



БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 656.61.052
EDN CQXSLE

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОЙ ПРОВОДКИ И ШВАРТОВКИ СУДОВ ЧЕРЕЗ ГРАФЫ СОСТОЯНИЙ

С.В. Смоленцев, д-р техн. наук, профессор, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035 Россия, Санкт-Петербург, Двинская ул., 5/7, e-mail: SmolencevSV@gumrf.ru

А.В. Брыляков, мл. науч. сотр., Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924 Россия, Новороссийск, пр. Ленина, 93, e-mail: brylyakov99@inbox.ru

В.Г. Сенченко, канд. техн. наук, профессор, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 353924 Россия, Новороссийск, пр. Ленина, 93, e-mail: victor.senchenko@mail.ru

А.А. Буцанец, канд. техн. наук, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035 Россия, Санкт-Петербург, Двинская ул., 5/7, e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru; Российский морской регистр судоходства, 191186 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: butsanets.aa@rs-class.org

В данной работе рассматриваются модели состояний системы обеспечения автономной проводки и швартовки судов и ее ключевого компонента — буксира-автомата. Исследование направлено на анализ функционирования системы обеспечения автономной проводки и швартовки судов, определение возможных режимов работы и условий переходов между состояниями, а также выявление факторов, влияющих на эффективность выполнения операций в акватории порта. Для формализации логики работы системы и ее компонентов используются графы состояний, описывающие возможные состояния, переходы между ними и внешние воздействия. Особое внимание уделяется интеграции автономных буксиров-автоматов, систем автономной швартовки и других автоматизированных решений в рамках единой системы. Разработанные модели служат инструментом для глубокого понимания внутренних процессов системы, а также позволяют выявить узкие места и потенциальные риски, что создает основу для дальнейшего совершенствования технологий автономного судовождения. Результаты работы соответствуют современным международным трендам и национальной стратегии Российской Федерации в области модернизации морской отрасли.

Ключевые слова: портовые воды, автономное судовождение, дистанционное управление, граф состояний системы.

Для цитирования: 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.

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE SYSTEM OF AUTONOMOUS SHIP NAVIGATION AND MOORING THROUGH STATE GRAPHS

S.V. Smolentsev, DSc, Professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035 Russia, St. Petersburg, Dvinskaya ul. 5/7, e-mail: SmolencevSV@gumrf.ru

A.V. Bryliakov, Researcher, Admiral Ushakov State Maritime University, 353924 Russia, Novorossiysk, pr. Lenina, 93, e-mail: brylyakov99@inbox.ru

V.G. Senchenko, PhD, Professor, Admiral Ushakov State Maritime University, 353924 Russia, Novorossiysk, pr. Lenina, 93, e-mail: victor.senchenko@mail.ru

A.A. Butsanets, PhD, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 198035 Russia, St. Petersburg, Dvinskaya ul. 5/7, e-mail: butsanetsaa@gumrf.ru; Russian Maritime Register of Shipping, 191186 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: butsanets.aa@rs-class.org

This paper considers the state models of the system of autonomous guiding and mooring of ships and its key component — tugboat-automate. The research aims at analyzing the functioning of the system of autonomous ship navigation and mooring, determining possible modes of operation and conditions of transitions between states, as well as identifying factors affecting the efficiency of operations in the port water area. To formalize the logic of operation of the system and its components, state graphs describing possible states, transitions between them and external influences are used. Special attention is paid to the integration of autonomous tugboats, autonomous mooring systems and other automated solutions within a single system. The developed models serve as a tool for deep understanding of the internal processes of the system, as well as identify bottlenecks and potential risks, which creates a basis for further improvement of autonomous ship navigation technologies. The results of the work correspond to the current international trends and the national strategy of the Russian Federation in the field of maritime industry modernization.

Keywords: harbor waters, autonomous ship navigation, remote control, system state graph.

For citation: Smolentsev S.V., Bryliakov A.V., Senchenko V.G., Butsanets A.A. Structural analysis of the system of autonomous ship navigation and mooring through state graphs. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 79. P. 4 — 13. EDN CQXSLE. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологий автономного судовождения является одним из ключевых направлений модернизации морской отрасли. Это подтверждается как международными трендами, так и национальной стратегией Российской Федерации. В рамках реализации дорожной карты «Маринет» с 2016 г. ведутся активные разработки технических средств для автономного (безэкипажного) судовождения, направленные на внедрение инновационных решений в гражданский флот [1, 2]. Одним из перспективных направлений в данной области является разработка автономных буксиров-автоматов (БА) (рис. 1) [3, 4].

