

## MODEL OF THE LIFE CYCLE OF AN AUTOMATED TUGBOAT IN THE SYSTEM OF AUTONOMOUS SHIP GUIDING AND MOORING IN A SEAPORT

Ya. V. Burylin<sup>1</sup>, S. S. Zhuk<sup>1</sup>, A. A. Butsanets<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Admiral Ushakov Maritime University, Novorossiysk, Russian Federation

<sup>2</sup> Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup> Russian Maritime Register of Shipping, St. Petersburg, Russian Federation

*This paper presents a conceptual life cycle model of an automated tugboat (AT) operating within a system that provides autonomous ship guiding and mooring in a seaport. Existing approaches to modeling the life cycle of technical systems are analyzed, with particular attention to the specific features of autonomous maritime vessels. Special emphasis is placed on the operational phase, which fundamentally differs from that of conventional tugboats due to the absence of an onboard crew and fully automated operation. Six core systems ensuring AT functionality are identified: the automatic navigation system, situational awareness system, technical systems control and monitoring system, communication system, propulsion system, power supply system, and rigid coupling systems designed for connection with both transport vessels and other automated tugboats. Five main measures for ensuring failure-free operation are defined: preventive maintenance, operability monitoring, functional testing, predictive maintenance, and corrective maintenance. Based on an analysis of six possible operational states of ATs — readiness, active operation, standby, emergency, recovery, and charging — the study establishes dependencies between these states and permissible maintenance activities. A generalized conceptual life cycle model of the automated tugboat is proposed, aimed at improving reliability and safety during autonomous port operations. The results can be applied in the design, operation, and certification of autonomous tugboats and may support the development of standards and regulations for autonomous maritime systems.*

*Keywords: automated tugboat, autonomous guiding support, autonomous mooring support, life cycle, operation, maintenance, automatic navigation system, situational awareness system, reliability, modeling, autonomous navigation.*

### For citation:

Burylin, Yaroslav V., S. S. Zhuk and A. A. Butsanets. "Model of the life cycle of an automated tugboat in the system of autonomous ship guiding and mooring in a seaport." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.5 (2025): 717–727. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-717-727.

УДК 656.61.052

## МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА БУКСИРА-АВТОМАТА В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ПРОВОДКИ И ШВАРТОВКИ СУДОВ В МОРСКОМ ПОРТУ

Я. В. Бурьлин<sup>1</sup>, С. С. Жук<sup>1</sup>, А. А. Буцанец<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Российская Федерация

<sup>2</sup> ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, Российский морской регистр судоходства

*В статье представлена концептуальная модель жизненного цикла буксира-автомата в системе обеспечения автономной проводки и швартовки судов в морском порту. Выполнен анализ существующих подходов к моделированию жизненного цикла технических систем, при этом внимание акцентировано на специфике автономных морских средств. Особое внимание уделено эксплуатационному этапу жизненного цикла, отличающемуся от традиционных буксиров отсутствием экипажа и функционированием в автоматическом режиме. Рассмотрены семь ключевых систем буксира-автомата, обеспечивающих его работоспособность: автоматическая навигационная система, система ситуационной осведомленности,*

система контроля и управления техническими средствами, система связи, пропульсивная система, система энергообеспечения, а также системы жесткой сцепки с транспортным судном и другими буксирами-автоматами. Определены пять основных мероприятий по обеспечению безотказной эксплуатации: профилактика, контроль работоспособности, функциональное тестирование, прогнозирующее и корректирующее техническое обслуживание. На основе анализа шести возможных состояний буксиров-автоматов (готовность, рабочее, простой, аварийное, восстановление, зарядка) установлены зависимости между состояниями и допустимыми мероприятиями технического обслуживания. Предложена обобщенная концептуальная модель жизненного цикла буксира-автомата, ориентированная на повышение надежности и безопасности автономных операций в портовой зоне. Отмечается, что результаты исследования могут быть использованы при проектировании, эксплуатации и сертификации автономных буксиров, а также при разработке стандартов и регламентов для систем автономного судоходства.

**Ключевые слова:** буксир-автомат, обеспечение автономной проводки, обеспечение автономной швартовки, жизненный цикл, эксплуатация, техническое обслуживание, автоматическая навигационная система, система ситуационной осведомленности, безотказная работа, моделирование, автономное судоходство.

**Для цитирования:**

Бурылин Я. В. Модель жизненного цикла буксира-автомата в системе обеспечения автономной проводки и швартовки судов в морском порту / Я. В. Бурылин, С. С. Жук, А. А. Буцанец // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 5. — С. 717–727. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-5-717-727. — EDN LLIQKU.

## Введение (Introduction)

Развитие технологий автономного судоходства обуславливает необходимость создания новых подходов к проектированию, эксплуатации и обслуживанию автоматизированных судов, включая буксиры-автоматы (БА). Актуальной задачей является разработка комплексной модели жизненного цикла таких судов, учитывающей их специфику и особенности функционирования в составе системы обеспечения автономной проводки и швартовки судов в морских портах.

