

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДИЗЕЛЕЙ И ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (материалы конгресса CIMAC-2016)

Впечатляющие темпы развития АТ-технологий и рост вычислительной мощности компьютеров открыли возможности для реализации идеи создания «умного двигателя», полностью адаптированного к изменению внешних условий за счет применения систем электронного управления и контроля. При этом функции электронной системы управления (ECS — Engine Control Systems) предусматривают возможность непрерывной технической диагностики, поиска неисправностей за счет сбора больших массивов данных, направляемых для анализа в центральный блок и выдачи рекомендаций по их оперативному устранению.

В обзоре представлено описание разработок систем управления двигателями, выполненных компаниями, отличающимися различными подходами к их созданию, а также различными функциональными возможностями.

Компанией AVAT Automation GmbH (Германия) в сотрудничестве с Bachmann Electronic GmbH разработана универсальная платформа с открытым программным обеспечением OpenECS для создания систем электронного управления газовыми двигателями на базе промышленных контроллеров PLC. Система обеспе-

чивает поддержание заданной частоты вращения и нагрузки двигателя, соотношения «воздух–топливо», предотвращение детонации и пропуска вспышек, а также защиту от превышения предельно допустимых значений рабочих параметров. Компактные модули PLC, в отличие от существующих автономных устройств, не требуют никаких дополнительных компьютерных инструментов для настройки и техобслуживания.

Компания Diesel United Ltd (Япония) на основе анализа больших массивов данных «Big Data Analysis» разработала диагностическую платформу универсального характера CMAXS LC-A, обладающую функциями автоматического обнаружения отказов, автоматической диагностики, а также автоматического поиска и устранения неисправностей главных судовых двигателей, а также других видов судового оборудования, размещенного в машинном отделении. Для всеобъемлющей поддержки судовой силовой установки как автономного объекта высокой надежности, используются облачные технологии хранения массива данных, а также организована надежная коммуникация по защищенным каналам между судном, изготовителями оборудования и наземными службами.

*Перевод выполнен к.т.н. Г. Мельником*

### ОПЕНЕСС: УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ С ОТКРЫТЫМ ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА

*Martin Greve,  
AVAT Automation GmbH*

#### Реферат

Газовые двигатели с начала их производства комплектовались электронными системами управления, без которых надежный пуск и безопасная работа на газе нестандартного состава гарантирована быть не может. Первоначально системы управления двигателем (ECS — Engine Control Systems) рассматривались как внешние устройства. В их задачу входило поддержание постоянства частоты вращения, нагрузки и соотношения воздух–топливо, а также защита двигателя в случае превышения допустимых значений рабочих параметров. Современные высокотехнологичные двигатели внутреннего сгорания представляют собой электромеханические системы, характеристики которых в значительной степени зависят от программного обеспечения ECS. Поэтому практически все новые разработки и усовершенствования так или иначе связаны с созданием нового программного обеспечения (ПО). В то время как одни двигателестроители идут по

пути создания собственных систем управления, другие предпочитают сотрудничество с фирмами, специализирующимися в данной области.

Система OpenECS описывает механизм взаимодействия между изготовителем двигателя, поставщиком системы управления и интегратором, предоставляя изготовителю двигателя непосредственный доступ к открытому управляющему коду. При создании отдельных компонентов нового двигателя изготовитель обычно привлекают субподрядчиков, обладающих обширным опытом и мощными средствами разработки. Это касается и программного обеспечения, которое изготовитель может создавать либо самостоятельно, либо с помощью специализированной организации.

Платформа OpenECS поддерживает языки программирования PLCopen, а также код MATLAB/SIMULINK. За последние 10 лет производители контроллеров программируемой логики (PLC — Programmable Logic Controllers) освоили платформу PLCopen, приняв ее в качестве стандарта программирования PLC, применяемых в промышленной автоматике. PLCopen предлагает интерфейсы для основных профессиональных средств разработки программного обеспечения, предназначенных для систем отладки, тестирования, документирования, управления исходным

кодом и отслеживания истории. Многие классификационные общества требуют использования таких инструментов разработки, как условия надлежащего качества создаваемого программного обеспечения.