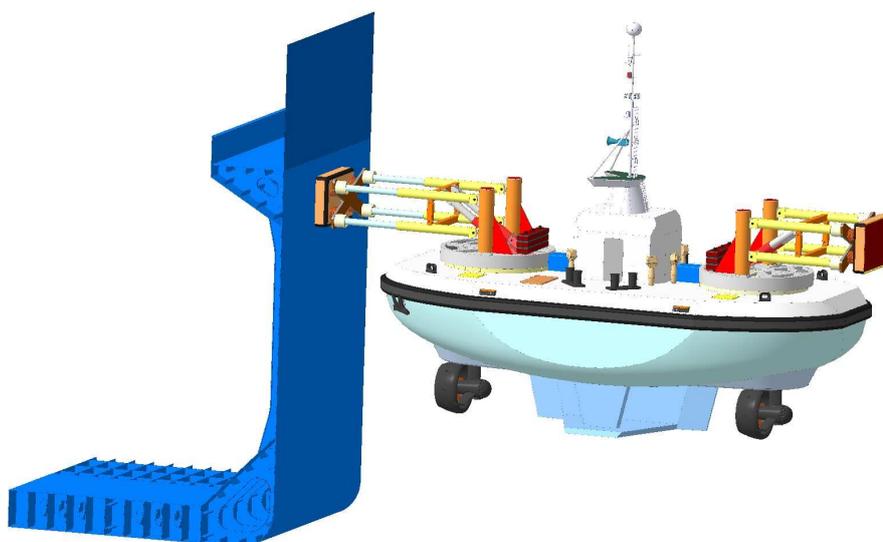


Рис. 1. Концепт применения БА для кантовки грузового судна (патент)

Эти устройства оснащаются современными системами управления, автоматическими поворотными швартовными устройствами (ПШУ) и высокоманевренными пропульсивными комплексами. БА предназначены для выполнения широкого спектра операций, включая сопровождение транспортных судов при заходе/выходе из порта, обеспечение швартовных операций и другие морские операции при необходимости или назначении БА.

В целях автоматизации швартовных операций активно разрабатываются и внедряются системы автономной швартовки (САШ) [5]. Данные системы представляют собой высокотехнологичные решения, предназначенные для автоматизации процессов швартовки судов у причала. Они оснащены механизмами захвата и удержания корпуса судна, которые функционируют без участия человека, что значительно повышает безопасность и сокращает время выполнения операций (рис. 2). САШ интегрируются в общую систему управления портовой инфраструктурой и обеспечивают взаимодействие как с автономными, так и с экипажными судами, гарантируя точность и надежность швартовных операций в различных условиях.

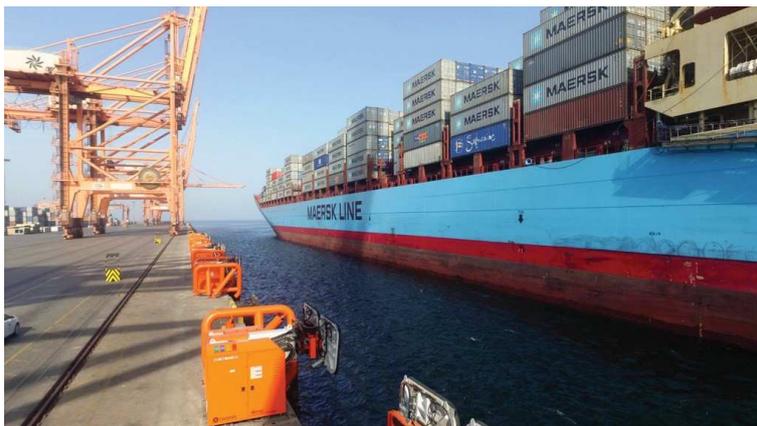


Рис. 2. Система автономной швартовки Cavotec

Комплексный подход к автоматизации операций в акватории порта предполагает объединение автономных буксиров-автоматов (БА), систем автономной швартовки (САШ) и других автоматизированных систем порта в рамках единой системы обеспечения автономной проводки и швартовки судов (СОАПШ) (рис. 3) [6 — 9].

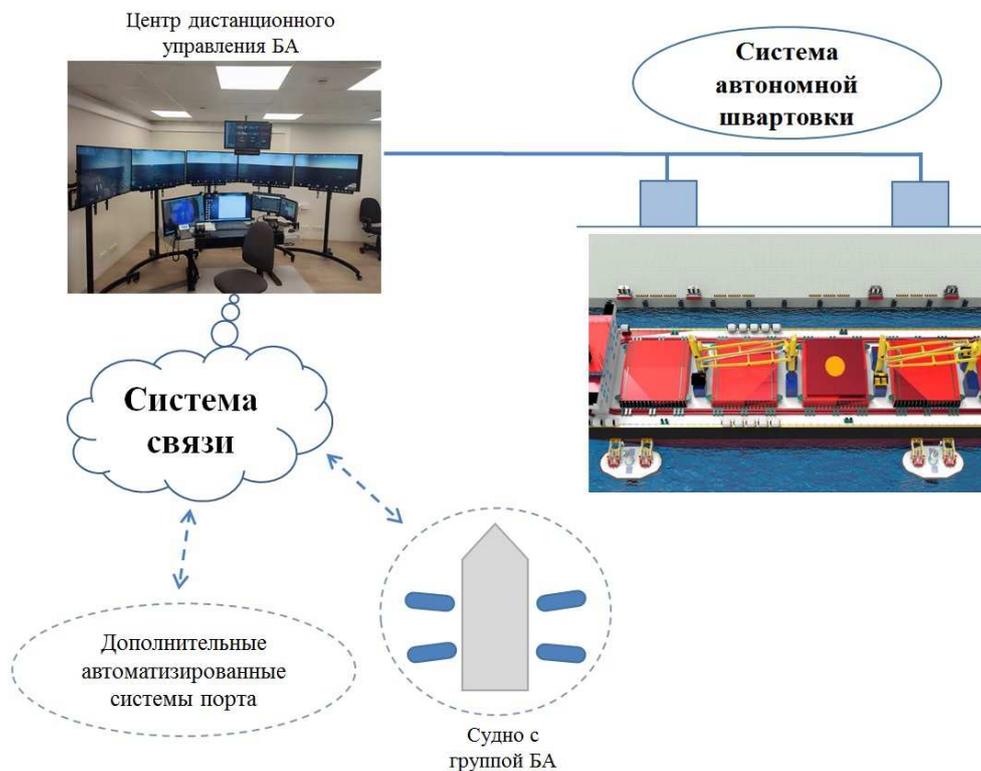


Рис. 3. Пример архитектуры СОАПШ

Такая интеграция позволяет достичь синергетического эффекта, обеспечивая высокий уровень безопасности, надежности и экономической эффективности морских операций.

