

Научная статья

УДК 004.89

<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2026-1-104-111>

EDN ERRQXK

Онтология управления процессами технического обслуживания и ремонта судостроительной организации

Юлия Денисовна Макарова[✉], Ирина Олеговна Бондарева

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, yulia.dv@mail.ru[✉]*

Аннотация. Современное судостроение и судоремонт сталкиваются с вызовами, связанными с усложнением технических объектов, ростом требований к качеству услуг, необходимостью сокращения сроков выполнения работ и повышения эффективности управления. В условиях высокой конкуренции и цифровой трансформации отрасли возрастаёт актуальность внедрения информационных решений, призванных формализовать знания о процессах технического обслуживания и ремонта (ТОиР), повысить прозрачность взаимодействия между подразделениями и поддержать принятие управленических решений. Предложен подход к цифровизации управления ТОиР судов на основе онтологического моделирования. Онтология разработана с использованием программной платформы Protégé и реализована с применением стандартов OWL и RDF, что обеспечивает ее расширяемость, формальную строгость и совместимость с другими информационными системами. В модели представлены ключевые классы, отражающие структуру предметной области: судно, оборудование, процессы обслуживания и ремонта, персонал, запасные части, интервалы и частота обслуживания. Для описания взаимосвязей между сущностями используются объектные и дата-свойства. Инструмент логического вывода Reasoner, встроенный в Protégé, позволил провести автоматизированный анализ онтологии. В результате были выявлены зависимости между типами судов, видами ТОиР, задействованным оборудованием, персоналом и регламентами обслуживания. Также обеспечена проверка логической консистентности модели, выявлены потенциальные конфликты и определены новые связи между объектами. Это делает возможным не только хранение и систематизацию знаний, но и поддержку систем управления знаниями и автоматического логического анализа. Онтология учитывает региональные особенности эксплуатации флота. Полученная модель может быть использована в системах планирования ТОиР, в цифровых двойниках судов и в системах поддержки принятия решений.

Ключевые слова: онтологическая модель, техническое обслуживание, судоремонт, судостроительная отрасль, управление процессами, логические выводы

Для цитирования: Макарова Ю. Д., Бондарева И. О. Онтология управления процессами технического обслуживания и ремонта судостроительной организации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2026. № 1. С. 104–111. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2026-1-104-111>. EDN ERRQXK.

Original article

The ontology of maintenance and repair management processes of the shipbuilding organization

Iuliia D. Makarova[✉], Irina O. Bondareva

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, yulia.dv@mail.ru[✉]*

Abstract. Modern shipbuilding and ship repair industries face challenges associated with the increasing complexity of technical objects, increasing requirements for service quality, the need to reduce work deadlines and improve management efficiency. In the context of high competition and digital transformation of the industry, the relevance of implementing information solutions that can formalize knowledge about maintenance and repair (M&R) processes, increase the transparency of interaction between departments and support management decision-making is increasing.

This paper proposes an approach to the digitalization of ship M&R management based on ontological modeling. The ontology was developed using the Protégé software platform and implemented using the OWL and RDF standards, which ensures its extensibility, formal rigor and compatibility with other information systems. The model presents key classes reflecting the structure of the subject area: vessel, equipment, maintenance and repair processes, personnel, spare parts, service intervals and frequencies. Object and data properties are used to describe the relationships between entities. The Reasoner inference tool integrated into Protégé enabled automated analysis of the ontology. As a result, dependencies between vessels types, types of maintenance, equipment involved, personnel and maintenance regulations were identified. The logical consistency of the model was also checked, potential conflicts were identified and new connections between objects were defined. This makes it possible not only to store and systematize knowledge, but also to support knowledge management systems and automatic logical analysis. The ontology takes into account regional features of fleet operation. The resulting model can be used in M&R planning systems, in digital twins of vessels and in decisions support systems.

Keywords: ontological model, maintenance, ship repair, shipbuilding industry, process management, logical conclusions

For citation: Makarova I. D., Bondareva I. O. The ontology of maintenance and repair management processes of the shipbuilding organization. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*. 2026;1:104-111. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2026-1-104-111>. EDN ERRQXK.

