

# Анализ и разработка требований к системе удаленной диагностики распределенных систем судового оборудования в Арктической зоне

Е.Н. Успенская, В.Г. Марача, М.Г. Жабицкий, О.В. Бойко

**Аннотация** – Актуальность работы определяется потребностью в повышении эффективности эксплуатации пространственно-распределенных инженерных систем, расположенных в суровых климатических условиях Арктической зоны с низкой плотностью обслуживающего квалифицированного персонала и сервисов. Предлагаемое решение, реализованное на базе промышленного Интернета вещей, позволит повысить экономическую эффективность эксплуатации судов в Арктике путем сокращения незапланированных аварий и простоев оборудования и упрощения процесса принятия решений на борту. В статье описывается влияние природных и техногенных факторов Арктической зоны на суда, находящиеся в автономном плавании, что определяет необходимость в разработке и внедрении системы удаленного мониторинга, принцип действия которой состоит в следующем: данные для мониторинга собираются с датчиков, расположенных на оборудовании, поступают на контроллеры для первичной обработки, затем передаются на Центры Обработки Данных (ЦОДы) для анализа, далее данные поступают в Облачную платформу в среде Интернет, интегрированную с информационными системами и сервисами, осуществляющими поддержку принятия решений на борту на основе модели обработки данных с использованием технологий искусственного интеллекта. Приводится описание заинтересованных сторон системы удаленной диагностики, их проблем и целей. Особое внимание уделяется выбору системной методологии, с помощью которой разрабатывается концептуальная схема решения и спецификация требований к системе в целом и к отдельным ее подсистемам.

**Ключевые слова** – системная методология, системное мышление, концептуальная схема, удаленная диагностика, распределенные системы, стейкхолдеры, системный анализ, требования.

Статья получена 5 июля 2022.

Успенская Екатерина Николаевна, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, магистрант, [katya.uspenskaya.1997@mail.ru](mailto:katya.uspenskaya.1997@mail.ru)

Марача Вячеслав Геннадьевич, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, кандидат философских наук, [maratcha@yandex.ru](mailto:maratcha@yandex.ru)

Жабицкий Михаил Георгиевич, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, заместитель директора ВИШ МИФИ, [jabitsky@mail.ru](mailto:jabitsky@mail.ru)

Бойко Ольга Владимировна, Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ, начальник отдела научно-исследовательских программ и взаимодействия с промышленными партнерами ВИШ МИФИ, [ovboyko@mephi.ru](mailto:ovboyko@mephi.ru)

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день все чаще говорят и хотят говорить об Арктике, и это неспроста, ведь за последние несколько лет в Арктической зоне происходят масштабные технологические изменения. Безусловно, это заслуга государства, поставившего развитие Арктики одной из приоритетных задач для России.

Среди ключевых задач стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации определены такие как инновационно-технологическое развитие промышленных систем, достижение высокой экологической, энергетической безопасности, бесперебойной спутниковой связи на территориях выше 70-ого градуса северной широты, получение гидрометеорологических данных высокого качества по полярному региону [1]. Данные задачи поставлены с целью обеспечить надежную работу технологических систем и организацию общей информационно-коммуникационной инфраструктуры обеспечения судоходной деятельности.

Нельзя оставить без внимания и деятельность по развитию Северного морского пути (СМП) – самой сложной транспортной магистрали, наиболее протяженной и удаленной от береговой линии, со сложным рельефом и тяжелыми ледовыми условиями. Деятельность по развитию СМП направлена на модернизацию и изменение арктического флота и его оборудования. Строительство новых современных судов требует немалых капиталовложений, что обуславливает необходимость совершенствования системы контроля за безопасностью судоходства – это одна из основных целей государственной политики развития Арктики [1].

Стоит отметить, что в силу сложных природно-климатических особенностей данного региона отдельной проблемой является дефицит людей в местах эксплуатации распределенных систем. Недостаток персонала также объясняется дороговизной присутствия каждого отдельного человека в арктической зоне и необходимостью применения особых мер и техники безопасности. Именно поэтому крайне необходимо перевести инженерные объекты и сервисы в Арктической зоне в режим функционирования при минимальном количестве персонала, что впоследствии позволит

снизить влияние субъективной оценки при принятии решений по управлению судовыми системами.

Благодаря технологиям Четвертой промышленной революции на базе цифровой трансформации производственных и сервисных процессов описанные цели становятся возможными. Решение, реализованное с помощью подхода «Промышленный интернет вещей» (Industrial Internet of Things, IIoT), представляет собой переход к системам мониторинга, удаленной диагностики и, впоследствии, принятия инженерных решений в ходе эксплуатации технологически сложного оборудования на основании полученных данных. В свою очередь, данные генерируются, накапливаются, обрабатываются и передаются при минимальном участии человека.

## II. ВЫБОР СИСТЕМНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ДЛЯ РАБОТЫ С ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИЕЙ

Как известно, разработка любой системы, технической или социальной, должна всегда начинаться с определения стейкхолдеров, их проблем, потребностей и целей, анализируя которые можно прийти к пониманию того, каким должен быть конечный «продукт», какие функции он должен выполнять, чтобы удовлетворить требования заинтересованных сторон.

Кроме того, вследствие стремительного развития нашего мира в технологическом, научном и социальном аспектах, системы могут различаться: по сложности структуры и процессов, по количеству участников, по схожести их взглядов и целей, по степени вовлеченности стейкхолдеров в развитие системы на разных этапах. Все эти критерии необходимо учитывать и подбирать соответствующие системные методологии и инструменты для решения задач организаций различной сложности.

