

Подходы к созданию архитектуры системы удаленной диагностики сложных инженерных объектов в арктической зоне

М.Г. Жабицкий, О.В. Бойко, Г.В. Свердлик, Е.С. Лагутина

Аннотация — В настоящее время в рамках сквозных технологий Четвертой промышленной революции рассматриваются вопросы повышения эффективности эксплуатации инженерных систем в режиме пространственной распределенности, работы в сложных природно-климатических условиях и дефиците квалифицированного персонала и сервисов в регионах эксплуатации. Примером таких систем может быть широкий спектр оборудования, эксплуатируемого в арктической зоне Российской Федерации, включая Северный Морской Путь и прилегающие сухопутные территории. Современные цифровые технологии и тенденции их применения дают возможность для выполнения этих требований на базе цифровой трансформации производственных и сервисных процессов. Ключевой идеей такой трансформации является переход к системам мониторинга и принятия инженерных решений в ходе эксплуатации технологически сложного оборудования на основании данных.

В статье предложен и описан подход к построению человеко-машинной системы, осуществляющей управление сложными инженерными объектами в условиях Крайнего Севера на базе потока данных, генерируемых как машинной, так и человеческой компонентой инженерной системы.

Исследования проводились при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

Ключевые слова — удаленная диагностика, интернет вещей, анализ данных, технологическое развитие Арктики, цифровые технологии.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в рамках сквозных технологий Четвертой промышленной революции рассматриваются вопросы повышения эффективности эксплуатации инженерных систем в режиме пространственной распределенности, работы в сложных природно-климатических условиях и дефиците квалифицированного персонала и сервисов в регионах эксплуатации. Примером таких систем может быть

широкий спектр оборудования, эксплуатируемого в арктической зоне Российской Федерации, включая Северный Морской Путь и прилегающие сухопутные территории [1-3]. Хозяйственная деятельность в этой зоне активно расширяется на базе использования сложной современной техники при минимизации присутствия квалифицированного персонала и объектов инженерного сервиса. Примерами объектов присутствия такого оборудования могут быть:

- суда и корабли, работающие на Северном морском пути;
- производственные комплексы и энергетические объекты в арктической зоне;
- инженерная инфраструктура постоянных и вахтовых населённых пунктов в арктической зоне;
- системы транспорта в арктической зоне
- распределенные системы мониторинга окружающей среды;
- системы обеспечения безопасности, включая оборудование и объекты МЧС и других спасательных служб.

Фактически, все эти объекты и системы в настоящее время базируются на применении сложного оборудования, требующего контроля, мониторинга, диагностики и управление техническим состоянием. Отдельной проблемой является дефицит людей в зоне эксплуатации такого оборудования, прежде всего вследствие неблагоприятных природно-климатических условий для населения. Само по себе присутствие каждого человека в арктической зоне является дорогостоящим процессом, становится нагрузкой для экономической эффективности, а также требует обеспечения безопасности. Таким образом, крайне желательно вывести максимальную долю сервисов для производственных и логистических процессов в арктической зоне в режим функционирования при минимальном количестве персонала.

Технологии Четвертой промышленной революции и тенденции их применения дают возможность для выполнения этих требований на базе цифровой трансформации производственных и сервисных процессов. Ключевой идеей такой трансформации является переход к системам мониторинга и принятия инженерных решений в ходе эксплуатации технологически сложного оборудования на основании

Статья получена 01 декабря 2021.