Введение

Судостроительная отрасль является одной из ключевых и стратегически значимых сфер экономики России, обеспечивающей транспортную безопасность, промышленное развитие и освоение водных пространств. Особенно важную роль в этом контексте играет Астраханская область, обладающая выгодным географическим положением на пересечении водных транспортных путей Волги и Каспийского моря. Регион характеризуется высокой концентрацией судостроительных и судоремонтных организаций (АО «Астраханский судостроительный завод», ОАО «Красные Баррикады», ООО «Лотос» и др.), ориентированных на строительство, техническое обслуживание и ремонт судов различного назначения – от гражданских до специализированных промысловых и вспомогательных.

Условия высокой конкуренции, потребность в ускорении производственных циклов и рост требований к качеству услуг обуславливают необходимость системного подхода к управлению деятельностью таких предприятий. Важно не только контролировать техническое состояние судов, но и грамотно организовывать все процессы, связанные с их обслуживанием и ремонтом. При этом на первый план выходит необходимость использования современных информационных решений, позволяющих структурировать знания, повысить прозрачность процессов и обеспечить согласованность действий различных подразделений.

В рамках цифровой трансформации отрасли все чаще рассматриваются методы формализации знаний, одним из которых является онтологическое моделирование. Онтология в данном случае представляет собой формализованную модель предметной области, позволяющую устраниить семантические противоречия, повысить качество информационного взаимодействия между участниками процессов и обеспечить поддержку управленческих решений [1]. Это особенно важно в условиях сложности,

многоэтапности и ресурсозависимости процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР), поскольку они могут привести к проблемам, связанным с неоднозначностью трактовки терминов, дублированием функций и неэффективным управлением данными.

Предложение такой онтологической модели становится актуальным и с точки зрения выполнения задач, поставленных в рамках государственной стратегии развития судостроительной промышленности до 2035 г., в которой особое внимание уделено созданию единого цифрового пространства отрасли [2]. Однако успешная реализация этих задач требует глубокой формализации знаний о процессах, объектах и ролях, что особенно важно в специфических условиях, характерных для предприятий Астраханского региона.

Разработка онтологической модели, ориентированной на сферу технического обслуживания и судоремонта, представляет собой значимый шаг в направлении повышения эффективности управления за счет качественной информационной поддержки деятельности компаний.

Предложенная онтология ориентирована на предприятия Астраханской области, но ее структура инвариантна и позволяет адаптировать модель к условиям других регионов, что делает ее универсальным инструментом цифровизации ТОиР в судостроительной отрасли.

Целью данного исследования является разработка онтологической модели предметной области ТОиР судов, позволяющей формализовать знания, структурировать информацию, обеспечить семантическую согласованность терминологии и создать основу для поддержки принятия управленческих решений.

Онтологический подход позволяет детализировать и отразить структуру предметной области с учетом всех ключевых элементов, взаимосвязей и характеристик, что особенно важно в условиях высокой

кой сложности и многокомпонентности процессов судоремонта.

Инструментальная реализация онтологии

Предложенный ниже подход к онтологии для управления процессами ТОиР в судостроительной организации реализован при помощи платформы Protégé – одного из мощных инструментов для создания онтологий. Она представляет графический интерфейс, поддерживающий стандарты OWL (Web Ontology Language) и RDF (Resource Description Framework), что позволяет интегрировать созданную онтологию с другими системами и ресурсами, а также описывать знания в различных областях [3]. Protégé включает поддержку инструментов Reasoner, таких как Pellet, HermiT и Fact++, которые помогают выполнять логические выводы и анализировать онтологию.

Структура онтологической модели ТОиР

Онтологическая модель для управления ТОиР судостроительной компании включает несколько основных классов (рис. 1), каждый из которых имеет свои свойства и взаимосвязи.