Системные методологии ориентированы на системы, проблемы которых им предстоит решить, и способы решения этих проблем у каждой методологии свои, равно как и взгляды на целевую картину мира.

Удобнее всего рассмотреть разнообразие данных методологий с помощью матрицы М. Джексона и П. Кейза «Система Системных Методологий» (System Of Systems Methodologies, SOSM). Ячейки данной матрицы представляют собой абстрактные типы контекстов проблемных ситуаций (таблица 1), на которые ориентированы системные методологии.

Таблица 1 – Абстрактные типы проблемных контекстов

		Участники		
		Унитарные	Плюралистичные	Конфликтные
Системы	Простые	Унитарные и Простые	Плюралистичные и простые	Конфликтные и простые
	Сложные	Унитарные и Сложные	Плюралистичные и сложные	Конфликтные и сложные

По вертикальной оси в таблице 1 располагаются типы систем от простых до сложных. Простые системы характеризуются тем, что состоят из нескольких элементов, связанных небольшим

количеством жестко структурированных связей [2]. Сложные же системы, напротив, состоят из большого количества элементов со слабоструктурированными связями, результирующий эффект которых предопределяет непростое.

По горизонтальной оси таблицы 1 представлены участники, структурированные по типу их взаимоотношений в контексте проблемных ситуаций. Унитарные участники имеют единые цели и схожие ценности, равнозначно принимают участие в достижении этих целей. Плюралистичные участники имеют близкие интересы, но различные ценности и убеждения [2]. Конфликтные участники практически не имеют общих интересов, ценности и убеждения их кардинально различаются. Принятие решений осуществляется под влиянием преобладающей силы, власти, количества ресурсов, т.е. с помощью принуждения. Поэтому отношения таких участников называют коэргитивными (coercive).

Типологию системных методологий и системного мышления, основанную на «матрице проблемных контекстов», удобнее всего рассмотреть посредством таблицы 2.

Таблица 2 – Типы системного мышления в контекстах проблемных ситуаций

		Участники		
		Унитарные («моносубъектные»)	Плюралистичные («свободные субъекты»)	Коэргитивные («подсубъектные с принуждением»)
Системы	Простые	Тип А. «Жесткое» системное мышление (Необходимость достижения общих целей, фокусировка на средствах достижения целей)	Тип В. «Мягкое» системное мышление (Учет интересов всех сторон, согласованность целей)	Тип С. «Высвобождающее» системное мышление (Преодоление неравенства и установление справедливости)
	Сложные			Тип D. Постмодернистское системное мышление (Сохранение и поддержание разнообразия)

Для типа А характерно стремление к общей цели для повышения жизнеспособности системы и эффективности ее функционирования. Цель в таких системах ясна и четко определена заранее группой «моносубъектных» участников. Для жесткого системного мышления свойственен научно-инженерный подход к решению проблем.

Тип В направлен на согласование целей и достижение единства в рамках общей стратегии компании в случае разногласий со стороны участников. Мягкое системное мышление имеет организационно-деятельное отношение к миру, то есть при решении задач данный подход извлекает максимальную пользу не столько из результата, сколько из процесса.

Тип С решает гораздо более общественно важные задачи: он борется за свободу выражения взглядов и необходимость учета мнений всех стейкхолдеров, особенно тех, чьи права ущемляются. Цель «высвобождающего» (эмансипационного) системного мышления – достижения равноправия в

принятии решений и в пользовании благами от проектируемой совместными усилиями системы.

К типу D относятся постмодернистские системные методологии, цель которых – поддержание разнообразия при решении проблем системы. Разнообразие это достигается тем, что получают возможность самовыражаться те системы, которые до этого были под воздействием доминантных систем.

В настоящей работе мы предлагаем применить мультиметодологическую практику и использовать ценный опыт и знания мягкого и жесткого системного мышления. Данное решение, принятое на основании сравнения системных методологий различных типов системного мышления, обусловлено тем, что рассматриваемая система удаленной диагностики является сложной, открытой, т.е. на нее оказывает влияние окружающая среда и множество связанных с системой стейкхолдеров, отношения между которыми также неоднозначны. При этом система является технической и требует применения точных моделей для проектирования и разработки.

Мягкую системную методологию мы предлагаем применить к системе удаленной диагностики на первом этапе – исследования системы, это обусловлено большим количеством заинтересованных сторон, отношения между которыми необходимо проанализировать: как они связаны и какое отношение имеют к объекту исследования, исследовать различные взгляды каждой стороны на имеющиеся у нее проблемы. После серии интервью и переговоров будет определена цель, которая позволит устранить проблемы и повысить эффективность процессов организации.

Далее мы предлагаем воспользоваться методами жесткого системного мышления, применение которых обусловлено необходимостью взглянуть на систему абстрагируемо от участников, как на «машину» и единый «механизм», в котором нужно учесть именно работу производственных процессов внутри системы и снаружи, описать ограничения, накладываемые на архитектуру решения окружающей средой, разработать концептуальную схему, описывающую взаимодействия компонентов системы, участников и внешних систем, далее на основе данной схемы становится возможным сформировать требования к системе в целом, к ее подсистемам и программным модулям. На основе разработанных требований будет осуществляться последующее проектирование и разработка функциональной и физической конфигурации системы удаленной диагностики для географически распределенных систем оборудования в Арктической зоне.