М.Г.Жабицкий, НИЯУ МИФИ (e-mail: jabitsky@mail.ru)

О.В. Бойко, НИЯУ МИФИ (e-mail: ovboyko@mephi.ru)

Г.В. Свердлик, НИЯУ МИФИ (e-mail: mgzhabitskii@mephi.ru)

Е.С.Лагутина, НИЯУ МИФИ (e-mail: mgzhabitskii@mephi.ru)

данных. При этом такие данные большей своей частью генерируются, накапливаются и передаются без участия человека. Такой подход к эксплуатации инженерного оборудования имеет название «Промышленный интернет вещей» (Industrial Internet of Things, IIoT). Часто встречается заблуждение, что внедрение этой технологии исключает деятельность человека из производственного процесса. Безусловно, это не так. И на уровне принятия решений в удаленных центрах компетенций, и при выполнении операций на локальных объектах абсолютно необходимо участие персонала. Особенно это важно для инженерных систем, эксплуатируемых в сложных и опасных условиях, когда цена ошибки велика и может включать в себя угрозы жизни и здоровью людей. Это является следствием целого ряда факторов, таких как сложные условия окружающей среды, быстрые изменения обстановки, недостаточные опыт эксплуатации и апробированность таких систем, а также технологическая сложность. Таким образом, задачей настоящей работы является построение человеко-машинной системы, осуществляющей управление сложными инженерными объектами в условиях Крайнего Севера на базе потока данных, генерируемых как машинной, так и человеческой компонентой инженерной системы.

Постоянный мониторинг критически важных технических систем имеет решающее значение для предотвращения неисправностей и поломок во время дальнего плавания. Мониторинг также важен для лучшего планирования технического обслуживания. Общие технические и экологические характеристики корабля зависят от тщательной диагностики.

В настоящее время существующие системы мониторинга судового оборудования зачастую сводятся к заполнению машинного журнала. Даже на современных судах, где присутствует электронная версия журнала, все равно должен быть «бумажный» вариант. Несмотря на большой объем накопленных данных «в бумаге», аналитика аварийных случаев, не явившимися причиной серьезного повреждения судна, затруднена. Следствием малых аварий может являться неэффективное использование средств судовладельца и снижение срока эксплуатации оборудования.

Неконсолидированные предоставляемые данные о состоянии различных систем сложно использовать для оптимизации всего процесса эксплуатации. Кроме того, сложно сравнивать характеристики аналогичных судов в различных обстоятельствах или выявить лучшие эксплуатационные результаты.

Одним из путей решения оптимизации эксплуатации судна становится применение современных возможностей информационных технологий в части информационно-аналитической и интеллектуальной поддержки судоводителей, судовладельцев и производителей двигателей.

Сегодня на судах мирового флота уже эксплуатируются новейшие технические средства

автоматизации. Современные морские дизельные двигатели оснащены набором датчиков, отслеживающих работу всех систем двигателя: топливной, воздушной, охлаждения, температурных режимов, нагрузочных характеристик, выхлопной системы.

В передовых судоходных компаниях применяется концепция постоянной диагностики судового оборудования, анализа результатов и сравнение их с эталонными значениями [4-6]. Основные рабочие параметры ежедневно передаются в береговую базу данных судоходной компании для анализа состояния механизмов, расхода топлива и масел, определения винтовой характеристики и контроля обрастания корпуса судна, мониторинга выбросов оксидов серы (SOx), оксидов азота (NOx) и диоксида углерода (CO₂).

Но попыток создать модуль для непрерывной удаленной диагностики судового оборудования до сих пор предпринималось крайне мало [7-10].

II. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

В рамках данной работы разрабатываются специфические инженерно-технологические системы на базе технологии промышленного интернета вещей (IIoT). Их объективные особенности будут являться прямым следствием как особенностей их функционального предназначения, так и особых условий зоны эксплуатации. В рамках настоящего проекта будут разрабатываться информационно-технологические комплексы, обеспечивающие функционирование систем многочисленных мобильных автономных объектов, функционирующих в арктической зоне РФ на базе технологии промышленного интернета вещей. Как непосредственно следует из наименования работы, одним из видов таких объектов будут являться судовые двигатели. Однако наши разработки не будут ограничены исключительно данным видом объектов мониторинга, анализа и управления. Мы будем рассматривать в качестве объектов приложения также другие судовые системы и механизмы, специальную технику МЧС, стационарные сооружения и автономные устройства мониторинга в арктической зоне (стационарные и мобильные).

