 № 2553-р «Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/WlszzFJXA26YAXaOifb1H2KQqmi1D7S7.pdf> (дата обращения: 27.03.2024).

10. Леонтьев Л. Б. Повышение долговечности прецизионных деталей судовых дизелей формированием композиционных покрытий на поверхности плунжера / Л. Б. Леонтьев, А. Л. Леонтьев, К. А. Молоков // Морские интеллектуальные технологии. — 2023. — № 1–1 (59). — С. 73–80. DOI: 10.37220/MIT.2023.59.1.007.

11. Кучеров В. Н. Влияние износа плунжерных пар топливных насосов высокого давления на эксплуатационные показатели судовых дизелей / В. Н. Кучеров, Л. Б. Леонтьев, А. Л. Леонтьев // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. — 2021. — № 1 (46). — С. 49–62. DOI: 10.24866/2227-6858/2021-1-5.

REFERENCES

1. Erofeev, V. S. “Methods and technologies for managing the life cycle of complex products and engineering objects.” *Economy of high-tech enterprises* 1.2 (2020): 53–62. DOI: 10.18334/evp.1.2.110966.

2. Lesin, I. A., and A. A. Divnenko. “Upravlenie zhiznennym tsiklom izdeliya na predpriyatiyakh mashinostroeniya (product lifecycle management).” *Sbornik statei po materialam VIII Vserossiiskoi mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii Informatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii. Problemy i perspektivi*. Penza.: Izd-vo PGU, 2021. 369–371.

3. Vodin, D. V. “Zhiznennyi tsikl mashinostroitel’noi produktsii kak odin iz faktorov ekonomicheskoi effektivnosti.” *Ekonomika, upravlenie, finansy. materialy VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. Ser. “Molodoi uchenyi”* 2016. Krasnodar: Novatsiya, 2016. 26–28.
4. Evgenev, G. B., B. V. Kuzmin, and V. I. Rubakhina. “Methods and tools for product lifecycle management in mechanical engineering.” *Systems of Control, Communication and Security* 4 (2015): 198–216.
5. Petrushin, S. I., and R. X. Gubaidulina. “Organizatsiya zhiznennogo tsikla izdelii mashinostroeniya.” *International journal of applied and fundamental research* 7 (2014): 137–138.
6. Upravlenie zhiznennym tsiklom izdeliya (kontseptsiya PLM). Web. 27 March 2024 <<https://www.plm-ural.ru/resheniya/upravlenie-zhiznennym-tsiklom-izdeliya-koncepciya-plm>>.
7. Steposhina, S. V. “Product lifecycle support systems of Russian developers.” *Sovremennoe perspektivnoe razvitie nauki, tekhniki i tekhnologii. Sbornik nauchnykh statei Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2023. 384–388.
8. Kondusova, V. B., and D. V. Kondusov. “Development of a simulation model of the life cycle of complex engineering products with a long service life based on the application of a life cycle contract.” *Information technology of CAD/CAM/CAE* 2(174) (2019): 30–34.
9. Rasporyazhenie Pravitel’sтва RF ot 28.10.2019 № 2553-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya sudostroitel’noi promyshlennosti na period do 2035 goda». Web. 27 March 2024 <<http://static.government.ru/media/files/WlszzFJXA26YAXaOifb1H2KQqmi1D7S7.pdf>>.
10. Leont’ev, L. B., A. L. Leont’ev, and K. A. Molokov. “Increasing the durability of precision parts of marine diesel engines by forming composite coatings on the surface of the plunger.” *Marine Intelligent Technologies* 1–1(59) (2023): 73–80. DOI: 10.37220/MIT.2023.59.1.007.
11. Kucherov, V., L. Leont’ev, and A. Leont’ev. “Influence of wear of high-pressure fuel pump plunger pairs on the performance of marine diesel engines.” *FEFU: School of Engineering Bulletin* 1(46) (2021): 49–62. DOI: 10.24866/2227-6858/2021-1-5.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Леонтьев Лев Борисович —
доктор технических наук, профессор
Морской государственный университет
им. адм. Г. И. Невельского
600003, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, 50а
e-mail: leontyev.l.b@yandex.ru
Леонтьев Андрей Львович —
кандидат технических наук, директор
ДВЦ «ДальРАО» — филиал ФГУП «Радон»
690013, Российская Федерация, г. Владивосток,
ул. Флотская 1-я, д. 39А
e-mail: gfi25leontev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Leont’ev, Lev B. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Maritime State University
named after adm. G. I. Nevelsky
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 600003,
Russian Federation
e-mail: leontyev.l.b@yandex.ru
Leont’ev, Andrey L. —
PhD, director
DVC “DalRAO” — branch of FSUE “Radon”
39A Flotskaya Str., Vladivostok, 690013,
Russian Federation
e-mail: gfi25leontev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 3 июля 2024 г.
Received: July 3, 2024.