Жизненный цикл (ЖЦ) технической системы представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов изменения ее состояния от проектирования до вывода из эксплуатации. Для БА особенно важным является этап эксплуатации, требующий специального подхода к обеспечению надежности и безопасности функционирования в автоматическом режиме.

Существуют различные определения термина «жизненный цикл» [1], а модель полного ЖЦ отдельного объекта представляет собой описание последовательности всех этапов его существования от замысла и появления («рождения») до исчезновения («отмирания»). При этом большинство определений модели полного ЖЦ имеют два общих свойства:

1) структура (состав этапов) модели ЖЦ не зависит от того, какой объект описывается, т. е. модель ЖЦ инвариантна по отношению к изменению типа объекта, отрасли и т. д., что делает ее универсальной и широко применимой;

2) в жизни в любой момент времени реально существует только процесс деятельности конкретных агентов, направленный на создание конкретных результатов и этот исходный первичный реальный процесс полностью описан потоками моделей ЖЦ.

Остальные типы моделей являются вторичным описанием удобных для решения задач искусственно сконструированных надстроек над реальным процессом [2].

Целью исследования является разработка концептуальной модели жизненного цикла БА и схемы его технического обслуживания.

## Методы и материалы (Methods and Materials)

В классическом понимании ЖЦ системы — это набор стадий процессов, которые описывают с заданной ранее подробностью различные состояния системы, начиная с момента ее проектирования, материальной реализации и заканчивая полным выводом из эксплуатации или утилизации.

Типовые модели ЖЦ описаны в отраслевых стандартах<sup>1,2,3</sup>. На основе результатов анализа этих документов выполнена группировка моделей жизненного цикла и их стадий по признакам характерных для них явлений, процессов (работ) или запланированных конечных результатов, т. е. по *объектному принципу*, и выделены следующие направления:

- ЖЦ технических систем (устройств, компонентов) в целом;
- ЖЦ программного обеспечения (средств) и информационных технологий;
- ЖЦ применяемых технологий;
- ЖЦ автоматических (автоматизированных) комплексов и систем;
- ЖЦ управления стоимостью;
- ЖЦ при взаимодействии с внешней природной или природно-технической средой и др.

В разд. 33 Правил классификации и постройки морских судов<sup>4</sup> даны следующие определения: *«Жизненный цикл — совокупность взаимосвязанных процессов изменения состояния объекта при его проектировании, создании, эксплуатации, ремонте и утилизации»* и в п. 33.8.3: *«Этапы жизненного цикла — не предполагают в качестве обязательного требования использования единой методологии жизненного цикла автономного судна, а предполагают, что разработчик такого судна самостоятельно выбирает совокупность правил, принципов, идей, понятий, методов и средств, определяющих способ разработки, создания и применения, стадий / этапов жизненного цикла, процессов взаимодействия заинтересованных сторон и т. д.»*.

В обобщенном виде стадии и процессы жизненного цикла включают: маркетинговые исследования, выполнение научно-исследовательских работ, опытно-конструкторские работы и проектирование; проведение испытаний; проектирование, планирование и технологическую проработку процессов изготовления продукции; материально-техническое снабжение; закупку материалов и комплектующих изделий; подготовку к производству; производство (изготовление) конечного продукта; испытания и приемку конечного продукта; продажу конечного продукта; монтаж, наладку и подготовку к эксплуатации конечного продукта; эксплуатацию конечного продукта, техническое обслуживание и ремонт; планирование материально-технического (ресурсного) снабжения (обеспечения) при эксплуатации; капитальный или восстановительный ремонт, модернизацию; подготовку к продаже или передаче; утилизацию или переработку. При этом следует уточнить, что стадии жизненного цикла могут относиться как к материальным объектам БА, так и к применяемым информационным технологиям.

Формализация этапов ЖЦ в большинстве случаев осуществляется по временным признакам или контрольным точкам, предусматривающим достижение каких-либо проектных результатов или характеристик процесса. Согласно п. 9 «Технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта», утв. Постановлением Правительства РФ от 12 августа 2010 г. № 623) *«Жизненный цикл судна (судового технического средства) — это совокупность взаимосвязанных процессов последовательного изменения состояния судна (судового технического средства) от формирования исходных требований к нему до окончания его эксплуатации или применения»*.

В научной литературе ЖЦ БА рассматривается фрагментарно. Например, в работе [3] предложена новая структура управления рисками жизненного цикла, где судно рассматривается как интегрированная сложная система, которая может меняться на протяжении всего своего жизненного цикла. Основное внимание уделяется повышению адаптивной способности системы реагировать на меняющуюся динамику и справляться с неизвестными и возникающими угрозами безопасности. Кроме того, во избежание потенциального смещения проблем между этапами жизненного

<sup>1</sup> ГОСТ Р 57193–2016. — С. 5; ГОСТ Р 57098–2016/ 150/IECTR 24774:2010. Системная и программная инженерия. Управление жизненным циклом: Руководство для описания процесса. М., 2016. 19 с.