Фирма AVAT имеет обширную библиотеку специализированных программных модулей, учитывающих специфику газового двигателя и его периферийных устройств. «Программная начинка» этих модулей включает, в частности, функции синхронизации и защиты генератора, встроенные инструменты диагностики, предназначенные для сервис-инженеров, а также проверенные драйверы связи, обеспечивающие совместимость с различными внешними устройствами, такими как, например, системы зажигания. Разработка программы для определенного двигателя начинается, как правило, на базе одной из готовых прикладных программ, разработанных ранее для разных типов двигателей. Фирма AVAT готова поддержать изготовителя двигателей на любой стадии разработки или же взять разработку целиком на себя.

Программное обеспечение OpenECS базируется на промышленных системах PLC, выпускаемых в больших количествах. Производитель PLC берет на себя ответственность за своевременную модернизацию систем, за обеспечение их соответствия разного рода классификационным требованиям и за их постоянное послепродажное обслуживание, чтобы в долгосрочной перспективе наличие необходимых запчастей всегда было гарантировано. Модульная система PLC содержит центральный процессор (из доступного ассортимента) и может быть укомплектована любыми модулями I/O (входов-выходов), включая модули мониторинга и защиты сети. Компактные модули, как и любые системы PLC, рассчитаны на оптимальное заполнение объемов пульта управления, размеры которого ограничены. Настоящий доклад раскрывает некоторые новые направления развития промышленной автоматизации, которые представляются наиболее перспективными.

Вместе с тем в номенклатуре предлагаемых на рынке PLC пока еще недостаточно некоторых модулей I/O, весьма существенных для газового двигателя. Системы AVAT восполняют данный пробел, предлагая компактные специализированные модули PLC для управления типичными устройствами, такими как, например, приводы регулирующих и перепускных газовых заслонок, шаговыми двигателями, а также для обработки сигналов сенсоров, например, датчиков скорости, коэффициента избытка воздуха, детонации и давления в цилиндрах. В отличие от существующих автономных устройств, эти модули

полностью интегрированы в PLC и не требуют дополнительных компьютерных инструментов для настройки и техобслуживания.

В результате удалось создать наиболее совершенную на сегодняшний день компактную платформу для систем управления двигателем, поддерживающую инструментальный разработчика профессионального ПО, которое соответствует современным требованиям к промышленным PLC.

#### **Введение**

Система управления (ECS) в настоящее время стала одним из важнейших компонентов двигателя, что заставило AVAT полностью пересмотреть концептуальную основу своей продукции и соответствующих услуг. Раньше производителям газовых двигателей поставлялись системы управления только собственной разработки и изготовления. Это позволяло двигателестроителям сконцентрироваться на совершенствовании конструкции, в то время как адаптацией ECS к двигателям занимался AVAT.

Сегодня роль ПО в обеспечении необходимых показателей двигателя быстро растет, что побудило многих двигателестроителей создавать собственные подразделения программистов в предвидении существенного увеличения вложений в разработку ПО в ближайшем будущем. Именно такой подход позволяет им стабильно держаться на уровне постоянно растущих требований к показателям качества и универсальности своих изделий. Это не исключает взаимодействия с контрагентами, которые помогают двигателестроителям быстрее осваивать новые технологии и частично разгрузить собственных разработчиков, сохраняя при этом контроль над ключевыми элементами программного обеспечения.

Современные тенденции развития техники и ожидания заказчиков показывают, что крупные двигатели в ближайшем будущем должны стать «умными двигателями». Это открывает новые возможности для совершенствования двигателей, однако приводит к заметному усложнению их систем.

#### **Умный двигатель**

Современное направление эволюции промышленных изделий характеризуется такими понятиями, как «интернет вещей» (IoT — Internet of Things), четвертая промышленная революция (Industrie 4.0) и «умное производство» (Smart Manufacturing). «Умные» изделия можно в целом охарактеризовать следующими особенностями [1]:

1. Связь с другими системами.
2. Автоматическая адаптация к текущим условиям.
3. Индивидуализация в соответствии с нуждами заказчика.