Основные классы онтологической модели управления техническим обслуживанием и ремонтом судостроительной компании

The main classes of the ontological management model of maintenance and repair of a shipbuilding company

Класс	Характеристика
Судно (Ship)	Описывает основные характеристики судна (тип, длина, ширина, дедвейт и год постройки)
Оборудование судна (Ship Equipment)	Представляет отдельные системы судна (двигатель, электрооборудование, гидравлика и другие механизмы, которые требуют ТОиР)
Процесс обслуживания (Maintenance Process)	Процесс, связанный с техническим обслуживанием судна, позволяющий поддерживать его в работоспособном состоянии (проверка, смазка, настройка и замена изношенных деталей)
Ремонт (Repair)	Конкретные работы по ремонту системы судна и устранению неисправностей
Интервал обслуживания (Maintenance Interval)	Временной промежуток, в который требуется выполнить обслуживание. Он может быть задан в месяцах или годах
Персонал (Personnel)	Работники, которые занимаются техническим обслуживанием и ремонтом судна (должность, квалификация)
Частота обслуживания (Maintenance Frequency)	Определяет, как часто необходимо проводить обслуживание (ежемесячно, ежеквартально и т. д.)
Запасные части (Spare Parts)	Детали, необходимые для ТОиР судна (название детали, тип, количество на складе)

Далее были определены свойства, которые описывают отношения между классами и их конкретными атрибутами, или данные, которые характеризуют объекты. В данном случае были использованы объектные свойства (Object Properties) и свойства данных (Data Properties).

Объектные свойства позволяют установить отношения между экземплярами классов, например связь между судном и его оборудованием, процессами обслуживания и т. д.

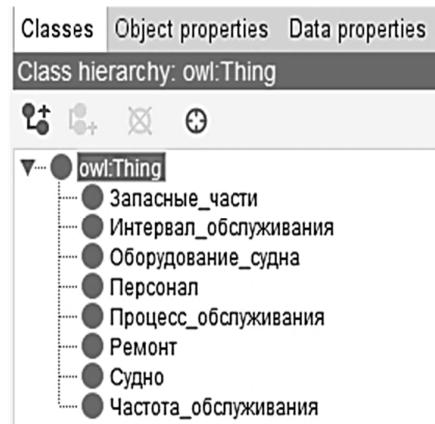


Рис. 1. Классы онтологической модели управления техническим обслуживанием и ремонтом судостроительной компании

Fig. 1. Classes of the ontological model of maintenance and repair management of a shipbuilding company

Более подробная характеристика классов онтологической модели управления ТОиР судостроительной компании отражена в таблице.

Основные классы онтологической модели управления техническим обслуживанием и ремонтом судостроительной компании

Данные свойства связывают экземпляры классов с конкретными значениями, такими как строки, числа или даты. Например, они описывают атрибуты объектов («название судна»):

- «имеет интервал обслуживания» – связь между судном и интервалом обслуживания;
- «имеет историю ремонта» – связь между судном и ремонтом;
- «имеет частоту обслуживания» – связь между процессом обслуживания и частотой обслуживания;

- «используется персоналом» – связь между оборудованием судна и персоналом;
- «проводит обслуживание» – связь между процессом обслуживания и персоналом;
- «проводит ремонт» – связь между ремонтом

и персоналом и др.

Так, к примеру, результаты настроек свойств «проводит обслуживание» и «имеет интервал обслуживания» приведены на рис. 2.