Однако успешное внедрение таких систем требует детального анализа их функционирования, выявления потенциальных проблем и разработки методов их решения [10, 11].

Графы состояний представляют собой эффективный инструмент для формализации логики работы сложных систем, таких как СОАПШ и ее компоненты. Они позволяют описать возможные состояния системы, условия переходов между ними и внешние факторы, влияющие на ее работу. В контексте проектируемых систем автономного судовождения анализ графов состояний позволяет не только упростить понимание их функционирования, но и выявить ключевые вопросы, которые необходимо решить для успешной опытной эксплуатации и внедрения [12].

Целью данной работы является описание моделей состояний системы обеспечения автономной проводки и швартовки судов (СОАПШ) и ее ключевого компонента — буксира-автомата (БА).

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи.

1. Построение графа состояний СОАПШ для формализации ее рабочих режимов и условий переходов между ними.

2. Разработка детального графа состояний буксира-автомата, включая его комплексное рабочее состояние и подсостояния, с описанием выполняемых операций.

3. Определение внешних и внутренних факторов, влияющих на изменение состояний системы и ее компонентов.

4. Формализация сценариев выполнения операций буксиром-автоматом в различных условиях, включая стандартные и аварийные ситуации.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Как сама СОАПШ, так и ее отдельные компоненты могут находиться в различных состояниях. Это зависит как от внешних причин: наличие заявок на сопровождение транспортных судов, возможные запреты или ограничения на проведение операций сопровождения транспортных судов от администрации порта, погодные условия, перебои с внешним питанием и т.п., так и от внутренних причин: наличие необходимых ресурсов, техническое состояние компонентов системы и т.п. [6, 9, 11 — 13].

Составим граф состояний СОАПШ, представленный на рис. 4.

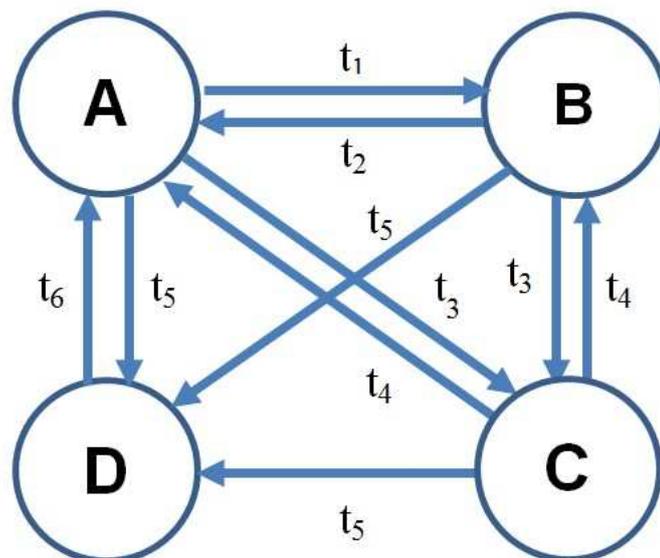


Рис. 4. Граф состояний СОАПШ

Предусмотрены следующие состояния системы:

A — *готовность*: система готова к обработке транспортных судов;

B — *рабочее*: система используется для проведения операции сопровождения или удержания у причала транспортного судна;

C — *простоя*: система не может проводить операции сопровождения транспортных судов вследствие административного запрета, погодных условий или иных ограничений на проведение операций сопровождения в акватории порта, процессы удержания судов у причалов продолжают;

D — *аварийное*: система не может обеспечивать полную функциональность вследствие выхода из строя или некорректной работы ее компонентов. Описанный граф состояний СОАПШ может быть представлен в виде формулы:

$$S_{\text{СОАПШ}} = \{A, B, C, D\}. \quad (1)$$

Между состояниями предусмотрены следующие переходы t_i :

t_1 — *готовность* → *рабочее*: реализуется при получении заявки на сопровождение транспортного судна;

t_2 — *рабочее* → *готовность*: реализуется по завершении операции сопровождения судна на выход из порта при условии, что в данный момент отсутствуют заявки на сопровождение транспортного судна и не производятся операции сопровождения или удержания у причала другого судна;

t_3 — *готовность* → *простоя, рабочее* → *простоя*: реализуется при получении информации о временном запрете на проведение операций сопровождения транспортных судов в акватории порта;

t_4 — *простоя* → *готовность, простоя* → *рабочее*: реализуется при отмене временного запрета на проведение операций сопровождения транспортных судов в акватории порта, система возвращается в состояние, из которого она до этого попала в состояние простоя;

t_5 — *готовность* → *аварийное, рабочее* → *аварийное, простоя* → *аварийное*: реализуется в случае выхода из строя или некорректной работы компонентов системы, что приводит к невозможности системы выполнять свои функции;

t_6 — *аварийное* → *готовность*: реализуется в результате устранения причин аварийного состояния системы.

$$T_{\text{СОАПШ}} = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}. \quad (2)$$

Для обеспечения более детального понимания функционирования системы СОАПШ важно рассмотреть не только ее общую модель состояний, но и модели отдельных ключевых компонентов, которые непосредственно влияют на выполнение операций в акватории порта. Одним из таких компонентов является буксир-автомат (БА), который играет центральную роль в реализации задач по сопровождению и швартовке/отшвартовке.