### III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН СИСТЕМЫ

Проявление эмпатии к конечному пользователю для создания продукта, способного решить проблемы

и расширить возможности пользователей, является одним из самых важных моментов при разработке любой системы.

Заказчиком системы удаленной диагностики для распределенных систем оборудования в Арктической зоне является Северный Арктический Федеральный университет им. М.В. Ломоносова (САФУ), имеющий, помимо образовательных, еще и научные и инновационные цели развития, и проводящий эксплуатационную деятельность на судах в Арктической зоне для изучения состояния экосистемы.

Помимо заказчика, система имеет множество заинтересованных сторон, которые более наглядно можно отобразить с помощью карты стейкхолдеров на рисунке 1.

Карта стейкхолдеров – это инструмент, позволяющий учесть все интересы заинтересованных сторон при проектировании продукта/услуги. Данная карта разделяет стейкхолдеров на несколько категорий: первичные, вторичные и окружение [3].

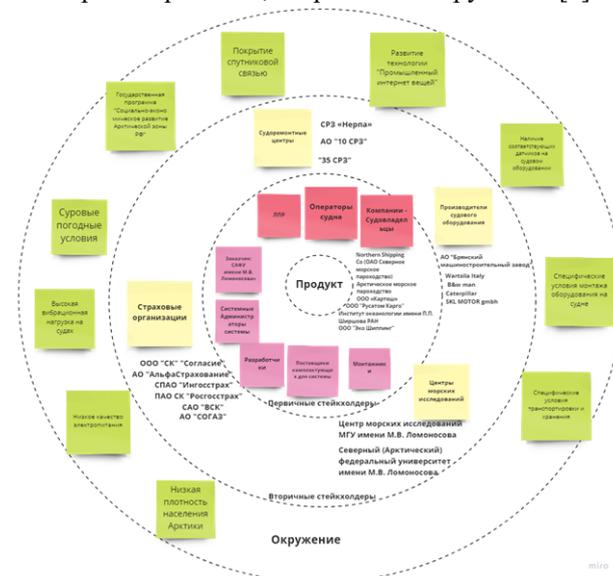


Рисунок 1 – Карта стейкхолдеров

Первичные стейкхолдеры – это люди, организации и сообщества, напрямую контактирующие с разрабатываемой системой и имеющие на нее прямое влияние [3].

К первичным стейкхолдерам относятся 2 категории сообществ, которые для наглядности разделены на рисунке 1 по цветам: конечные пользователи системы, запечатленные на розовых стикерах, и сотрудники, разрабатывающие и поддерживающие рассматриваемую систему – на фиолетовых стикерах.

К конечным пользователям внутреннего круга стейкхолдеров относятся: судовые операторы, лицо, принимающее решение (ЛПР), компании-судовладельцы.

Вторичные стейкхолдеры – это люди, организации и сообщества, воздействующие на разрабатываемую систему косвенно, но способные влиять на мнения, отношения и решения первичных стейкхолдеров [3].

Ко вторичным стейкхолдерам относятся 4 категории сообществ: судоремонтные центры («Нерпа», «10 СРЗ», «35 СРЗ»), страховые организации (ООО «СК» «Согласие», АО «АльфаСтрахование», СПАО «Ингосстрах», ПАО СК «Росгосстрах», САО «ВСК», АО «СОГАЗ»), центры морских исследований, производители судового оборудования (АО «Брянский машиностроительный завод», Wartsila, MAN B&W, Caterpillar, SKL Motor GmbH).

Окружение на карте стейкхолдеров – это события, тренды, контекст, погода, политическая ситуация, сервисы, платформа.

Поскольку система удаленной диагностики будет внедрена на суда, эксплуатируемые в Арктической зоне, то на нее оказывают влияния суровые техногенные, социальные и природно-климатические факторы.

К техногенным факторам относятся: высокая вибрационная нагрузка на судах, низкое качество электропитания, неустойчивая спутниковая связь, специфические условия монтажа, транспортировки и хранения оборудования.

К социально-организационным факторам относятся: Государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ», низкая плотность населения Арктики.

К природно-климатическим факторам относятся: низкая температура, высокая влажность, взаимодействие с соленой водой, аномальные геомагнитные режимы, ветра и штормы.

Перечисленные факторы окружения накладывают ограничения на архитектуру решения системы, требуя от нее высокой надежности и безопасности.

#### IV. ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМ СТЕЙКХОЛДЕРОВ

В ходе проведенных интервью со стейкхолдерами (приложение А) были определены их проблемы при работе с судовыми объектами, которые способен решить разрабатываемый продукт.