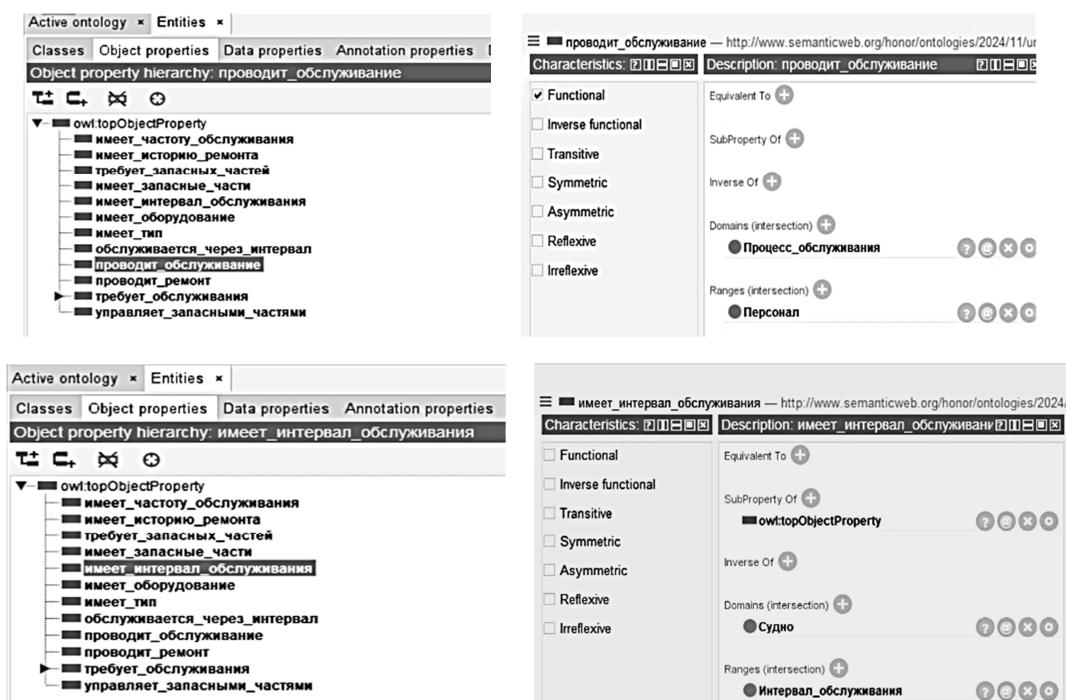


Рис. 2. Настройка свойств для онтологической модели технического обслуживания и ремонта судостроительной компании

Fig. 2. Setting up properties for the ontological model of maintenance and repair management of a shipbuilding company

Для Data Properties можно использовать следующие атрибуты, представленные на рис. 3: «дата последнего ремонта», «стоимость», «количество частей» и др.

«дата последнего ремонта», «дата последнего обслуживания», «дата последнего ремонта», «стоимость», «количество частей» и др.

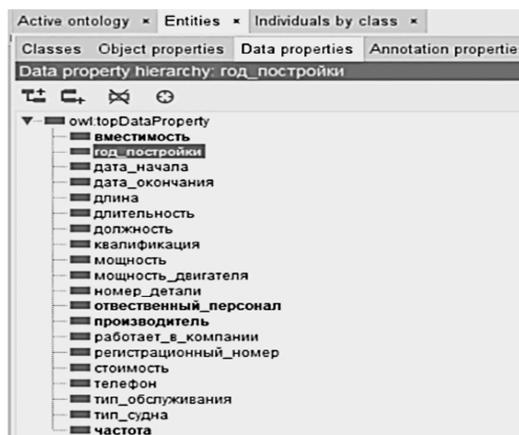


Рис. 3. Основные атрибуты классов онтологической модели технического обслуживания и ремонта судостроительной компании

Fig. 3. The main attributes of classes of the ontological model of maintenance and repair management of a shipbuilding company

Далее были созданы экземпляры (рис. 4), которые могут быть добавлены для конкретных объектов, чтобы система могла работать не только с аб-

страктной структурой (например, конкретные судна, оборудование или сотрудники).