Функционирование буксира-автомата также может быть описано с помощью графа состояний, который учитывает специфику его работы, включая взаимодействие с системой СОАПШ, выполнение различных операций и переходы между состояниями в зависимости от внешних и внутренних факторов [14, 15]. Граф состояний буксира-автомата представлен на рис. 5.

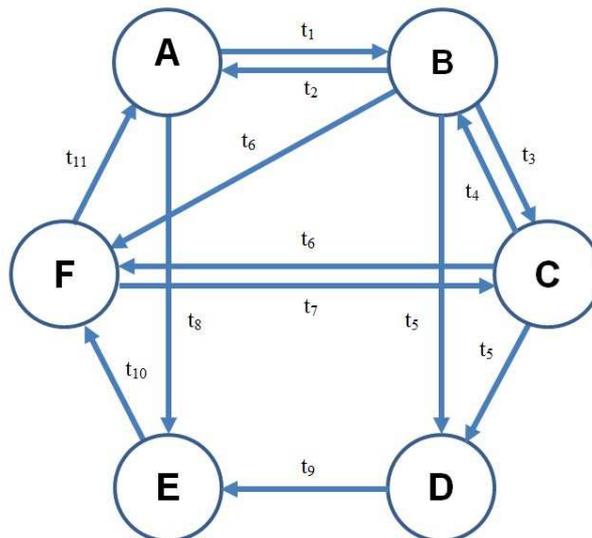


Рис. 5. Граф состояний БА

- A* — **готовность**: БА готов к работе, находится в месте базирования или в месте временной стоянки;
B — **рабочее**: БА участвует в операции в акватории порта;
C — **простоя**: БА приостанавливает свое участие в операции в акватории порта по причине перехода СОАПШ в режим простоя;
D — **аварийное**: БА не может функционировать вследствие выхода из строя или некорректной работы его систем;
E — **восстановление**: проводится ремонт или плановое техническое обслуживание БА в месте базирования или в пункте технического обслуживания;
F — **зарядка**: проводится зарядка батареи БА в месте базирования или в месте временной стоянки.

$$S_{\text{БА}} = \{A, B, C, D, E, F\}. \quad (3)$$

Между состояниями БА предусмотрены следующие переходы:

- t_1 — **готовность** → **рабочее**: реализуется при получении задания на проведение операции из ЦДУ;
 t_2 — **рабочее** → **готовность**: реализуется по выполнении задания и прибытии БА в место базирования или в место временной стоянки;
 t_3 — **рабочее** → **простоя**: реализуется по команде из ЦДУ при переходе СОАПШ в состояние простоя, БА прерывает выполнение задания и прибывает в место базирования или в место временной стоянки;
 t_4 — **простоя** → **рабочее**: реализуется по команде из ЦДУ при переходе СОАПШ в рабочее состояние, БА возвращается к выполнению задания, назначенного ему до перехода в состояние простоя;
 t_5 — **рабочее** → **аварийное, простоя** → **аварийное**: реализуется в случае выхода из строя или некорректной работы подсистем или компонентов БА, что приводит к невозможности выполнять свои функции;
 t_6 — **рабочее** → **зарядка, простоя** → **зарядка**: реализуется при завершении (или прерывании) выполнения задания и подключении БА к источнику питания для зарядки батареи в месте базирования или в месте временной стоянки;
 t_7 — **зарядка** → **простоя**: при завершении зарядки батареи БА в месте базирования или в месте временной стоянки или по команде из ЦДУ при переходе СОАПШ в рабочее состояние в случае, если БА попал в это состояние из состояния простоя;
 t_8 — **готовность** → **восстановление**: реализуется по команде из ЦДУ для проведения планового технического обслуживания БА в месте базирования или в пункте технического обслуживания;
 t_9 — **аварийное** → **восстановление**: реализуется по прибытии БА в аварийном состоянии в пункт технического обслуживания для ремонта;
 t_{10} — **восстановление** → **зарядка**: реализуется при подключении БА к источнику питания для зарядки батареи в месте базирования по завершении ремонта или технического обслуживания;
 t_{11} — **зарядка** → **готовность**: реализуется при завершении зарядки батареи БА в месте базирования или в месте временной стоянки.

$$T_{\text{БА}} = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}\}. \quad (4)$$

В **рабочем** состоянии БА выполняет задание, полученное из ЦДУ, которое включает в себя отстыковку от причала в месте базирования или временной стоянки, движение по акватории порта до места начала выполнения указанной в задании операции, выполнение самой операции, движение по акватории порта от места завершения выполнения операции до места базирования или места временной стоянки, стыковку с причалом [9].

Рабочее состояние БА является комплексным [14, 16 — 18]. В свою очередь, оно может быть представлено графом состояний, показанным на рис. 6.