<sup>2</sup> Берг Д. Б. Модели жизненного цикла: учеб. пособие / Д. Б. Берг, Е. А. Ульянова, П. В. Добряк. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 74 с.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 53791–2023. Ресурсосбережение. Стадии жизненного цикла изделий производственно-технического назначения. Общие положения. М., 2023.

<sup>4</sup> Правила классификации и постройки морских судов (ч. XVII) от 01.07.2024 НД № 2–020101–174. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2024. 400 с.

цикла, рассматриваются взаимодействия между факторами риска и его распространением. В этом контексте предлагается изменить систему обеспечения безопасности навигации на *адаптируемую к динамической среде* для реагирования на возникающие угрозы.

В работе [4] рассмотрена применимость 29 методов анализа опасностей для автономных судов, включая требования к безопасности систем и критерии оценки, основанные на характеристиках автономных судов, установленные с использованием подхода системной инженерии. Сделан вывод о том, что традиционные методы анализа опасностей, основанные на цепочке непосредственно связанных событий отказа или отказов компонентов, не могут обеспечить адекватную защиту автономных судов. Авторы работы [4] предлагают на этапе эксплуатации использовать системно-теоретический анализ процессов, который определяет различные критерии оценки технического состояния и работоспособности.

DNV GL предлагает использовать цифрового двойника, т. е. цифровое представление ключевых элементов автономного судна, в качестве ключевого инструмента для имитационного тестирования [5–7]. Цифровой двойник содержит комплексные математические модели судна и его оборудования, включая все датчики и исполнительные механизмы. Полная имитационная тестовая система, дополняющая цифрового двойника, должна состоять из виртуального мира для моделирования условий окружающей среды, географической информации и взаимодействия с другим морским трафиком. Наконец, тестовая система должна включать систему управления тестированием, которая контролирует моделирование цифрового двойника и виртуального мира, генерирует тестовые сценарии, а также оценивает результаты тестовых сценариев. Автоматический инструмент генерации сценариев должен искать низкую производительность и в конечном итоге устанавливать достаточный охват возможного пространства сценариев. Оценка тестового сценария должна автоматически учитывать безопасность, соответствие МППСС-72 и, возможно, также эффективность маршрута судна.

В работе [8] рассматривается проблема анализа данных автоматической идентификационной системы (АИС) с целью выделения типовых ситуаций встречи судов в море и выявления действий судоводителей по расхождению в таких ситуациях. Эта проблема является актуальной в связи с необходимостью наличия собственной базы эталонных действий для тестирования систем автономного судовождения (САС), интерес к разработке которых возрастает в связи с созданием морских автономных надводных судов (МАНС).

Таким образом, в большинстве источников научной литературы описано решение частных задач функционирования судна, его взаимодействия с другими судами или их системы управления [5–10]. В общем виде модель функционирования БА на этапе эксплуатации жизненного цикла представляет собой сравнительно малое скопление судов, управляемых из единого центра. В такой парадигме каждый БА является элементом системы обеспечения автономной проводки и швартовки судов (СОАПШ). В этом случае СОАПШ является системой верхнего уровня для рассматриваемых в данной работе объектов исследования. Задача по разработке модели жизненного цикла БА инвариантна в СОАПШ судов в морском порту, поскольку эксплуатационный период жизненного цикла является типовым.

В процессе рассмотрения различных моделей жизненного цикла применительно к БА и сравнения их традиционными буксирами, было выявлено, что большинство стадий и процессов не имеет существенных отличий за исключением этапа эксплуатации. При этом главным различием является отсутствие экипажа на борту БА и его работа в автоматическом или полуавтоматическом режиме. На рис. 1 в графическом виде представлены этапы жизненного цикла БА.

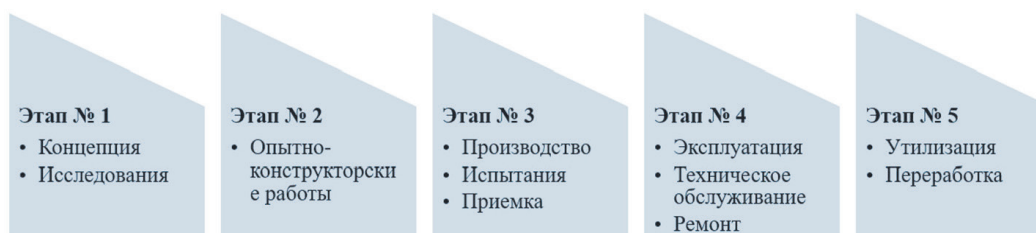


Рис. 1. Основные этапы жизненного цикла БА



В то же время каждый БА является *метасистемой* для систем, обеспечивающих его безотказную эксплуатацию. Представляется, что каждый БА обладает типовыми характеристиками, свойствами и состояниями во время эксплуатационного жизненного цикла (рис. 2).