##### 1. Проблемы «Компании-судовладельца»:

1.1. Невозможность предсказать срок службы оборудования в любое время и в любом месте;

1.2. Невозможность предсказать срок потенциального отказа или аварии оборудования и его компонентов;

1.3. Невыполнение судовой компанией условий договора по предоставлению услуг грузоперевозки / исследовательской деятельности при внезапной аварии и поломки судового оборудования;

1.4. Значительные материальные затраты по капитальному ремонту оборудования;

1.5. Невозможность получать информацию о работе судового оборудования на берегу дистанционно в любое время;

1.6. Возможность возникновения ошибки вследствие человеческого фактора при переносе данных с датчиков на бортовой компьютер оператором на судне;

1.7. Временные потери при ручном переносе данных с датчиков на бортовой компьютер;

1.8. Простой судна при незапланированные отказах и поломках оборудования;

1.9. Длительное время ожидания ремонтных спасательных служб при возникновении аварии во время движения судна вдали от берега;

1.10. Невозможность получить консультацию и помощь в принятии решений от специалистов с береговых ЦОД в режиме реального времени;

1.11. Длительное время передачи данных о работе судового оборудования и устройств;

##### 2. Проблемы «Операторов судна», ЛПП:

2.1. Сложность при визуальном считывании данных с датчиков судового оборудования в условиях ограниченной видимости;

2.2. Временные потери при ручном переносе данных с датчиков на бортовой компьютер;

2.3. Временные потери при просмотре истории данных с датчиков судового оборудования посредством машинного журнала;

2.4. Невозможность предсказать отказ оборудования или аварийную ситуацию на судне;

2.5. Возможность возникновения ошибки вследствие человеческого фактора при переносе данных с датчиков на бортовой компьютер оператором на судне;

2.6. Длительное время обмена данными о работе судового оборудования с экспертами на берегу;

2.7. Невозможность получить консультацию и помощь в принятии решений от специалистов с береговых ЦОД в режиме реального времени;

2.8. Высокая вероятность принятия ошибочного решения в отношении управления сложным инженерным объектом в отсутствие точной предиктивной модели контролируемых параметров оборудования;

##### 3. Проблемы «Судоремонтных центров»:

3.1. Излишняя закупка невостребованных деталей;

3.2. Недостаток закушенных деталей, на которые повысился спрос;

3.3. Невозможность предугадать, на какие именно детали будет спрос;

3.4. Длительное время осуществления ремонтных работ вследствие долгого ожидания доставки недостающего оборудования или деталей;

3.5. Длительное время осуществления ремонтных работ вследствие долгой диагностики ремонтируемого судна из-за отсутствия истории данных о работе оборудования;

3.6. Длительное время осуществления ремонтных работ вследствие отсутствия необходимых инструментов и ремонтного оборудования из-за невозможности предсказать причину и источник неисправности;

3.7. Длительное время осуществления ремонтных работ из-за отсутствия необходимых компетенций вследствие невозможности предсказать причину и источник неисправности;

4. Проблемы «Производителей судового оборудования»:

4.1. Длительное время совершенствования технологии производства судового оборудования в

отсутствие данных о его работе при различных условиях в различных режимах эксплуатации;

4.2 Длительное время на сокращение временных и материальных издержек производства судового оборудования в отсутствие данных о его работе при различных условиях эксплуатации;

4.3 Длительное время совершенствования выпускаемого оборудования в отсутствие данных о его работе при различных условиях в различных режимах эксплуатации;

5. Проблемы «Страховых компаний»:

5.1 Большие затраты на страховые выплаты по капитальному ремонту оборудования;

5.2 Предоставление страховых условий судовладельцам без четкого понимания срока службы оборудования и истории данных о его работе;

5.3 Недостаточное количество данных, неактуальные данные для построения модели прогнозирования страховых событий, на основе которой устанавливаются страховые тарифы;

5.4 Высокие риски вследствие слабой предиктивной модели, основанной на недостаточном и неполном объеме данных о работе судового оборудования;

6. Проблемы «Центров морских исследований»:

6.1 Временные и материальные потери при проведении исследовательских работ из-за аварий или неисправностей на судне;

6.2 Невозможность четко оценить сроки проведения исследования из-за отсутствия данных о работе судового оборудования;

6.3 Сложность при оценивании рисков эксплуатации исследовательского судна вследствие отсутствия истории данных о работе судового оборудования;

6.4 Невыполнение исследовательских работ вследствие простоя судна при длительном внезапном ремонте.

#### V. ПОСТАНОВКА ЦЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПРОБЛЕМ СТЕЙКХОЛДЕРОВ

В процессе проведения индивидуальных интервью с заинтересованными сторонами было отмечено, что хотя участники и имеют общие ценности и приоритеты в отношении работы с судовыми установками, а именно: высокая безопасность, удобство эксплуатации, высокая функциональность предполагаемого устройства, оптимизация рабочих процессов, но при этом сформулировать общие цели участникам затруднительно в силу разных взглядов и ожиданий в отношении разрабатываемого устройства, которое будет способно решить их проблемы.

Для того, чтобы сформулировать общие цели, с которыми будут согласны все заинтересованные стороны, мы организовали для стейкхолдеров онлайн-встречу, на которой все имели возможность высказаться, согласиться или оспорить предлагаемую формулировку целей. Мы, в свою очередь, помогали стейкхолдерам прийти к единому мнению

посредством высказывания предложений в отношении свойств будущей системы, фиксируя те, с которыми большинство было согласено. Таким образом, нам удалось сформулировать единые цели по отношению к системе удаленной диагностики:

1. Генерация сигнала от датчиков судового оборудования;

2. Обработка данных контролируемого оборудования;

3. Передача данных внутри локального (судового) сегмента, кустового сегмента и в распределенном сегменте в среде Интернет;

4. Хранение данных;

5. Предиктивный анализ данных;

6. Уведомление персонала судна о возможности отказа или поломки контролируемого оборудования;

7. Работа системы на судах в любой широте Арктической зоны;

8. Устойчивая и безотказная работа системы с учетом сложных техногенных и природных условий Арктики;

9. Масштабируемая система с возможностью расширения функционала и изменения единиц контролируемого оборудования;

10. Самодиагностика компонентов системы;

11. Удобный и понятный пользовательский интерфейс системы;

12. Влагозащищенность коммутационных элементов аппаратной части системы;

13. Модульная архитектура системы;

14. Безопасное функционирование на всем жизненном цикле системы;

15. Согласованное функционирование компонентов системы.