4. Сбор информации о конкретных условиях применения, которая поступает в центральный сервер для анализа.

5. Постоянная оптимизация рабочих характеристик, эффективности и готовности к использованию.

6. Приобретение в одном пакете программного обеспечения как услуги (Product-as-Service), оплата за использование (Pay-per-use).

Все указанные характеристики применимы к агрегатам и системам, используемым в двигателях внутреннего сгорания.

#### **Сетевая интеграция и адаптация**

Дизель-генераторные агрегаты теперь управляются не только местными системами АСУ ТП (SCADA — Supervisory for Control And Data Acquisition), но являются компонентами крупных виртуальных электростанций, при этом каждый из них играет свою роль в стабилизации работы электросетей. Аналогичным образом в гибридных системах они вместе с аккумуляторными батареями и электродвигателями объединяются в виртуальные энергомодули. Это весьма перспективный способ создания систем с желаемыми динамическими характеристиками. Подобное объединение возможно лишь при наличии гибких интерфейсов данных.

Если говорить о газообразных топливах, то здесь наблюдается распространение на рынке таких продуктов, как пиролизный газ, сланцевый газ, биогаз и водород. Значительный интерес представляет возможность подачи таких газов через системы питания природным газом, что позволяет разделить производство газов и электроэнергии, используя при этом вместительные хранилища газовых сетей. Для газовых двигателей это означает не только возможность работы на газовых смесях неизвестного состава, но и нечувствительность к значительным флуктуациям состава рабочей смеси. Для этого необходима автоматическая адаптация газового двигателя к составу используемого в данный момент газа.

Спросом на рынке будут пользоваться продукты, индивидуализированные для конкретных применений и определенных заказчиков, с учетом местной специфики. Все это особенно актуально для «рынка покупателя», когда предложение двигателей на рынке превышает покупательский спрос. А достичь этого при минимуме затрат можно за счет последовательного внедрения модульной концепции. В идеале такие варианты продуктов будут отличаться между собой лишь программным обеспечением.

#### **Сбор и обработка данных**

В настоящее время двигателистроители и операторы получают слишком мало данных от своих объектов, находящихся в эксплуатации.

Автоматическая обратная связь с выдачей данных об их использовании и возникающих отказах открывает новые возможности оптимизации продукта. Такая обратная связь в сочетании с другой релевантной информацией позволяет оптимизировать размещение ресурсов (техобслуживание, расходные материалы, включая топливо, и т. п.), а также применить новые методы биллинга, основанные на ожидаемом износе. В других областях промышленности новые модели ценообразования уже создали стимулы для дальнейшего совершенствования продуктов в части диагностических возможностей, надежности и эргономики, при этом разработка таких методов стала возможной лишь с появлением массивов данных, получаемых с мест эксплуатации.

Сложные функции, реализация которых существенно зависит от опытных данных, такие как, например, автоматический контроль и диагностика, теперь переходят от местных контроллеров к центральному серверу. Данные, собранные с этой целью, являются базой для дальнейшего совершенствования алгоритмов. Технически это реализуется программными и аппаратными модулями, которые направляют данные на контроллер двигателя и осуществляют их предварительную обработку. После этого данные пересылаются по защищенным каналам связи на сервер, где осуществляется их оценка.

#### **Ожидания заказчиков**

Пользователи умных продуктов обоснованно ожидают, что их покупка окажется на самом высшем уровне удобства обращения с ней и их защищенности. Эти качества обеспечиваются при следующих условиях.

➤ Соединение с интернетом — энергетические комплексы должны быть доступны через интернет, однако при этом защищены от несанкционированного доступа и хакерских атак. С этой целью необходимо предусмотреть меры для защищенного обновления всех компонентов системы, подверженных риску.

➤ Политика конфиденциальности — заказчики могут разрешать автоматический сбор данных только при наличии прозрачной и профессиональной инструкции по защите конфиденциальных данных, поскольку речь по существу идет о справедливом «обмене данных на добавленную стоимость».

➤ Удобство использования — современный пользователь ожидает, что применять новое промышленное устройство будет не сложнее, чем смартфон или планшет. Например, он захочет, чтобы пользовательский интерфейс включал функцию «multi-touch», поскольку любое другое решение сегодня будет выглядеть безнадежно устаревшим.