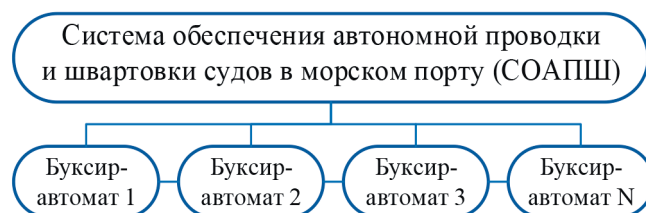


Рис. 2. Метасистема СОАПШ в синтезе с БА

Таким образом, целесообразно начать построение модели с определения мероприятий, направленных на безотказную работу БА и типовых состояний на этапе эксплуатации жизненного цикла, основными из которых являются профилактика, контроль работоспособности, функциональное тестирование, прогнозирующее техническое обслуживание, корректирующее техническое обслуживание.

Затем необходимо выделить основные системы, обеспечивающие функционирование БА:

1. Автоматическая навигационная система (АНС).
2. Система ситуационной осведомленности (ССО).
3. Система контроля и управления техническими средствами (СКУТС).
4. Система связи.
5. Пропульсивная система (ВРК).
6. Система энергообеспечения.
7. Система жесткой сцепки к транспортному судну и к месту стоянки.
8. Система жесткой сцепки с другим БА.

Синтез основных мероприятий, обеспечивающих безотказную работу БА и его систем, позволил составить *обобщенную модель жизненного цикла*. С учетом проанализированных стандартов составлена таблица, в которой сформулированы мероприятия, направленные на обеспечение безотказной эксплуатации, с описанием выполняемых действий.

Согласно рассмотренным в работе [5] графам состояния БА СОАПШ, на этапе эксплуатации жизненного цикла были проанализированы функциональные свойства основных систем, отвечающих за его функционирование. Затем была выполнена декомпозиция основных систем БА, к которым необходимо применить мероприятия для обеспечения их безотказной эксплуатации по шести состояниям. В результате была получена следующая таблица, в которой отображена возможность выполнения одной из мер обеспечения безотказной эксплуатации систем в заданный момент состояния БА.

#### Обеспечительные мероприятия безотказной эксплуатации

№ п/п.	Название	Выполняемые действия
1	Профилактика (работы выполняются персоналом или в автоматизированном режиме)	Визуальный осмотр в соответствии с установленным планом; инструментальная диагностика в соответствии с установленным планом; фиксация результатов в электронном журнале; выдача рекомендаций по дополнительной диагностике; выдача рекомендаций по техническому обслуживанию.
2	Контроль работоспособности	Автоматическая проверка работоспособности системы, всех ее функций по принципу обязательного отклика («работает» — «не работает»); фиксация результатов в электронном журнале; выдача рекомендаций по техническому обслуживанию; выдача рекомендаций по настройке или обновлению программного обеспечения.

Окончание таблицы

3	Функциональное тестирование	Решение тестовых задач; сравнение решений тестовых задач и эталонных решений; предварительное тестирование «новых кейсов», или новых технологических схем; машинное обучение интеллектуальных систем (при их наличии); фиксация результатов в электронном журнале; выдача рекомендаций по техническому обслуживанию; выдача рекомендаций по настройке или обновлению программного обеспечения.
4	Прогнозирующее техническое обслуживание	Плановое техническое обслуживание, плановый ремонт
5	Корректирующее техническое обслуживание	Внеплановое техническое обслуживание, внеплановый ремонт

В процессе заполнения таблицы была проанализирована возможность профилактики для АНС БА. При этом учитывалось, что в состоянии *готовности* к эксплуатации кратковременная профилактика возможна, если она не создает препятствий для перехода в *рабочее состояние*. Например, визуальный осмотр или дистанционная инструментальная диагностика, которые могут быть остановлены в любой момент времени без ущерба для систем и позволяют выполнить моментальный переход в рабочий режим. При этом в *рабочем состоянии* БА меры обеспечения безотказной эксплуатации не могут быть применены для АНС БА, поскольку БА участвует в операции сопровождения транспортного судна, а его системы функционируют и самодиагностируются (например, в случае кратковременной невозможности местоопределения ошибка вносится в электронный журнал).

В режиме *простой*, когда СОАПШ не может проводить операции сопровождения транспортных судов вследствие административного запрета, погодных условий или иных ограничений на проведение подобных операций в акватории порта, процессы удержания судов у причалов продолжаются, и имеется возможность проведения таких мероприятий, как профилактика, контроль работоспособности и функциональное тестирование. В *аварийном состоянии* эксплуатационного этапа жизненного цикла, когда СОАПШ не может обеспечивать полную функциональность БА вследствие выхода из строя или некорректной работы ее компонентов, возможны все виды обеспечительных мер в случае, если авария не связана с выходом из строя непосредственно БА. В случаях, когда переход в аварийное состояние произошел по вине БА, профилактические проверки проводить нецелесообразно и следует переходить к корректирующему техническому обслуживанию. Данное состояние граничит с *состоянием восстановления*. В этом состоянии БА должно быть предусмотрено применение любых обеспечительных мер в необходимой последовательности. Состояние *зарядки* эксплуатационного этапа жизненного цикла не может сопровождаться мероприятиями для обеспечения безотказной эксплуатации.