#### VI. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ

Система удаленной диагностики должна осуществлять сбор, анализ, передачу, обработку и хранение данных. На основании данных процессов система осуществляет контроль и мониторинг судового оборудования, оказывая поддержку оператору судна в принятии решений о дальнейшей работе оборудования во избежание возникновения неисправностей и аварий на распределенном объекте. Кроме того, система удаленной диагностики с помощью алгоритмов и технологий искусственного интеллекта способна осуществлять предиктивный анализ и давать прогнозы о работе оборудования и сроках проведения необходимого ремонта для предотвращения незапланированных аварий.

На рисунке 2 представлена концептуальная схема системы удаленной диагностики распределенных инженерных объектов в Арктической зоне.

Система удаленной диагностики должна включать следующие сегменты [4]:

- Локальный (судовой) сегмент (экипажное или безэкипажное судно);
- Кустовой сегмент (караван судов);
- Система циркуляции данных;

- Стационарные береговые объекты с высокоскоростным подключением к глобальной среде Интернет;
- Облачная платформа, развернутая в среде Интернет, обеспечивающая надежное хранение данных, предоставляющая доступ к данным стейкхолдерам и экспертам на основании их ролей и полномочий;
- Информационные системы и сервисы, интегрированные с облачной платформой, осуществляющие поддержку процесса принятия решений на основе модели обработки данных с использованием технологий искусственного интеллекта;
- Система информационной безопасности.

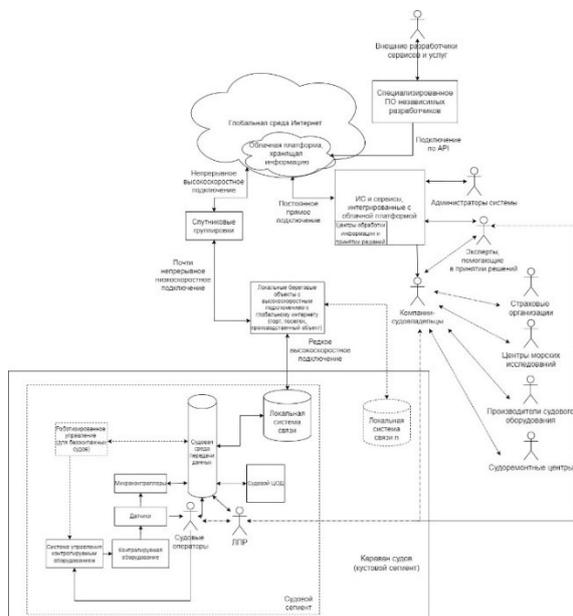


Рисунок 2 – Концептуальная схема системы удаленной диагностики распределенных инженерных объектов в Арктике

Рассмотрим подсистемы локального судового сегмента:

- Подсистема генерации данных;
- Подсистема обработки данных;
- Подсистема хранения данных;
- Подсистема передачи данных.

Подсистема генерации данных представлена в виде датчиков контролируемого оборудования и контроллеров, выполняющих функцию первичной обработки цифровых данных, поступающих от «умных» датчиков. Генерация данных может осуществляться двумя способами: данные, генерируемые датчиками, и данные, считываемые судовым персоналом с последующим фиксированием этих данных в цифровые системы, машинные журналы или передачей посредством коммуникации человек-человек. При прямой генерации данных в цифровой форме от «умных» датчиков пропускается этап объективной оценки данных персоналом через шкалы, индикаторы и другие интерфейсы.

Рассматриваемые данные характеризуют объект и его состояние в определенный момент времени –

например, такие параметры, как температура, мгновенная мощность, обороты двигателя, давление, напряжение, уровни масла и охлаждающей жидкости, топлива и т.д. Такие данные представляют наибольшую ценность с точки зрения эффективности процесса эксплуатации инженерного объекта.

Осуществление функций интеграции данных с контроллеров для последующего управления жизненным циклом данных: хранение, обработка, передача данных на удаленные сегменты облачной платформы в среде Интернет происходит в программном комплексе, развернутом на базе локального (судового) ЦОД.

Программное обеспечение на судне поддерживает согласованное функционирование судовых программных комплексов в составе каравана судов. Данное программное обеспечение имеет ядро, развернутое на судовом ЦОД.

Программное обеспечение облачной платформы, развернутое в глобальной среде Интернет и локализованное на серверах и в информационных системах, обеспечивает доступ к данным и сервисам платформы первичным стейкхолдерам и береговым экспертам, помогающим в принятии решений. Программное обеспечение облачной платформы обеспечивает хранение данных, информационную безопасность и защищенность компонентов информационных систем и сервисов платформы.

Подсистема защищенной передачи данных системы удаленной диагностики на арктических судах может иметь два варианта исполнения. В первом варианте передача данных осуществляется монопольным подключением одного локального (судового) сегмента в глобальную среду Интернет через спутниковые группировки. Такое подключение целесообразно реализовывать для отдельного распределенного объекта, находящегося на значительном расстоянии от других подобных объектов и от береговых стационарных объектов [4].