Первично сформулируем основные особенности функционирования инженерных компонент, включенных в системы промышленного интернета вещей, полностью или частично функционирующие в оптической зоне.

Первой очевидной особенностью является работа в сложных климатических условиях. В условиях Арктики присутствует эксплуатация в условиях экстремально низких температур, высокой влажности, сильных ветров, полярной ночи, вечной мерзлоты, частых радиопомех и ряда других особенностей условий эксплуатации. Важным фактором является не только наличие этих сложных условий, но и чрезвычайная переменчивость параметров среды обитания человека и

условий эксплуатации техники. Причем это относится не только к условиям работы, но и к условиям транспортировки и хранения. Кроме того, даже для оборудования, эксплуатируемого в закрытых помещениях, нельзя гарантировать непопадание в экстремальные погодные-климатические ситуации – просто при перевозках, а также при возможных сбоях, в том числе в случаях аварийного отключения систем нормального жизнеобеспечения зданий и помещений. В ряде случаев экстремальные условия эксплуатации является не просто риском, а неизбежностью. При этом в особых условиях морской эксплуатации возникают дополнительные факторы воздействия на оборудование и системы, такие как качка и вибрация. Такие ситуации характерны, в частности, для оборудования и механизмов судов, присутствующих в зоне Северного морского пути. Базовое оборудование в широком спектре случаев априори приспособлено к таким условиям эксплуатации. Однако цифровая трансформация зачастую предполагает установку электронных датчиков, современных цифровых систем управления оборудованием, систем передачи данных, цифрового оборудования, контроллеров, компьютеров и систем отображения данных для персонала. По умолчанию, эти современные компоненты выпускаются в стандартном исполнении, для нормальных условий жизни и работы. Для условий эксплуатации на Крайнем Севере необходимо учитывать риски выхода из строя сложного современного электронного оборудования и управлять ими.

Отдельно выделим специфический риск для электронной техники в высоких широтах – помехи и наводки, возникающие вследствие особых свойств магнитосферы в этих районах. Эти воздействия отличаются от стандартных для средних широт и в обычных режимах, а особенно – в период магнитных бурь.

Помимо природных условий, другой группой факторов, влияющих на условия эксплуатации и требования к архитектуре конструкции и режимам работы электронных систем в арктической зоне, является специфика человеческой техногенной деятельности в регионе.

С точки зрения нашей задачи можно выделить как минимум два фактора.

Первый фактор – достаточно низкая плотность присутствия людей (и населения, и персонала в арктической зоне). Результатом этого объективного фактора является низкая связанность Арктики с точки зрения практически всех видов индустриальных коммуникаций – дорог, аэродромов, портов, линий электропередач, трубопроводов. Российская Арктика является высоко фрагментированной зоной. Это достаточно непривычно и необычно для нормальных условий функционирования промышленных предприятий, систем жизнеобеспечения и безопасности, привычных в современном обществе. И эта особенность

должна учитываться при построении инженерных систем в регионе.

Второй, не менее важный для рассматриваемых задач фактор – особенности покрытия проводной и беспроводной связью арктических регионов. В настоящее время поставлена и решается задача прокладки проводных систем связи по побережью вдоль Северного морского пути. Однако её можно считать решенной только для узловых портовых и промышленных зон в арктическом регионе. Одновременно с этим, низкая плотность потребителей ограничивает коммерческое развитие покрытия мобильной средой передачи данных малозаселенных и безлюдных пространств региона. До настоящего времени объём судоходства в Арктике также намного ниже магистральных зон и морских путей в других частях Мирового океана. На большей части территории Земли гарантированное покрытие беспроводными космическими системами связи базируется на геостационарных спутниках. В силу объективных причин такие системы связи физически не могут применяться в высоких широтах. Альтернативные решения – низкоорбитальные спутниковые группировки и высокие эллиптические орбиты – на данный момент находятся в стадии интенсивного развития, но пока еще не обеспечили надежного дешевого покрытия беспроводной связью арктической зоны. В целом, на сегодняшний день эксплуатация систем интернета вещей в регионе ограничивается дефицитом самого интернета. Эту особенность обязательно необходимо принимать во внимание и при создании прототипа промышленного решения, и в дальнейшем при его тиражировании. Также с этой точки зрения необходимо учитывать крайне высокую динамику технологического развития спутниковой связи в настоящее время, особенно в проблемных регионах. Поэтому рассматривать, апробировать и планировать к внедрению решения нужно с учётом не только мгновенного состояния системы спутниковой связи (интернета) в полярных зонах, но и перспектив и прогнозов ее развития.