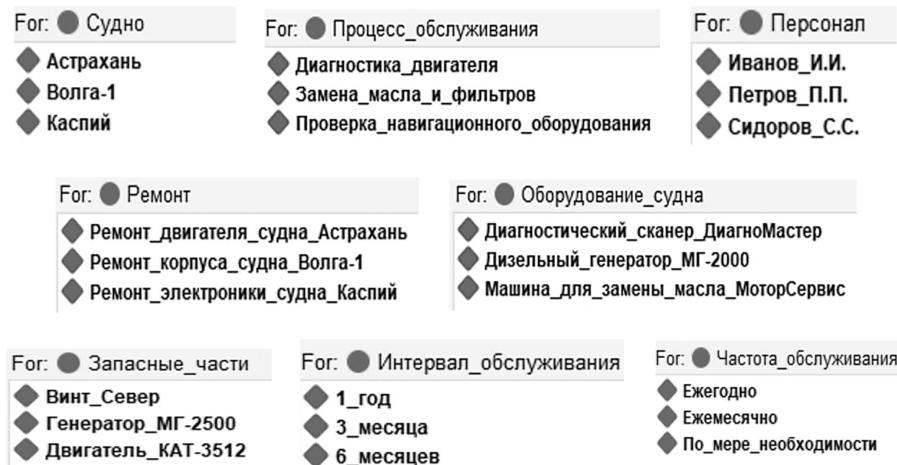


Рис. 4. Экземпляры классов «Судно», «Процесс обслуживания», «Ремонт», «Оборудование судна», «Запасные части», «Персонал», «Интервал обслуживания» и «Частота обслуживания»

Fig. 4. Instances of the classes “Vessel”, “Maintenance process”, “Repair”, “Vessel equipment”, “Spare parts”, “Personnel”, “Maintenance interval” and “Maintenance frequency”

Далее были созданы связи между классами и экземплярами. Например, судно «Астрахань» связано:

- через «имеет_тип» с типом «Рыболовное судно»;
- через «имеет_интервал» с интервалом обслуживания «6 месяцев»;
- через «имеет_историю_ремонта» с ремонтом «Ремонт двигателя судна Астрахань»;
- через «требует_обслуживания» с процессом «Замена масла и фильтров»;
- через «имеет_частоту_обслуживания» с частотой обслуживания «Ежемесячно»;

– через «требует_оборудование» с оборудованием «Машина для замены масла «МоторСервис».

Для класса «Персонал», в частности для И. И. Иванова (механик), была установлена связь:

- через «проводит_обслуживание» с процессом «Замена масла и фильтров»;
- через «используется_персоналом» с оборудованием «Машина для замены масла «МоторСервис» и т. д. (рис. 5).

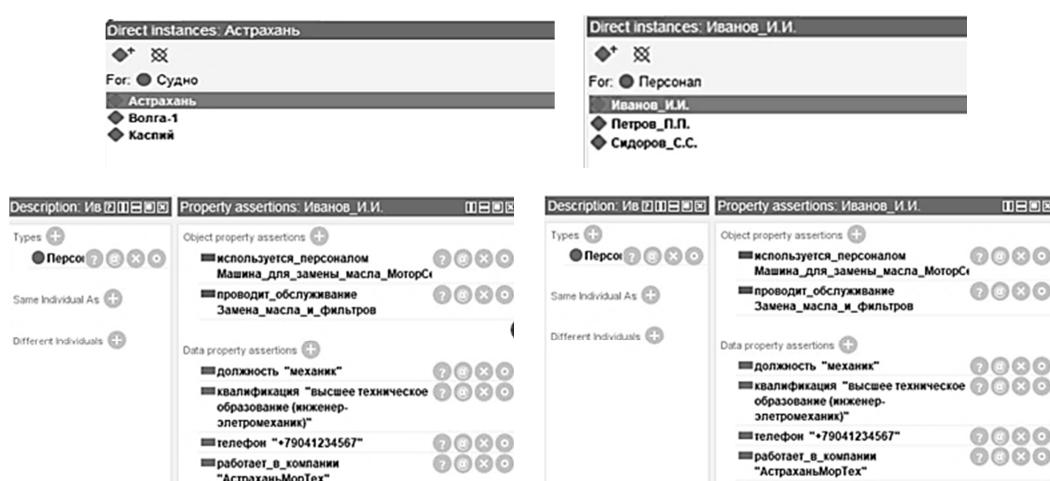


Рис. 5. Создание связей для экземпляров судна «Астрахань» и механика И. И. Иванова

Fig. 5. Creation of connections for the instances of the ship “Astrakhan” and the mechanic I. I. Ivanov

Аналогичным образом установлены все связи между экземплярами классов, которые позволяют объединить процессы обслуживания, судна, персонал и оборудование, необходимое для эффективного выполнения ТОиР судостроительной компании.