Второй вариант передачи данных имеет место для автономных объектов, движущихся в составе каравана судов, либо находящихся в пределах прямой радиосвязи со стационарными береговыми объектами с высокоскоростным подключением к Интернету. Такой тип передачи данных показан на концептуальной схеме на рисунке 2. Автономное судно в составе каравана имеет единую среду передачи данных в рамках динамического локального сегмента с высокой скоростью передачи данных, при этом обеспечивается связанность данного сегмента с глобальной средой Интернет за счет многоточечной коммуникации со спутниковыми группировками. Такая передача данных является более устойчивой с точки зрения целостности единой среды передачи данных, чем при единичном подключении каждого судна к глобальной среде Интернет через индивидуальные спутниковые каналы [4].

## VII. РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ УДАЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ОБОРУДОВАНИЯ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

На основании анализа проблем стейкхолдеров и концептуальной схемы системы удаленной диагностики с подробно описанным архитектурным решением разработаны требования к системе удаленной диагностики в целом и к отдельным ее подсистемам, включая требования к ПО и к информационной безопасности.

Требования к системе в целом:

1. Элементы инженерных объектов, эксплуатируемых в арктической зоне, должны быть подключены к системе удаленной диагностики глобального цифрового мониторинга поэтапно;

2. Система должна быть развернута на распределенных инженерных объектах поэтапно;

3. На первых этапах апробации и внедрения системы удаленной диагностики должны быть подключены модули мониторинга, контроля и диагностики наиболее существенных элементов инженерных объектов;

4. Система должна генерировать, обрабатывать, хранить и передавать данные с датчиков контролируемого оборудования распределенных инженерных систем;

5. Система удаленной диагностики должна использовать данные для контроля и мониторинга, существенным образом характеризующие состояние и диагностируемого оборудования распределенных инженерных объектов;

6. Система удаленной диагностики должна иметь возможность применяться на сложных инженерных объектах в любой широте Арктической зоны;

7. Система удаленной диагностики должна устойчиво и безотказно работать в сложных природно-климатических условиях Арктики;

8. Система удаленной диагностики должна устойчиво и безотказно работать в сложных техногенных условиях Арктической зоны;

9. Архитектура системы удаленной диагностики должна быть открытой для возможности подключения новых сервисов и заинтересованных сторон с согласования владельца системы при соблюдении норм и регламентов системы;

10. Система удаленной диагностики должна иметь возможность подключать поддерживающие объекты (склады, мастерские, диагностические центры и другие инженерные и организационные структуры для повышения эффективности функционирования системы);

11. Система удаленной диагностики должна быть масштабируемой по количеству инженерных объектов, единиц оборудования и по расширению функционала;

12. Система удаленной диагностики должна иметь возможность эксплуатироваться на различных типах судов: экипажных, безэкипажных, судов в составе каравана, одиночных судов;

13. Система удаленной диагностики должна работать круглосуточно и бесперебойно при различных условиях эксплуатации;

14. Система удаленной диагностики должна предусматривать возможность автоматизированного управления ею владельцами и/или выделенным персоналом владельца автономных инженерных объектов;

15. Система удаленной диагностики должна предоставлять доступ к системе разработчикам сервисов и алгоритмов обработки данных по запросу владельца системы;

16. Система удаленной диагностики должна осуществлять самодиагностику всех своих компонентов на всех этапах жизненного цикла системы;

17. Система удаленной диагностики должна предусматривать возможность непрерывного развития самой системы;

18. Система удаленной диагностики должна предусматривать возможность расширения своего функционала;

19. Система удаленной диагностики должна предусматривать возможность повышения своей эффективности;

20. Система удаленной диагностики должна предусматривать возможность повышения своей надежности;

21. Система удаленной диагностики должна предусматривать возможность повышения своей безопасности;

22. Система удаленной диагностики должна иметь интуитивно понятный интерфейс для пользователей системы: судового персонала, разработчиков, персонала береговых ЦОД и других стейкхолдеров;

23. Система удаленной диагностики должна иметь модульную структуру;

24. Физические компоненты системы удаленной диагностики должны быть выполнены из материала, выдерживающего температуры до -50 градусов Цельсия;

25. Физические компоненты системы удаленной диагностики должны быть выполнены из коррозионностойкого материала и покрытия;

26. В конструкции системы удаленной диагностики должна быть предусмотрена надежная изоляция электрических схем, коммутационных групп, кабелей питания;

27. В конструкции системы удаленной диагностики должны быть предусмотрены системы продувки, осушения, проветривания и подогрева потоков воздуха;

28. Конструкция системы удаленной диагностики должна быть устойчива к интенсивным ветровым нагрузкам до 20 м/с;

29. Конструкция системы удаленной диагностики должна быть устойчива к вибровоздействиям и ударным нагрузкам при качке и вибрациях до 150 Гц;

30. В конструкции системы удаленной диагностики должна быть предусмотрена

совместимость и устойчивая работа электронного оборудования, схемотехники и электронных компонент при подключении к источникам питания с различными параметрами, в том числе неустойчивыми параметрами;

31. Система удаленной диагностики должна иметь резервное электропитание для перевода систем оборудования в защищенные режимы;

32. Разработка физической архитектуры системы удаленной диагностики должна быть осуществлена с учетом региональных и отраслевых требований к монтажу и размещению оборудования;

33. Монтажные работы конструкции системы удаленной диагностики должны быть проведены с учетом комфортности монтажа и эксплуатации на объекте;

34. Конструкционные элементы системы удаленной диагностики должны быть надежными для минимизации вероятности отказа;

35. В системе удаленной диагностики должен быть обеспечен контроль перегрузки устройств системы;

36. В системе удаленной диагностики должен быть обеспечен контроль повышения температуры устройств системы, превышающей критическое для эксплуатации значение;

37. Конструкция системы удаленной диагностики должна обеспечивать легкий доступ к заменяемым элементам для технического обслуживания и ремонта;

38. Система удаленной диагностики должна иметь устройства, посредством которых обеспечивается управление контролируемым оборудованием персоналом судна или роботизированной системой управления (для безкипажных судов).