Третьей группой особенностей арктической зоны являются социальные особенности последствия сложных природных условий и высокого уровня разреженности присутствия людей, следствием чего является острый дефицит возможности человеческого вмешательства в работу оборудования или систем. В населенных регионах, с высокой общей плотностью населения в развитых странах и высокой мобильностью, проблема выезда в необходимую точку для установки, наладки, технического обслуживания и ремонта специалиста нужной квалификации не стоит в принципе. В арктической зоне принципиально иная ситуация с кадровым потенциалом. Как правило, в конкретных точках – в поселениях, на промышленных предприятиях, вахтовых поселках, экспедициях и морских судах находится только основной производственный персонал. Хотя по основным

специальностям обслуживаемого оборудования и технологических процессов квалификация персонала может быть достаточно велика, интересующие нас специальности достаточно редко присутствуют на арктических объектах. Это означает необходимость эксплуатации специфического высокотехнологичного оборудования людьми без специальных узких навыков в работе с системами интернета вещей. При этом, в ряде случаев, доставка квалифицированного персонала в точку размещения оборудования в принципе невозможна в срочном порядке.

Таким образом, при конструировании, проектировании и планировании эксплуатации технологических и инженерных систем на базе интернета вещей в арктической зоне необходимо учитывать специфические ограничения, связанные с природным, техногенными и социально-демографическими условиями региона. Компенсирующие такие условия подходы должны закладываться концептуально при разработке систем для условий Крайнего Севера, верифицироваться в ходе исследований и испытаний, а также отслеживаться в ходе эксплуатации системы

III. ПРИНЦИПАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УДАЛЕННО ДИАГНОСТИКИ

Архитектура системы удаленной диагностики для распределенных систем сложного инженерного оборудования, соотносимого с автономными объектами, эксплуатируемыми в арктической зоне, должна существенно изменить современные инженерные и бизнес-процессы в проблемной области.

Опишем основные направления и результаты таких изменений. Должен произойти переход к сквозным инженерным и бизнес-процессам, реализуемым на основании вертикально прозрачных объективных данных по всем участникам.

Должны быть спроектированы физические и информационные архитектуры распределенной системы сбора, анализа, передачи, хранения и обработки данных (рисунок 1).

тиражируемый локальный сегмент системы (для судна или иного объекта);

кустовой сегмент (уровень каравана на СМП или локального наземного района);

надежную систему циркуляции достоверных данных в высоких широтах, оптимизированную под поставленную задачу с учетом перспектив развития систем космической связи в регионе и перспектив развития стандартов и протоколов связи;

облачную платформу системы (допускающую реализацию для разнородных задач, привязанных к различным инженерным системам, типам объектов и пользователям), включая структуру данных, систему разделения потоков данных и доступа к данным, универсальную настраиваемую схему ролей пользователей системы и другие компоненты

платформы;

специальные алгоритмы и программные модули диагностики состояния инженерных систем на автономных объектах в арктической зоне на основании данных с использованием высокотехнологичных информационных методов, в том числе искусственного интеллекта;

систему информационной безопасности, включая защиты данных от несанкционированного доступа (утечек), защиту от порчи и утраты информации, защиту от перехвата управления системы и другие вопросы.