- B1* — отстыковка и отход от причала в месте базирования или месте временной стоянки;
B2 — движение БА по акватории порта от места базирования или от места временной стоянки к объекту;
B3 — стыковка БА к объекту посредством жесткой сцепки, формирование ордера;
B4 — проводка объекта по акватории в составе ордера;
B5 — маневрирование в составе ордера в районе причала;
B6 — обеспечение подхода судна к причалу;
B7 — обеспечение отхода судна от причала;
B8 — буксировка БА в аварийном состоянии;
B9 — отстыковка от объекта;
B10 — движение БА по акватории порта от объекта к месту базирования или к месту временной стоянки;
B11 — подход и стыковка к причалу в месте базирования или в месте временной стоянки.

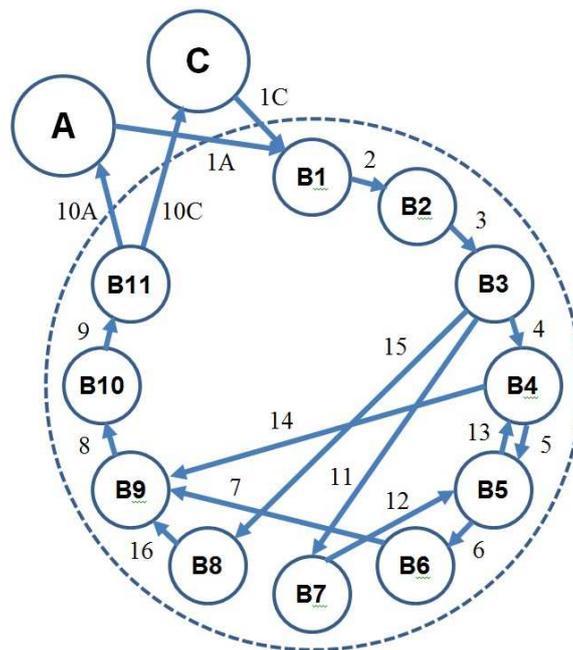


Рис. 6. Граф состояний внутри рабочего состояния БА

Граф состояний внутри рабочего состояния БА может быть представлен в виде:

$$V_{\text{БА}} = \{B1, B2, \dots, B11\}. \quad (5)$$

Между состояниями предусмотрены следующие переходы:

1А — $A \rightarrow B1$: реализуется при назначении задания на проведение операции из ЦДУ, БА переходит в *рабочее* состояние, начинает отстыковку и отход от причала в месте базирования или в месте временной стоянки;

1С — $C \rightarrow B1$: реализуется при получении команды из ЦДУ на продолжение выполнения задания при переходе СОАПШ в *рабочее* состояние, БА переходит в *рабочее* состояние, начинает отстыковку и отход от причала в месте базирования или в месте временной стоянки;

2 — $B1 \rightarrow B2$: реализуется после отхода БА от причала в месте базирования или в месте временной стоянки, БА начинает движение к объекту;

3 — $B2 \rightarrow B3$: реализуется при подходе БА к объекту, БА начинает стыковку к объекту посредством жесткой сцепки;

4 — $B3 \rightarrow B4$: реализуется по завершении процесса стыковки БА к объекту, БА в составе ордера начинает обеспечивать движение судна по акватории порта;

5 — $B4 \rightarrow B5$: реализуется после прихода ордера в зону подхода к причалу (ЗПП), БА в составе ордера обеспечивает маневрирование судна в районе причала;

6 — $B5 \rightarrow B6$: реализуется по завершении процесса маневрирования судна в районе причала, БА в составе ордера начинает обеспечивать подход судна к причалу;

7 — $B6 \rightarrow B9$: реализуется после завершения процесса швартовки судна, БА начинает отстыковку от судна;

8 — $B9 \rightarrow B10$: реализуется после отстыковки БА от объекта, БА начинает движение по акватории порта к месту базирования или к месту временной стоянки;

9 — $B10 \rightarrow B11$: реализуется при подходе БА к месту базирования или к месту временной стоянки, БА начинает процесс подхода к причалу и стыковки к нему;

10А — $B11 \rightarrow A$: реализуется после стыковки БА к причалу в месте базирования или месте временной стоянки, БА переходит в состояние *готовности*;

10С — $B11 \rightarrow C$: реализуется после стыковки БА к причалу в месте базирования или в месте временной стоянки при условии прерывания операции сопровождения по команде из ЦДУ, БА переходит в состояние *простоя*;

11 — $B3 \rightarrow B7$: реализуется по завершении процесса стыковки БА к объекту и отшвартовки судна, БА в составе ордера начинает обеспечивать отход судна от причала;

12 — **B7** → **B5**: реализуется по завершении отхода судна от причала, БА в составе ордера начинает обеспечивать маневрирование судна в районе причала;

13 — **B5** → **B4**: реализуется по завершении маневрирования судна в районе причала, БА в составе ордера начинает обеспечивать движение судна по акватории порта;

14 — **B4** → **B9**: реализуется после завершения процесса сопровождения судна в заданный район, БА начинает отстыковку от судна;

15 — **B3** → **B4**: реализуется по завершении процесса стыковки БА к аварийному БА, БА начинает буксировку аварийного БА к пункту технического обслуживания;

16 — **B6** → **B9**: реализуется после завершения процесса приема аварийного БА в пункте технического обслуживания, БА начинает отстыковку от аварийного БА.