Требования к информационной безопасности системы удаленной диагностики:

1. Система удаленной диагностики должна функционировать максимально безопасно на всем жизненном цикле работы системы;

2. В системе удаленной диагностики должно быть предусмотрено управление правами доступа пользователей системы к информации и данным, находящимся в системе;

3. В системе удаленной диагностики должна быть обеспечена сохранность личных данных каждого пользователя;

4. Система удаленной диагностики должна исключать возможность несанкционированного доступа сторонним лицам к информации и данным, находящимися в системе;

5. Система удаленной диагностики должна исключать возможности порчи информации и данных, находящихся в системе;

6. Система удаленной диагностики должна исключать возможности потери информации и данных, находящихся в системе;

7. Система удаленной диагностики должна исключать возможности подмены информации и данных, находящихся в системе;

8. Система удаленной диагностики должна исключать возможности перекодировки информации и данных, находящихся в системе;

9. Система удаленной диагностики должна иметь возможность передавать обезличенные данные для разработки моделей, в основе которых лежат алгоритмы и процедуры машинного обучения, для осуществления предиктивной аналитики распределенных инженерных систем;

10. Система удаленной диагностики должна иметь возможность предотвращать угрозы кибербезопасности;

11. В системе удаленной диагностики должна быть предусмотрена защита сети с использованием безопасных протоколов;

12. В системе удаленной диагностики подключение к Интернету из локального (судового) сегмента должно быть защищено шлюзом.

Требования к подсистеме генерации данных системы удаленной диагностики:

1. Система удаленной диагностики должна обеспечить, чтобы все поступающие на контроллер с датчиков судового оборудования данные были достоверными;

2. Система удаленной диагностики должна обеспечить, чтобы данные генерировались на контроллер в формате цифровых сигналов;

3. Система удаленной диагностики должна обеспечить сбор данных с датчиков на контроллеры в режиме реального времени;

4. Система удаленной диагностики на уровне контроллеров должна обеспечить обработку первичных цифровых данных с датчиков оборудования;

5. Система удаленной диагностики на уровне контроллеров должна обеспечить интеграцию данных в центры обработки данных для их последующих хранения, обработки и передачи;

6. Система удаленной диагностики должна обеспечить возможность ввода данных показаний с датчиков оборудования персоналом судна в цифровые системы (в случае отсутствия прямой генерации данных на контроллеры с «умных» датчиков);

7. Система удаленной диагностики должна обеспечить возможность ввода персоналом судна наблюдаемых параметров о работе инженерного объекта и его систем.

Требования к подсистеме обработки данных системы удаленной диагностики:

1. Система удаленной диагностики должна обеспечить обработку данных на базе микропроцессорных контроллеров и серверов локальных (судовых) ЦОД с выделением критически важной информации (данных);

2. Система удаленной диагностики должна обеспечить возможность обработки информации на базе человеко-машинных комплексов с последующей поддержкой принятия решений на инженерном объекте;

3. Система удаленной диагностики должна обеспечить на основе алгоритмов функционирования

поддержку принятия решений для персонала на судне;

4. Система удаленной диагностики должна обеспечить на основе алгоритмов функционирования отправление оперативных уведомлений о неисправностях персоналу на судне;

5. Система удаленной диагностики должна обеспечить на основе алгоритмов функционирования отправление оперативных уведомлений об опасностях персоналу на судне;

6. Система удаленной диагностики должна обеспечить на основе алгоритмов функционирования отправление оперативных уведомлений о рисках персоналу на судне;

7. Система удаленной диагностики через цифровую среду, развернутую в сети Интернет, должна обрабатывать данные с использованием технологии искусственного интеллекта и экспертным образом.

Требования к подсистеме передачи данных системы удаленной диагностики:

1. Система удаленной диагностики должна обеспечивать поэтапную иерархическую (в соответствии со значимостью) передачу данных в ядро системы в глобальной среде Интернет;

2. Система удаленной диагностики должна обеспечить максимально быструю передачу критически важной информации в ядро системы в глобальной среде Интернет;

3. Система удаленной диагностики должна обеспечить автоматическую передачу всего объема накопленных данных в глобальную среду Интернет при входе в зону устойчивой связи;

4. Система удаленной диагностики должна обеспечить контроль полноты передачи информации в ядро системы в глобальной среде Интернет;

5. Система удаленной диагностики должна обеспечить контроль качества передачи информации в ядро системы в глобальной среде Интернет;

6. Система удаленной диагностики должна иметь резервированные каналы связи;

7. Система удаленной диагностики должна предусматривать возможность оперативной замены устройств передачи данных при возникновении новых устойчиво работающих систем передачи данных в районах эксплуатации;

8. Система удаленной диагностики должна предотвращать превышение объема передаваемой информации;

9. Система удаленной диагностики должна обеспечить надежный обмен данными между компонентами локального (судового) сегмента.