### Результаты и их обсуждение (Results)

Предложена концептуальная модель жизненного цикла БА, учитывающая специфику его функционирования в системе обеспечения автономной проводки и швартовки судов (рис. 3).

В схеме технического обслуживания БА, приведенной на рис. 4, выделены основные системы БА, требующие постоянного контроля и обслуживания, а именно: автоматическая навигационная система (АНС), система ситуационной осведомленности (ССО), система контроля и управления техническими средствами (СКУТС) и др. Определены ключевые мероприятия по обеспечению безотказной эксплуатации БА: профилактика, контроль работоспособности, функциональное тестирование, прогнозирующее и корректирующее техническое обслуживание. Установлены зависимости между состояниями БА и возможностью выполнения обеспечительных мероприятий, что позволяет оптимизировать процесс технического обслуживания. Предложена схема взаимодействия компонентов системы обеспечения автономной проводки и швартовки судов, включающая центр дистанционного управления и пункт технического обслуживания.

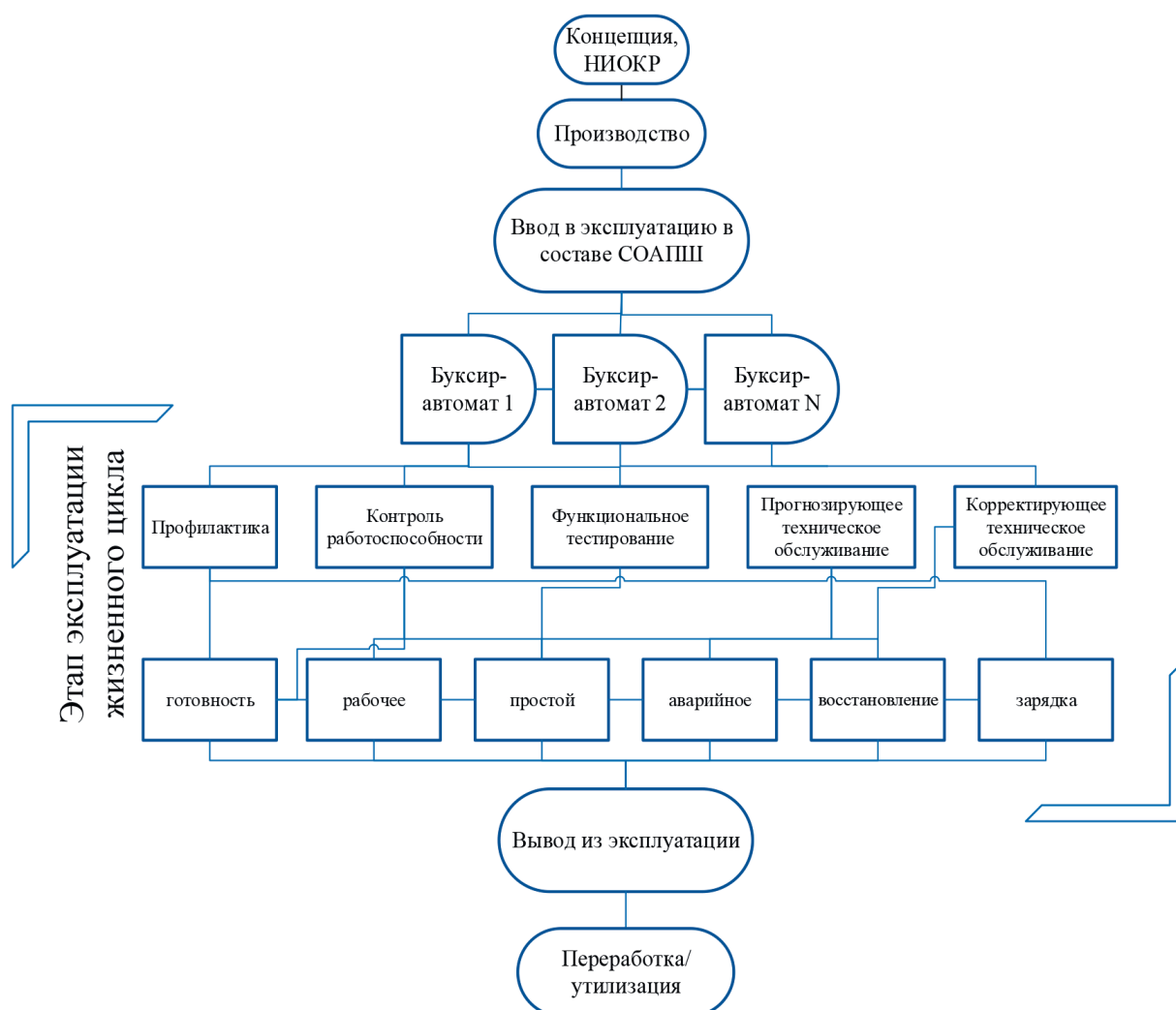


Рис. 3. Концептуальная модель жизненного цикла БА

Дальнейшие исследования могут быть направлены на совершенствование методов диагностики и прогнозирования технического состояния БА, а также на развитие методов искусственного интеллекта для автоматизации процессов технического обслуживания. Разработанная и представленная на рис. 3 концептуальная модель жизненного цикла учитывает рассмотренные в других разделах исследования системы БА, а также принципиальную схему взаимодействия БА с ЦДУ и сервисной службой, которая выполняет техническое обслуживание систем и устройств БА, а также ремонты, проведение которых возможно на месте стоянки БА.