В рамках реализации онтологии учитывались региональные особенности эксплуатации судов в Астраханской области, такие как преобладание речных и промысловых судов, особые условия в Каспийском бассейне, влияние сезонности на интервалы обслуживания и специфика оборудования. При этом структура онтологии предусматривает возможность настройки регионального контекста путем модификации отдельных классов, их атрибутов и экземпляров, что позволяет адаптировать модель для других географических условий.

Применение системы логического вывода

В процессе разработки онтологии для управления процессами ТОиР судостроительной компании был проведен эксперимент по использованию системы логического вывода Reasoner в программной среде Protégé. Целью эксперимента являлось применение Reasoner для анализа онтологической модели, проверки ее консистентности и автоматического извлечения новых фактов [4].

После настройки классов, свойств и экземпляров в онтологии был запущен Reasoner. В результате были получены следующие выводы:

1. Определены типы экземпляров. Reasoner успешно классифицировал экземпляры судов по типам на основе заданных свойств. Так, судно «Астрахань» было автоматически отнесено к классу «Рыболовное судно», «Волга-1» – к классу «Пассажирское судно», а «Каспий» – к классу «Буксирное судно».

Это стало возможным благодаря наличию в онтологии свойства «иметь_тип», связанного с конкретными категориями судна. В этом случае Reasoner применил правила логики, чтобы вывести типы экземпляров на основе их свойств.

2. Выводы о типах процессов обслуживания. На основе правил в онтологии Reasoner корректно установил типы процессов ТОиР и соответствующие им интервалы, сделал выводы о процессах обслуживания и их частотах.

В частности, процесс «Замена масла и фильтров» был отнесен к частоте «Ежемесячно». Процесс «Проверка навигационного оборудования» был связан с частотой «Ежегодно». Процесс «Диагностика двигателя» был связан с частотой «По необходимости».

3. Выводы по запасным частям и оборудованию. Логический вывод позволил автоматически связать процессы обслуживания с запасными частями. Процесс «Замена масла и фильтров» автома-

тически получил связь с запасной частью «Двигатель Кат-3512». Процесс «Проверка навигационного оборудования» был связан с запасной частью «Генератор МГ-2500». Процесс «Диагностика двигателя» был связан с запасной частью «Винт Север».

Также были выведены связи с оборудованием. Например, процесс «Замена масла и фильтров» был связан с оборудованием «Машина для замены масла "МоторСервис"», а процесс «Проверка навигационного оборудования» – с оборудованием «Диагностический сканер "ДиагноМастер"».

4. Выводы о персонале, выполняющем процессы. На основании свойств «используется персоналом» Reasoner автоматически связал персонал с процессами обслуживания. Так, «Иванов И. И.» был связан с процессом «Замена масла и фильтров», «Петров П. П.» – с процессом «Проверка навигационного оборудования», а «Сидоров С. С.» – с процессом «Диагностика двигателя».

5. Инференция частоты и интервалов обслуживания. В разработанной онтологии уже есть классы для интервала обслуживания и частоты обслуживания, Reasoner использовал эти связи для вывода интервалов и частот. Например, судно «Астрахань» с интервалом обслуживания «6 месяцев» автоматически было связано с процессом «Замена масла и фильтров», который требовал ежемесячного обслуживания. Судно «Волга-1» с интервалом обслуживания «1 год» было связано с процессом «Проверка навигационного оборудования» для ежегодного обслуживания.

6. Проверка консистентности. Reasoner выполнил проверку онтологии на противоречия. В ходе проверки были обнаружены потенциальные конфликты – невозможность одновременного выполнения двух процессов, использующих одно и то же оборудование. Так, процесс «Замена масла и фильтров» требовал «Машины для замены масла "МоторСервис"», при этом же процесс «Диагностика двигателя» требовал тот же тип оборудования в то же время. Соответственно, Reasoner сообщил об этом. Этот конфликт был устранен.

7. Дополнительные логические выводы. Система вывела обобщенные связи между классами и экземплярами. Например, судно «Астрахань» было отнесено не только к «Рыболовным суднам», но и к более высокому классу «Судно» благодаря иерархии классов в модели.