Требования к подсистеме хранения данных системы удаленной диагностики:

1. Система удаленной диагностики должна обеспечить надежное хранение данных в локальных (судовых) центрах обработки данных;

2. Система удаленной диагностики должна обеспечить сохранность некритичных данных до возможности передачи их в глобальную среду Интернет при входе в зону устойчивой связи;

3. Система удаленной диагностики должна сохранять все накопленные в ходе эксплуатации данные в ядре системы локального ЦОД в нештатных условиях отключения системы.

Требования к программному обеспечению системы удаленной диагностики:

1. Программное обеспечение системы удаленной диагностики должно обеспечивать согласованное функционирование судовых программных комплексов в составе каравана судов;

2. Развернутое в среде Интернет программное обеспечение облачной платформы системы удаленной диагностики должно обеспечивать надежное функционирование информационных систем и сервисов платформы;

3. Развернутое в среде Интернет программное обеспечение облачной платформы системы удаленной диагностики должно предоставлять доступ всем пользователям к данным в соответствии с назначенными им правами;

4. Развернутое в среде Интернет программное обеспечение облачной платформы системы удаленной диагностики должно предоставлять доступ всем пользователям к ИС и сервисам платформы в соответствии с их правами;

5. Развернутое в среде Интернет программное обеспечение облачной платформы системы удаленной диагностики должно предоставлять возможность внешнего подключения специализированного ПО независимых разработчиков по API;

6. Развернутое в среде Интернет программное обеспечение облачной платформы системы удаленной диагностики должно обеспечивать надежное хранение данных;

7. Развернутое в среде Интернет программное обеспечение облачной платформы системы удаленной диагностики должно обеспечивать безопасность информационных систем и сервисов облачной платформы.

## VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлена уникальная методика анализа прототипов и разработки требований к системе удаленной диагностики распределенных систем сложного инженерного оборудования автономных объектов в Арктической зоне, основанная на объединении методологий жесткого и мягкого системного мышления. Представлен новый взгляд на описание стейкхолдеров: через карту заинтересованных сторон, которая классифицирует участников на первичных, вторичных и окружение, что позволяет лучше понять проблемы и цели участников. Кроме того, статья содержит концептуальную схему системы удаленной диагностики с подробным описанием ее верхнеуровневой архитектуры и реестром требований к системе в целом и к отдельным ее подсистемам.

Стоит отметить, что, несмотря на то, что в данной работе в качестве инженерных объектов

рассматриваются арктические суда, контроль и мониторинг двигателей которых будет осуществлять разрабатываемая система удаленной диагностики, данное решение в будущем можно также распространить на другие элементы судового оборудования и на другие распределенные инженерные объекты: специальная техника МЧС, автономные стационарные и мобильные сооружения и устройства мониторинга в Арктической зоне.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556> (дата обращения 10.06.2022).
- [2] Jackson M. Systems Thinking: Creative Holism for Managers. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2003.
- [3] Путь клиента. Лекции. // Корпоративная академия Росатом. – 2021. – 65 с.
- [4] Жабицкий М.Г. Подходы к созданию архитектуры системы удаленной диагностики сложных инженерных объектов в арктической зоне / О.В. Бойко, Г.В. Свердлик, Е.С. Лагутина // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162. Vol. 10. – 2022. – №1. – С. 6-12.

# Analysis and Development of Requirements for Remote Diagnostics of Distributed Ship Equipment Systems in the Arctic Zone

E.N. Uspenskaya, V.G. Maracha, M.G. Zhabitsky, O.V. Boyko

**Abstract – The relevance of the paper is determined by the need to improve the efficiency of operating spatially distributed engineering systems located in the harsh climatic conditions of the Arctic zone with a low density of qualified personnel and services. The proposed solution, implemented on the basis of the industrial Internet of Things, will increase the economic efficiency of ship operation in Arctic by reducing unplanned accidents and equipment downtime and simplifying the decision-making process on board. We describe the influence of natural and man-made factors of the Arctic zone on vessels in autonomous navigation, which determines the need for the development and implementation of a remote monitoring system, which principle of operation is as follows: monitoring data is collected from sensors located on equipment, sent to controllers for primary processing, then transmitted to Data Processing Centers (data centers) for analysis, then the data is sent to a Cloud platform in an Internet environment integrated with information systems and services, providing decision-making support on board. These systems and services are based on a data processing model using artificial intelligence technologies. We describe the stakeholders of the remote diagnostics system, their problems and goals. Particular attention is paid to the choice of a systems methodology, with the help of which a conceptual solution scheme and specification of requirements for the system as a whole and for its individual subsystems are developed.**

**Keywords – systems methodology, systems thinking, conceptual scheme, remote diagnostics, distributed systems, stakeholders, systems analysis, requirements.**

## REFERENCES

- [1] Decree of the President of the Russian Federation No. 645 dated October 26, 2020 "On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035". – Access mode: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556> (Date of request: 10.06.2022).
- [2] Jackson M. Systems Thinking: Creative Holism for Managers. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2003.
- [3] The client's path. Lectures. // Rosatom Corporate Academy. – 2021. – 65 p.
- [4] Zhabitsky M.G. Approaches to creating the architecture of a system for remote diagnostics of complex engineering facilities in the Arctic zone / O.V. Boyko, G.V. Sverdlik, E.S. Lagutina // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162. Vol. 10. – 2022. – №1. – p. 6-12.