В рамках сформированной концепции модели жизненного цикла предполагается, что системы БА с заданной дискретностью будут передавать первичные сигналы измерительной информации в систему контроля и управления ТС (СКУТС). Затем преобразованные в СКУТС сигналы с помощью системы связи передаются в центр дистанционного управления (ЦДУ). Часть этих данных может быть записана в судовой, машинный или другие журналы (при наличии требований их ведения).

В ЦДУ (см. рис. 4) осуществляется отображение текущего состояния бортовых систем БА, а также хранение информации и ее постобработка для решения задач диагностики, прогнозирования отказов, планирования внеочередного техобслуживания в целях предупреждения аварийных отказов и обеспечения заданного уровня безопасности судоходства. Необходимое сопоставление однотипных БА между собой позволиткратно увеличить объем информации и получать достоверную информацию о техническом состоянии систем БА за меньший промежуток времени.

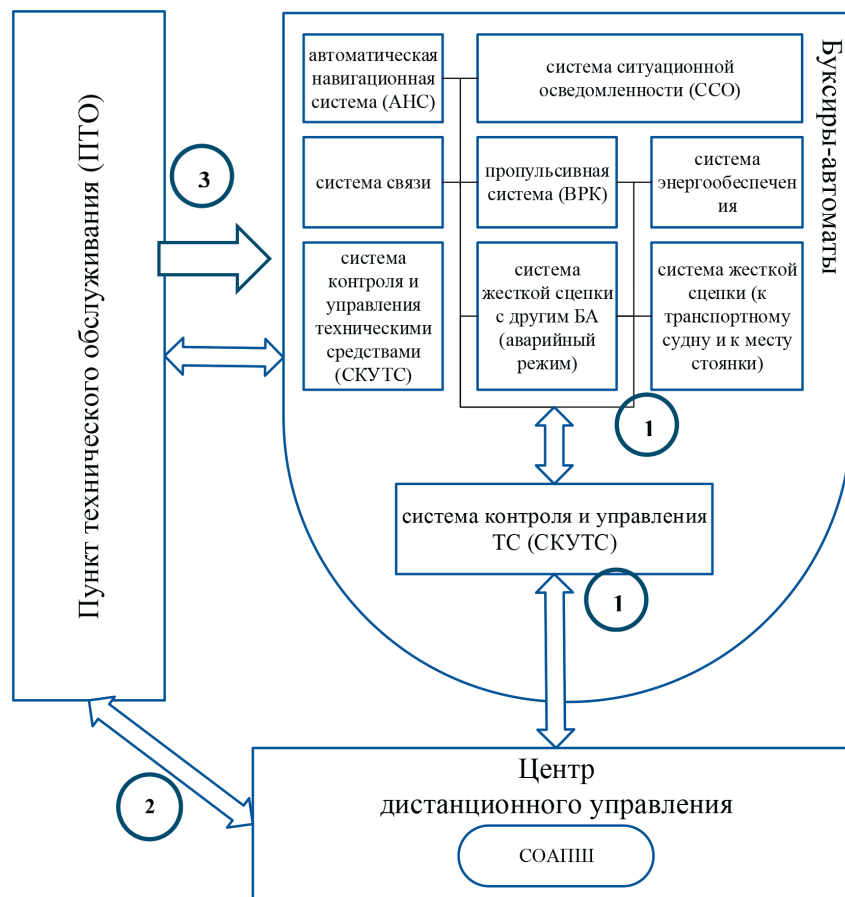


Рис. 4. Схема технического обслуживания БА в СОАПШ:  
1 — системы БА — СКУТС БА — информация о состоянии;  
СКУТС БА — системы БА — команды на тестирование и эксплуатацию;  
СКУТС БА — ЦДУ — информация о состоянии БА;  
ЦДУ — СКУТС БА — команды на тестирование и эксплуатацию;  
2 — ЦДУ — ПТУ — задания на техническое обслуживание БА;  
ПТУ — ЦДУ — отчеты о техническом обслуживании БА;  
3 — ПТУ — БА — техническое обслуживание и ремонт БА

В случае выявления ЦДУ потребности в техобслуживании (как в автоматизированном режиме, так и оператором) соответствующая команда с описанием ситуации и задач направляется в пункт технического обслуживания (ПТО), где подготовленный персонал выполняет необходимые работы.

### Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная концептуальная модель жизненного цикла БА формирует системный подход к решению задачи по обеспечению безопасности судоходства в условиях автономной работы [11–14] в акватории порта.
2. Учет специфики отсутствия экипажа, интеграции с портовой инфраструктурой и взаимодействия в составе метасистемы СОАПШ делает модель применимой при предпроектном проектировании для прогнозирования возможности эксплуатации современных автономных технических средств.
3. Установленные зависимости между состояниями БА и возможными мероприятиями технического обслуживания позволяют оптимизировать процессы диагностики, ремонта и профилактики, минимизируя простои и повышая общую надежность системы.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лещинский А. П.* Полный жизненный цикл корабля. Ресурсно-процессный подход / А. П. Лещинский // Вооружение и экономика. — 2020. — № 3(53). — С. 38–42. — EDN YLAAUF.
2. *Заслонов В. В.* Проблема группового расхождения автономных судов в акватории порта / В. В. Заслонов, А. А. Головина // Морские интеллектуальные технологии. — 2024. — № 3–1(65). — С. 269–277. DOI: 10.37220/MIT.2024.65.3.050. — EDN GSTZAP.
3. *Епихин А. И.* Проблемы внедрения безэкипажных судов на основе статистических исследований аварийных ситуаций и потерь судов / А. И. Епихин, М. А. Модина // Морские интеллектуальные технологии. — 2021. — № 3–1(53). — С. 77–82. DOI: 10.37220/MIT.2021.53.3.010. — EDN IKWJXK.
4. *Биденко С. И.* О концептуальном облике буксира-автомата для работы в буксирном порядке или «стае» / С. И. Биденко, В. Г. Сенченко, А. Б. Васильев // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. — 2021. — № 1–1. DOI: 10.52899/978-5-88303-611-7\_170. — EDN MQZWRV.
5. *Смоленцев С. В.* Структурный анализ системы обеспечения автономной проводки и швартовки судов через графы состояний / С. В. Смоленцев, А. В. Брыляков, В. Г. Сенченко, А. А. Буцанец // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 79. — С. 4–13. — EDN CQXSLE.
6. *Таровик О. В.* Обзор развития теории проектирования судов и обсуждение перспектив создания цифровых проектных решений / О. В. Таровик // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 79. — С. 124–136. — EDN PELJHW.
7. *Таровик О. В.* Концепция и программная реализация цифрового двойника проекта судна на ранних стадиях проектирования / О. В. Таровик, А. В. Косоротов, М. О. Матаруев [и др.] // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 80. — С. 137–155.
8. *Заслонов В. В.* Автоматическая идентификация и распределение ресурсов буксирного обеспечения при автономной проводке и швартовке транспортных судов / В. В. Заслонов, С. С. Жук // Морские интеллектуальные технологии. — 2025. — № 1–1(67). — С. 105–116. DOI: 10.37220/MIT.2025.67.1.013. — EDN KQVYUO.
9. *Айзинов С. Д.* Принципы оценки функциональных свойств систем автономного судовождения / С. Д. Айзинов, А. А. Буцанец, С. В. Смоленцев [и др.] // Научно — технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2024. — № 74. — С. 83–96. — EDN HNHFAA.
10. *Burylin I. V.* Interface for indication and remote control of an unmanned vessel in automatic and manual modes / I. V. Burylin // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 2061. — Is. 1. — Pp. 012074. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012074. — EDN FWSZAF.
11. *Karetnikov V.* Development of Methods for Maneuvering Trials of Autonomous Ships in Test Water Area / V. Karetnikov, E. B., A. I. A. Ol'khovik // Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020 — Springer Nature Singapore, 2021. — С. 40–46. — EDN PHCRQD.
12. *Каретников В. В.* К вопросу разработки основных концептуальных положений системы дистанционного управления техническим флотом / В. В. Каретников, С. В. Рудых, А. А. Буцанец // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 2. — С. 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-7-15. — EDN KFIHYI.
13. *Karetnikov V.* Simulation of Maneuvering Trials of an Unmanned or Autonomous Surface Ship on a Navigation Simulator / V. Karetnikov, E. B., A. I., A. Ol'Khovik // Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020 — Springer Nature Singapore, 2021. — С. 146–156. — EDN JJVLQH.
14. *Заслонов В. В.* Разработка основных требований к системам функционирования буксира-автомата для проводки морского автономного надводного судна / В. В. Заслонов, С. С. Жук, Е. О. Ольховик // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 4. — С. 502–514. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-4-502-514. — EDN EYXMDP.

## REFERENCES

1. Leschinskiy, A. P. “The overall ship life cycle. resource-process approach.” *Vooruzhenie i ekonomika* 3(53) (2020): 38–42.