Должен быть создан интегрированный прототип системы, включающей все уровни (в том числе, физические компоненты, система человеко-машинного взаимодействия, программное обеспечение всех уровней, в том числе облачной платформы).

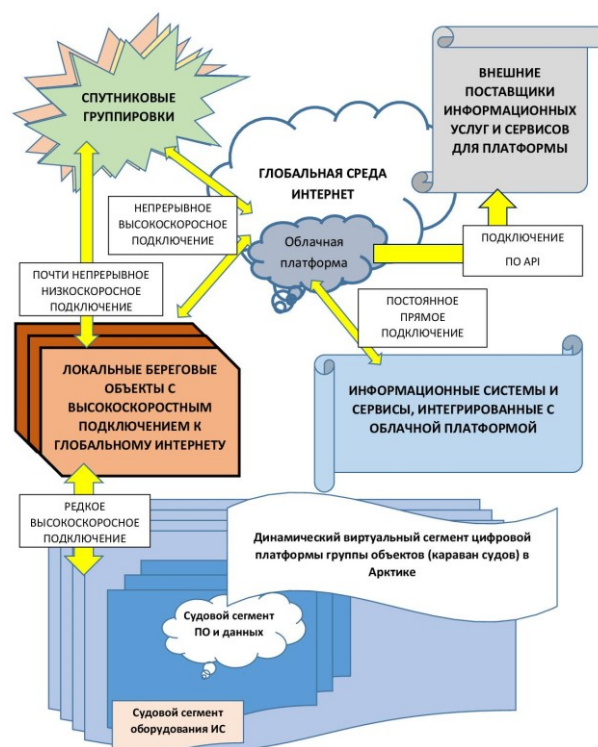


Рисунок 1 – Физические и информационные архитектуры распределенной системы сбора, анализа, передачи, хранения и обработки данных

Созданный прототип должен быть испытан, в том числе в условиях арктической зоны.

Должна быть разработана концепция, техническое задание и дорожная карта на поэтапную полномасштабную разработку пилотной системы, её опытно промышленную эксплуатацию и последующее тиражирование системы.

Должна быть создана концепция и дорожная карта разработки нормативно-технической и иной регламентирующей документации, необходимой для пилотного, опытно-промышленного и промышленного

применения системы удаленной диагностики сложного инженерного оборудования на удаленных и автономных сложных инженерных объектах, эксплуатируемых в арктической зоне.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье был продемонстрирован подход к разработке системы удаленной диагностики для распределенных систем сложного инженерного оборудования, соотносимого с автономными объектами, эксплуатируемыми в арктической зоне. Рассмотрены особенности создания таких систем, являющиеся следствием особых условий зоны эксплуатации. Работа выполнена при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

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 01.11.2021)
- [2] Танасюк Ю., Королев Е. Развитие инфраструктуры портов СМП: проблемы и решения [Текст] // Логистика. - 2018. - № 6. - С. 40-43. - ISSN 2219-7222.
- [3] Перспективы развития СМП [Электронный ресурс]: Neftegaz.ru. – URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/arktika/686530-perspektivy-gazvitiya-smp/> (дата обращения 11.11.2021)
- [4] Мясников Ю.Н., Никитин В.С., Равин А.А. Эксплуатационные дефекты судовых дизельных и газотурбинных двигателей // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. №3 (385). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekspluatatsionnye-defekty-sudovyh-dizelnyh-i-gazo-turbinyh-dvigatelye> (дата обращения: 19.11.2021).
- [5] Dudojc, B.; Mindykowski, J. New Approach to Analysis of Selected Measurement and Monitoring Systems Solutions in Ship Technology. Sensors 2019, 19, 1775. <https://doi.org/10.3390/s19081775>
- [6] Мясников Ю.Н. Междисциплинарные инновационные технологии в судостроении // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. №1 (387). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdistiplinarnye-innovatsionnye-tehnologii-v-sudostroenii> (дата обращения: 19.11.2021)
- [7] ABB's new digital solution helps optimize ship performance across fleets // ABB. - URL:<https://new.abb.com/news/detail/80410/abbs-new-digital-solution-helps-optimize-ship-performance-across-fleets> (data accessed 09.11.2021)
- [8] Zoric, G., Domova, V., Ralph, M., Vartiainen, E., Bjorndal, P., Munoz, A.A. Supporting maritime remote experts working over distance (2016) ACM International Conference Proceeding Series, 23-27-October-2016, paper № a124
- [9] Solutions and products for automation and control // Siemens Energy. - URL:<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/industrial-applications/marine/automation-and-control.html> (data accessed 09.11.2021)
- [10] Marine // Wartsila. - URL:<https://www.wartsila.com/marine> (data accessed 09.11.2021)