8. Вычисление зависимостей. Reasoner автоматически установил зависимости между типами судов, интервалами обслуживания и процессами. Например, судно «Астрахань» как экземпляр класса «Рыболовное судно» было связано с интервалом обслуживания «6 месяцев» и процессом «Замена масла и фильтров» с частотой «Ежемесячно». Судно «Волга-1» было связано с интервалом «1 год» и про-

цессом «Проверка навигационного оборудования» с частотой «Ежегодно». А персонал отнесен к выполняемым процессам, например «И. И. Иванов» связан с процессом «Замена масла и фильтров».

Результат эксперимента

Эксперимент подтвердил работоспособность Reasoner в среде Protégé и его эффективность для автоматического логического анализа онтологической модели. Так, логические выводы, полученные

через Reasoner в Protégé, позволили проверить структуру онтологии, убедиться в правильности установленных связей и определить все возможные зависимости между экземплярами и классами [5].

Для визуализации онтологии использовался инструмент OntoGraf, с помощью которого была отражена графическая структура всех взаимосвязей между экземплярами, классами, атрибутами и процессами ТОиР. Онтологическую модель ТОиР наглядно можно представить на рис. 6.

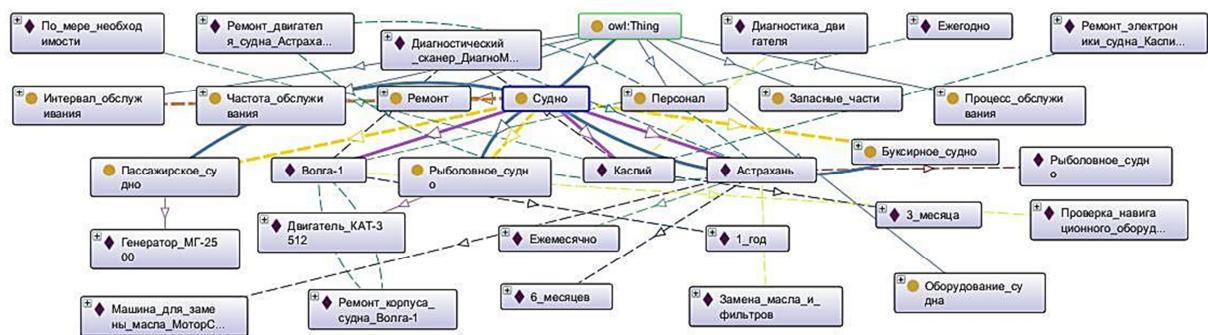


Рис. 6. Онтологическая модель управления процессами ТОиР судостроительной компании

Fig. 6. The ontological model of maintenance and repair processes management of a shipbuilding company

Разработка онтологии для управления процессами ТОиР судостроительной организации с использованием Protégé представляет собой мощный инструмент для улучшения управления и автоматизации процессов обслуживания и ремонта судов, улучшения планирования и принятия решений. Инструмент логического вывода Reasoner помогает улучшить консистентность и точность данных в онтологии, выявить новые зависимости и факты, а также оптимизировать ресурсы, необходимые для поддержания судов в рабочем состоянии. В конечном итоге это ведет к повышению безопасности, экономии средств и увеличению срока службы флота.

Применение Reasoner в Protégé в области ТОиР судов обладает значительным потенциалом для совершенствования процессов управления флотом и повышения его операционной эффективности.

Заключение

В рамках данной работы была разработана онтология управления процессами ТОиР судостроительной организации. Разработка осуществлялась с использованием платформы Protégé, что позволило формализовать знания о структуре судов, элементах их оборудования, процессах обслуживания и ремонта, задействованных ресурсах и персонале. Онтология позволила систематизировать и структурировать информацию о процессах ТОиР, определить взаи-

мосвязи между объектами, ресурсами, операциями и участниками процессов, а также обеспечить целостное представление всех компонентов системы ТОиР в графической форме с возможностью логического анализа и создать основу для экспертных систем, способных поддерживать принятие решений в реальном времени и минимизировать риски отказов оборудования. Кроме того, данная онтология учитывала региональные особенности эксплуатации судов в акватории дельты Волги и Каспийского бассейна. Однако она может быть масштабирована и адаптирована для применения в других судостроительных регионах России и за ее пределами. Это достигается за счет гибкой структуры модели и возможности модификации региональных классов и свойств.