2. ZaslonoV, V. V. and A. A. Golovina. "The problem of group divergence of autonomous vessels in the port waters." *Marine intellectual Technologies* 3–1(65) (2024): 269–277. DOI: 10.37220/MIT.2024.65.3.050.
3. Epikhin, A. I. and M. A. Modina. "Problems of introducing unmanned vessels on the basis of statistical studies of emergencies and ship losses." *Marine intellectual Technologies* 3–1(53) (2021): 77–82. DOI: 10.37220/MIT.2021.53.3.010.
4. Bidenko, S. I., V. G. Senchenko and A. B. Vasil'ev. "About the conceptual appearance of the automatic tow for work in a towing order or "pack"." *Nedelya nauki Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnicheskogo universiteta* 1–1 (2021): 1–1. DOI: 10.52899/978-5-88303-611-7\_170.
5. Smolentsev, S. V., A. V. Brylyakov, V. G. Senchenko and A. A. Butsanets. "Structural analysis of the system of autonomous ship navigation and mooring through state graphs." *Research Bulletin By Russian Maritime Register of Shipping* 79 (2025): 4–13.
6. Tarovik, O. V. "Review of the evolution of ship design theory and discussion of the prospects of digital design solutions." *Research Bulletin By Russian Maritime Register of Shipping* 79 (2025): 124–136.
7. Tarovik, O. V., A. B. Krest'yantsev, et al. "Concept and software implementation of a digital sibling of a ship at early design stages." *Research Bulletin By Russian Maritime Register of Shipping* .80 (2025): 137–155.
8. ZaslonoV, V. V. and S. S. Zhuk. "Automatic identification and allocation of towing resources for autonomous wiring and mooring of transport vessels." *Marine intellectual Technologies* 1–1(67) (2025): 105–116. DOI: 10.37220/MIT.2025.67.1.013.
9. Ayzinov, S. D., A. A. Butsanets et al. "Principles for assessing the functional properties of systems for autonomous shipping." *Marine intellectual Technologies* 74 (2024): 83–96.
10. Burylin, I. V. "Interface for indication and remote control of an unmanned vessel in automatic and manual modes." *Journal of Physics: Conference Series* 2061.1 (2021): 012074. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012074.
11. Karetnikov, V. and E. B., A. I., A. Ol'khovik. "Development of Methods for Maneuvering Trials of Autonomous Ships in Test Water Area." *Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020* Springer Nature Singapore, 2021: 40–46.
12. Karetnikov, V. V., S. V. Rudykh and A. A. Butsanets. "On the issue of developing conceptual statements of technical fleet remote control system." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2019): 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-7-15.
13. Karetnikov, V. and E. B., A. I., A. Ol'Khovik. "Simulation of Maneuvering Trials of an Unmanned or Autonomous Surface Ship on a Navigation Simulator." *Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020* Springer Nature Singapore, 2021: 146–156.
14. ZaslonoV, V. V., S. S. Zhuk and E. O. Ol'khovik. "Development of main requirements for the operating systems of an automatic tugboat for escorting a maritime autonomous surface ship." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 17.4 (2025): 502–514. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-4-502-514.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Бурьлин Ярослав Васильевич** —

научный сотрудник научно-исследовательской  
лаборатории «Автоматизация судовождения»  
«Государственный морской университет  
имени адм. Ф. Ф. Ушакова»  
353924, Российская Федерация, г. Новороссийск,  
проспект Ленина, 93.  
e-mail: y.burylin@gmail.com

**Сергей Сергеевич Жук** —

мл. научный сотрудник научно-исследовательской  
лаборатории «Автоматизация судовождения»  
«Государственный морской университет имени  
адм. Ф. Ф. Ушакова»,  
353924, Российская Федерация, г. Новороссийск,  
проспект Ленина, 93.  
e-mail: serzh.zhuk.99@mail.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Yaroslav V. Burylin** —

researcher of the research laboratory  
"Automation of Navigation"  
Admiral Ushakov State  
Maritime University  
93, Lenin's avenue, Novorossisk, 353924,  
Russian Federation  
e-mail: y.burylin@gmail.com

**Sergei S. Zhuk** —

researcher of the research laboratory  
"Automation of Navigation"  
Admiral Ushakov State  
Maritime University  
93, Lenin's avenue, Novorossisk, 353924,  
Russian Federation  
e-mail: serzh.zhuk.99@mail.ru

**Буцанец Артем Александрович —**

кандидат технических наук,  
начальник отдела НТИ и ИС  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
Ответственный редактор научно-технического  
сборника РС «Управление  
научно-исследовательской деятельности  
и инжиниринга»  
Федеральное автономное учреждение  
«Российский морской регистр судоходства»  
191186, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Миллионная, д. 7, литера А  
e-mail: [butsanetsaa@gumrf.ru](mailto:butsanetsaa@gumrf.ru),  
[butsanets.aa@rs-class.org](mailto:butsanets.aa@rs-class.org)

**Butsanets, Artem A. —**

PhD in Technical Sciences,  
Head of the Department  
Admiral Makarov State  
University of Maritime and Inland Shipping.  
5/7 Dvinskaya Str.,  
St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
Editor-in-chief of the scientific  
and technical collection RS  
Research and Engineering Department  
Russian Maritime Register of Shipping  
7-A, Millionnaya str.,  
Saint-Petersburg,  
Russian Federation, 191186  
e-mail: [butsanetsaa@gumrf.ru](mailto:butsanetsaa@gumrf.ru),  
[butsanets.aa@rs-class.org](mailto:butsanets.aa@rs-class.org)

*Статья поступила в редакцию: 10 сентября 2025 г.*

*Received: Sep. 10, 2025.*