Approaches to creating the architecture of a remote diagnostics system for complex engineering facilities in the Arctic zone

M.G. Zhabitsky, O. V. Boyko, G.V. Sverdlik, E.S. Lagutina

Abstract — Currently, within the framework of end-to-end technologies of the Fourth Industrial Revolution, issues are being considered to increase the efficiency of operation of engineering systems in the mode of spatial distribution, work in difficult climatic conditions and a shortage of qualified personnel and services in the regions of operation. An example of such systems can be a wide range of equipment operating in the Arctic zone of the Russian Federation, including the Northern Sea Route and adjacent land areas. Modern digital technologies and trends in their application make it possible to fulfill these requirements based on the digital transformation of production and service processes.

The article proposes and describes an approach to the construction of a man-machine system that manages complex engineering objects in the Far North on the basis of the data flow generated by both the machine and the human component of the engineering system.

Keywords — remote diagnostics, internet of things, data analysis, technological development of the Arctic, digital technologies.

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> (дата обращения 01.11.2021)
- [2] Tanasyuk Yu., Korolev E. Development of the infrastructure of the ports of the NSR: problems and solutions [Text] // Logistics. - 2018. - No. 6. - PP. 40-43. - ISSN 2219-7222 (In Russian)
- [3] Prospects for the development of the NSR [Electronic resource]: Neftegaz.ru.-URL:<https://magazine.neftegaz.ru/articles/arktika/686530-perspektivy-razvitiya-smp/> (accessed 11.11.2021) (In Russian)
- [4] Myasnikov Yu.N., Nikitin V.S., Ravin A.A. Service defects of ship diesel and gas-turbine engines. Transaction of the Krylov State Research Center. 2018; 2(384): 85–96 (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekspluatatsionnye-defekty-sudovyyh-dizelnyh-i-gazo-turbinyh-dvigatelye> (accessed: 19.11.2021).
- [5] Dudojc, B.; Mindykowski, J. New Approach to Analysis of Selected Measurement and Monitoring Systems Solutions in Ship Technology. Sensors 2019, 19, 1775. <https://doi.org/10.3390/s19081775>
- [6] Myasnikov Yu. Interdisciplinary innovative technologies in shipbuilding. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2019; 1(387): 184–196 (in Russian).
- [7] ABB's new digital solution helps optimize ship performance across fleets // ABB. - URL:<https://new.abb.com/news/detail/80410/abbs-new-digital-solution-helps-optimize-ship-performance-across-fleets> (data accessed 09.11.2021)
- [8] Zoric, G., Domova, V., Ralph, M., Vartiainen, E., Bjorndal, P., Munoz, A.A. Supporting maritime remote experts working over distance (2016) ACM International Conference Proceeding Series, 23-27-October-2016, paper № a124
- [9] Solutions and products for automation and control // Siemens Energy. - URL:<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/industrial-applications/marine/automation-and-control.html> (data accessed 09.11.2021)
- [10] Marine // Wartsila. - URL:<https://www.wartsila.com/marine> (data accessed 09.11.2021)