Предложенная онтологическая модель служит мощным инструментом цифровизации процессов ТОиР, открывает возможности для повышения эффективности управления техническим состоянием флота, снижением затрат и увеличением надежности судов. Внедрение подобных решений в практику судостроительных и судоходных организаций Астраханской области способствует формированию единого цифрового пространства отрасли и соответствует задачам, обозначенным в Стратегии развития судостроения России.

Список источников

1. Грабчак Е. П. Цифровая трансформация электроэнергетики. Основные подходы // Энергия единой сети. 2018. № 4 (40). С. 13–25.
2. Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года: Распоряжение Правительства РФ от 28 октября 2019 г. № 2553-р (ред. от 21.10.2024). URL: <http://government.ru/docs/all/124379/> (дата обращения: 12.04.2025).
3. Глотов А. В., Черемисинов С. В., Щербаков М. В. Онтологическая модель риск-ориентированного управления техническим состоянием технологического оборудо-
дования // Энергия единой сети. 2019. № 3 (45). С. 77–85.
4. Федотова А. В., Давыденко И. Т. Онтологическое моделирование технического обслуживания // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19–21 февраля 2015 г.). Минск: Изд-во Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники, 2015. С. 429–438.
5. Лукин Ю. М. Методы и алгоритмы управления техническим обслуживанием и ремонтом судов. М.: Транспорт, 2018. С. 56–59.

References

1. Grabchak E. P. Cifrovaya transformaciya elektroenergetiki. Osnovnye podhody [Digital transformation of the electric power industry. Basic approaches]. *Energiya edinoj seti*, 2018, no. 4 (40), pp. 13-25.
2. *Ob utverzhdenii Strategii razvitiya sudostroitel'noj promyshlennosti na period do 2035 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 28 oktyabrya 2019 g. № 2553-r* (red. ot 21.10.2024) [On the approval of the Strategy for the Development of the shipbuilding Industry for the period up to 2035. Decree of the Government of the Russian Federation dated October 28, 2019 No. 2553-r]. Available at: <http://government.ru/docs/all/124379/> (accessed: 12.04.2025).
3. Glotov A. V., Cheremisinov S. V., Shcherbakov M. V. Ontologicheskaya model' risk-orientirovannogo upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem tekhnologicheskogo oborudo-
vaniya [Ontological model of risk-oriented management of the technical condition of technological equipment]. *Energiya edinoj seti*, 2019, no. 3 (45), pp. 77-85.
4. Fedotova A. V., Davydenko I. T. Ontologicheskoe modelirovaniye tekhnicheskogo obsluzhivaniya [Ontological modeling of maintenance]. *Otkrytie semanticheskie technologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem: materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* (Minsk, 19–21 fevralya 2015 g.). Minsk, Izd-vo Belorus. gos. un-ta informatiki i radioelektroniki, 2015. Pp. 429-438.
5. Lukin Yu. M. *Metody i algoritmy upravleniya tekhnicheskim obsluzhivaniem i remontom sudov* [Methods and algorithms for ship maintenance and repair management]. Moscow, Transport Publ., 2018. Pp. 56-59.

Статья поступила в редакцию 26.06.2025; одобрена после рецензирования 16.09.2025; принята к публикации 15.01.2026
The article was submitted 26.06.2025; approved after reviewing 16.09.2025; accepted for publication 15.01.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Юлия Денисовна Макарова – аспирант кафедры прикладной информатики; Астраханский государственный технический университет; yulia.dv@mail.ru

Iuliia D. Makarova – Postgraduate Student of the Department of Applied Informatics; Astrakhan State Technical University; yulia.dv@mail.ru

Ирина Олеговна Бондарева – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой прикладной информатики; Астраханский государственный технический университет; i.o.bondareva@mail.ru

Irina O. Bondareva – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Applied Informatics; Astrakhan State Technical University; i.o.bondareva@mail.ru