Вышеизложенные переходы состояний внутри рабочего состояния БА могут быть записаны в виде формулы:

$$E_{\text{БА}} = \{(A, B1), (C, B1), (B1, B2), (B2, B3), (B3, B4), \dots, (B11, A), (B11, C)\}. \quad (6)$$

БА может принимать участие в следующих операциях:

- сопровождение транспортного судна при заходе в порт и швартовке к причалу:

$$B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3 \rightarrow B4 \rightarrow B5 \rightarrow B6 \rightarrow B9 \rightarrow B10 \rightarrow B11;$$

- сопровождение транспортного судна при отшвартовке от причала и выходе из порта:

$$B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3 \rightarrow B7 \rightarrow B5 \rightarrow B4 \rightarrow B9 \rightarrow B10 \rightarrow B11;$$

- сопровождение транспортного судна при перешвартовке между причалами:

$$B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3 \rightarrow B7 \rightarrow B5 \rightarrow B4 \rightarrow B5 \rightarrow B6 \rightarrow B9 \rightarrow B10 \rightarrow B11;$$

- оказание помощи аварийному транспортному судну:

$$B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3 \rightarrow B4 \rightarrow B9 \rightarrow B10 \rightarrow B11;$$

- оказание помощи БА, находящемуся в аварийном состоянии:

$$B1 \rightarrow B2 \rightarrow B3 \rightarrow B8 \rightarrow B9 \rightarrow B10 \rightarrow B11.$$

Таким образом, БА выполняет широкий спектр операций в акватории порта, начиная от отстыковки от причала и заканчивая стыковкой после завершения задания. Его рабочее состояние включает подсостояния, связанные с движением, стыковкой, сопровождением судов, маневрированием у причала и буксировкой в аварийных ситуациях. Переходы между состояниями четко регламентированы и зависят от команд ЦДУ, завершения этапов операций или внештатных ситуаций. Граф состояний БА позволяет формализовать логику его работы и описать все возможные сценарии выполнения задач, что обеспечивает надежность и эффективность функционирования системы СОАПШ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования достигнуты следующие ключевые результаты.

1. Описан граф СОАПШ, который включает четыре основных состояния: «готовность», «рабочее», «простой» и «аварийное». Для каждого состояния определены условия переходов между ними, что позволяет формализовать логику работы системы и учесть влияние как внешних факторов (например, погодные условия, заявки на сопровождение судов, административные запреты), так и внутренних (техническое состояние компонентов, наличие ресурсов).

2. Разработан детальный граф состояний буксира-автомата, включающий шесть основных состояний: «готовность», «рабочее», «простой», «аварийное», «восстановление» и «зарядка». Особое внимание уделено комплексному рабочему состоянию БА, которое включает подсостояния, связанные с выполнением операций (например, отстыковка от причала, движение к объекту, стыковка с судном, маневрирование в составе ордера). Это позволило описать все этапы выполнения операций буксиром-автоматом.

3. Описаны сценарии выполнения операций буксиром-автоматом в различных условиях, включая стандартные и аварийные ситуации. Учтены такие операции, как сопровождение транспортного судна при

заходе/выходе из порта, помощь аварийным судам, обеспечение швартовки/отшвартовки и перешвартовка между причалами. Это позволяет улучшить понимание функциональности БА и его взаимодействия с системой СОАПШ.

4. Разработанные модели состояний и графы переходов служат основой для анализа функционирования СОАПШ и ее компонентов. Это создает предпосылки для успешной опытной эксплуатации и внедрения технологий автономного судовождения, что соответствует современным международным трендам [19 — 22] и национальной стратегии Российской Федерации.

БЛАГОДАРНОСТИ

В данной статье представлена часть научно-исследовательской работы по теме «Разработка концепции использования буксиров-автоматов (автономных судов) в морских портах». Заказчик — Министерство транспорта Российской Федерации, исполнитель — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», государственный контракт от 01.07.2024 № 1142414.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. План мероприятий («Дорожная карта») «МариНет» Национальной технологической инициативы. [Электронный ресурс] URL: https://nti2035.ru/markets/docs/DK_marinet.pdf (дата обращения 26.11.2024).
2. Пинский А.С. Е-Навигация и безэкипажное судовождение / А.С. Пинский // Транспорт Российской Федерации. — 2016. — № 4 (65). — С. 50 — 54. — EDN WMAHYT.
3. Патент на полезную модель № 222507 U1 Российская Федерация, МПК В63В 3/00. Корпус судна-буксира: № 2023128879: заявл. 07.11.2023: опубл. 29.12.2023 / В.Г. Сенченко, А.Б. Крючков, В.В. Заслонов; заявитель ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова». — EDN TJCDAW.
4. Биденко С.И. О концептуальном облике буксира-автомата для работы в буксирном ордере 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. Патент № 2808875 С1 Российская Федерация, МПК В63В 21/00. Швартовый захватный модуль (варианты): № 2023109206: заявл. 11.04.2023: опубл. 05.12.2023 / В.Г. Сенченко, А.Б. Крючков, В.В. Заслонов, Д.А. Крючков; заявитель ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова». — EDN OJRYES.
6. Приказ Минтранса России от 30.11.2017 № 503 «Об утверждении Обязательных постановлений в морском порту Новороссийск».
7. Алексеев Г.М. Особые случаи морской практики: уч. пос. / Г.М. Алексеев. — М.: Морской транспорт, 1959. — 338 с.
8. Golovina A. On the issue of the legal status of persons exercising control of a maritime autonomous surface vessel / A. Golovina // SHS Web of Conferences. — 2022. — Vol. 134. — P. 00114. — DOI 10.1051/shsconf/202213400114. — EDN WPEUCZ.
9. Патент № 2809129 С1 Российская Федерация, МПК В63Н 25/04, G05D 1/08, G08G 3/00. Способ проводки, швартовки и отшвартовки морского грузового судна в автономном режиме и способ работы цифровой инструментальной платформы управления движением группы автономных судов-буксиров в портовой акватории: № 2023102499: заявл. 03.02.2023: опубл. 07.12.2023 / В.Г. Сенченко, М.А. Лопатин, Д.Е. Студеникин; заявитель ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова». — EDN IEUNZK.
10. 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.
11. Студеникин Д.Е. Динамическое формирование коридора безопасности при планировании маршрута движения судна / Д.Е. Студеникин, С.И. Кондратьев, Е.В. Хекерт, М.А. Модина // Морские интеллектуальные технологии. — 2021. — № 2-4 (52). — С. 128 — 131. — DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.081.
12. Лопатина В.В. Методика проведения измерений геометрических перемещений подвижного объекта / В.В. Лопатина, В.Г. Сенченко // Морские интеллектуальные технологии. — 2020. — № 4-4 (50). — С. 62 — 66. — DOI 10.37220/MIT.2020.50.4.098.
13. Заслонов В.В. Определение параметров группы азимутальных буксиров-автоматов при выполнении буксировочных работ / В.В. Заслонов, С.С. Жук, Я.В. Бурьлин // Морские интеллектуальные технологии. — 2024. — № 4-1 (66). — С. 214 — 224. — DOI 10.37220/MIT.2024.66.4.025. — EDN EZZHBK.
14. Hensen H. Tug use in port. A practical guide. 2nd ed. / H. Hensen. — Port Rotterdam: Nautical Institute, 2003. — 192 p.
15. Заслонов В.В. Метод группового движения морских подвижных объектов / В.В. Заслонов, С.Н. Стуконог // Эксплуатация морского транспорта. — 2024. — № 2 (111). — С. 76 — 84. — DOI 10.34046/aumsuomt111/13. — EDN OVAQNS.
16. Управление автономным подруливающим устройством / Я.В. Бурьлин, А.Н. Попов, С.И. Кондратьев, Боран-Кешишьян А.Л. и др. // Морские интеллектуальные технологии. — 2024. — № 4-2 (66). — С. 114 — 120. — DOI 10.37220/MIT.2024.66A.066. — EDN WYKSMI.
17. Бурьлин Я.В. Идентификация нелинейной модели движения судна и адаптивное управление по траектории: дисс. ... канд. техн. наук / Я.В. Бурьлин; ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова. Новороссийск, 2018. — 132 с. — EDN IJTRJA.
18. 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: International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering, AIME 2021. — Vol. 2061 (1). — P. 012074. — DOI 10.1088/1742-6596/2061/1/012074. — EDN FWSZAF.

19. Головина А.А. Законодательное закрепление уровней автономности морских автономных надводных судов / А. А. Головина // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. — 2024. — № 4 (49). — С. 59 — 63. — EDN YQJUTU.
20. Айзинов С.Д. Принципы оценки функциональных свойств систем автономного судовождения / С.Д. Айзинов, А.А. Буцанец, С.В. Смоленцев, В.Г. Сенченко и др. // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2024. — № 74. — С. 83 — 96. — EDN HNHFAA.
21. Karetnikov V. Simulation of maneuvering trials of an unmanned or autonomous surface ship on a navigation simulator / V. Karetnikov, E. Ol'khovik, A. Butsanets, A. Ivanova // Lecture Notes in Civil Engineering. — 2021. — Vol. 130 LNCE. — P. 146-156. — DOI 10.1007/978-981-33-6208-6_15. — EDN JJVLQH.
22. Karetnikov V. Development of methods for maneuvering trials of autonomous ships in test water area / V. Karetnikov, E. Ol'khovik, A. Butsanets, A. Ivanova // Lecture Notes in Civil Engineering. — 2021. — Vol. 130 LNCE. — P. 503 — 508. — DOI 10.1007/978-981-33-6208-6_5. — EDN PHCRQD.

REFERENCES

1. Plan meropriyatiy («Dorozhnaya karta») «MariNet» Natsionalnoi tekhnologicheskoi initsiativy [Plan of action (Roadmap) “MariNet” of the National Technological Initiative]. URL: https://nti2035.ru/markets/docs/DK_marinet.pdf (accessed 26.11.2024).
2. Pinskiy A.S. E-Navigatsiya i bezekipazhnoe sudovozhdenie [E-navigation and unmanned navigation]. *Transport Rossiiskoi Federatsii [Transport of the Russian Federation]*. 2016. No. 4 (65). P. 50 — 54. EDN WMAHYT.
3. Utility Model Patent No. 222507 U1 Russian Federation, IPC B63B 3/00. The hull of the tugboat: No. 2023128879: application 07.11.2023: published 29.12.2023 / Senchenko V.G., Kryuchkov A.B., Zaslono V.V.; applicant FGBOU VO Admiral F.F. Ushakov State Maritime University. EDN TJCDAW.
4. Bidenko S.I., Senchenko V.G., Vasil'ev A.B. O kontseptual'nom oblike buksira-avtomata dlya raboty v buksirnom ordere ili "stae" [On the conceptual appearance of an automatic tugboat for operation in a tow warrant or "flock"]. *Nedelya nauki Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnicheskogo universiteta. [Science Week of St. Petersburg State Marine Technical University]*. 2021. No. 1-1. DOI 10.52899/978-5-88303-611-7_170. EDN MQZWRV.
5. Patent No. 2808875 C1 Russian Federation, MPK B63B 21/00 No. 2023109206. Mooring gripping module (variants): application 11.04.2023: published 05.12.2023 / V.G. Senchenko, A.B. Kryuchkov, V.V. Zaslono, D.A. Kryuchkov; applicant FGBOU VO Admiral F. F. Ushakov State Maritime University. EDN OJRYES.
6. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated November 30, 2017 N 503 "On approval of Mandatory regulations in the seaport of Novorossiysk".
7. Alekseev G.M. Osobyie sluchai morskoi praktiki [Special cases of maritime practice: study guide]. Moscow: Morskoi transport, 1959. 338 p.
8. Golovina A. On the issue of the legal status of persons exercising control of a maritime autonomous surface vessel. *SHS Web of Conferences*. 2022. Vol. 134. P. 00114. DOI 10.1051/shsconf/202213400114. EDN WPEUCZ.
9. Patent No. 2809129 C1 Russian Federation, IPC B63H 25/04, G05D 1/08, G08G 3/00. The method of wiring, mooring and unmooring a marine cargo vessel in autonomous mode and the method of operation of the digital instrument platform for controlling the movement of a group of autonomous tugboats in the port area: No. 2023102499: application 02/03/2023: published 12/07/2023 / V.G. Senchenko, M.A. Lopatin, D.E. Studenikin; applicant FGBOU VO Admiral F.F. Ushakov State Maritime University. EDN IEUNZK.
10. Epikhin A.I., Modina M.A. Problems of introducing unmanned vessels on the basis of statistical studies of emergencies and ship losses. *Marine intellectual technologies*. 2021. No. 3-1 (53). P. 77 — 82. DOI 10.37220/MIT.2021.53.3.010. (In Russ.)
11. Studenikin D.E., Kondratiev S.I., Heckert E.V., Modina M.A. Dynamic formation of a safety corridor during preliminary vessel route planning. *Marine intellectual technologies*. 2021. No. 2-4 (52). P. 128 — 131. DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.081. (In Russ.)
12. Lopatina V.V., Senchenko V.G. Methodic of measuring of geometric displacements of a moving object. *Marine intellectual technologies*. 2020. No. 4-4 (50). P. 62 — 66. DOI 10.37220/MIT.2020.50.4.098. (In Russ.)
13. Zaslono V.V., Zhuk S.S., Burylin Ya.V. Determination of parameters of a group of azimuthal automatic tugboats during towing operations. *Marine intellectual technologies*. 2024. No. 4-1 (66). P. 214 — 224. DOI 10.37220/MIT.2024.66.4.025. EDN EZZHBK. (In Russ.)
14. Hensen H. Tug use in port. A practical guide. 2nd ed. Port Rotterdam: Nautical Institute, 2003. 192 p.
15. Zaslono V.V., Stukonog S.N. The method of group movement of marine mobile objects. *Ekspluatatsiya morskogo transporta [Operation of marine transport]*. 2024. No. 2 (111). P. 76 — 84. DOI 10.34046/aumsuomt111/13. EDN OVAQNS. (In Russ.)
16. Burylin Ya.V., Popov A.N., Kondratiev S.I., Boran-Keshishyan A.L. et al. Autonomous thruster control. *Marine intellectual technologies*. 2024. No. 4-2 (66). P. 114 — 120. DOI 10.37220/MIT.2024.66A.066. EDN WYKCM1. (In Russ.)
17. Burylin Ya.V. Identifikatsiya nelineinoy modeli dvizheniya sudna i adaptivnoye upravlenie po traektorii [Identification of a nonlinear model of ship movement and adaptive trajectory control: PhD thesis] / Admiral F.F. Ushakov State Maritime University. Novorossiysk, 2018. 132 p. EDN IJTRJA.
18. Burylin I.V. Interface for indication and remote control of an unmanned vessel in automatic and manual modes. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering, AIME 2021*. Vol. 2061 (1). P. 012074. DOI 10.1088/1742-6596/2061/1/012074. EDN FWSZAF.
19. Golovina A.A. Zakonodatel'noe zakreplenie urovnei avtonomnosti morskikh avtonomnykh nadvodnykh sudov [Legislative consolidation of the levels of autonomy of marine autonomous surface vessels]. *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta imeni admirala F.F. Ushakova [Bulletin of the Admiral F.F. Ushakov State Maritime University]*. 2024. No. 4 (49). P. 59 — 63. EDN YQJUTU.
20. Aysinov S.D., Butsanets A.A., Smolentsev S.V., Senchenko V.G. et al. Principles for assessing the functional properties of systems for autonomous shipping. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2024. No. 74. P. 83 — 96. EDN HNHFAA. (In Russ.)
21. Karetnikov V., Ol'khovik E., Butsanets A., Ivanova A. Simulation of maneuvering trials of an unmanned or autonomous surface ship on a navigation simulator. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 130 LNCE. P. 146 — 156. DOI 10.1007/978-981-33-6208-6_15. EDN JJVLQH.
22. Karetnikov V., Ol'khovik E., Butsanets A., Ivanova A. Development of methods for maneuvering trials of autonomous ships in test water. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 130 LNCE. P. 503 — 508. DOI 10.1007/978-981-33-6208-6_5. EDN PHCRQD.