Анализ тенденций предложения и спроса показывает, что в будущем сложность систем управления двигателем (ECS) резко возрастет. К основному назначению — управлению двигателем с мониторингом его параметров — добавляются другие функции, что вызовет необходимость использования коротких циклов разработки.

#### Почему именно промышленные PLC?

При переориентации портфеля продукции AVAT в качестве основной ставилась задача создания платформы, в принципе способной охватить все функции, интересующие двигателестроителей и потребителей. Уже сейчас существуют специализированные устройства для выполнения всех известных на сегодняшний день функций. Эти устройства связываются между собой через различные интерфейсы данных, чтобы нужные заказчикам функции распределялись между минимальным числом устройств, что позволит минимизировать требования к обслуживанию инструментов разработчика.

Промышленные PLC идеально подходят для систем SCADA и вспомогательных элементов управления, поскольку заложенный в них модульный принцип обеспечивает чрезвычайную гибкость и легкость конфигурирования. К тому же они поддерживают множество протоколов обмена данными. Промышленные PLC оказываются, таким образом, идеальными устройствами для системной интеграции. Используя специализированные модули, PLC могут намного расширить сферу применения, распространив ее на те области, где раньше использовались только специально сконструированные устройства, например, управление перемещениями, робототехника и функции безопасности.

PLC предназначены для инженеров, решающих технические задачи. В большинстве случаев средства конфигурации, компиляторы и отладчики уже изначально встроены в изделие. В настоящее время программирование большинства PLC производится по стандарту МЭК 61131-3. Многие производители присоединились также к Организации PLCopen®. Этот универсальный стандарт обладает огромными преимуществами в том, что касается возможностей подбора персонала, и обеспечивает кросс-платформенную переносимость решений.

Благодаря блочному принципу разделения между модулями I/O и модулями CPU (центрального процессора) многие производители получили возможность обеспечить гарантированное снабжение заказчиков запчастями на протяжении ряда лет, не прекращая при этом совершенствование изделий до современного уровня при помощи новых модулей CPU.



Рис. 1. Иерархия задач автоматизации и управления двигателем

Вот почему используются промышленные CPU модульного типа для реализации функций управления вспомогательными устройствами, например приводным генератором и двигателем. Уровень SCADA тоже может быть обеспечен с помощью того же семейства PLC, что позволяет автоматизировать всю станцию с использованием единой платформы (рис. 1). Система M1 была выбрана благодаря следующим преимуществам:

- компактности, поскольку места для размещения шкафов управления обычно не хватает из-за пространственных ограничений машинного зала или моторного отсека;
- запаса прочности, позволяющий устанавливать изделия непосредственно на двигателе;
- все компоненты сертифицированы для использования в судовых условиях;
- совместимости с MATLAB/SIMULINK, обеспечивающей возможность быстрого макетирования.

Модульные PLC являются идеальными элементами для управления вспомогательными системами и для задач SCADA, но для использования в системах управления двигателем им не хватает некоторых важных функций. В рамках стратегического партнерства между AVAT Automation и Bachmann Electronic GmbH этот пробел был заполнен.

#### Входы/выходы (I/O), адаптированные для конкретного двигателя

Не все используемые на двигателях датчики и исполнительные устройства (актюаторы) могут стыковаться со стандартными PLC напрямую. Проблема была решена с использованием трех направлений. Во-первых, были использованы модули обработки сигнала AVAT со стандартными модулями I/O, реализующими некоторые специальные функции, например измерение частоты вращения двигателя с помощью зубчатых венцов

специальной формы. Во-вторых, разработаны модули расширения для связи со специальными актюаторами или датчиками, которые таким образом полностью интегрируются в PLC с помощью программных блоков. Для датчиков, которым необходимы специальные виды обработки сигнала, этот процесс перенесен в модуль расширения с целью разгрузки PLC. В-третьих, использованы специальные коммуникационные драйверы AVAT для интеграции дополнительных устройств, например, системы зажигания. В терминах «пирамиды автоматизации» (см. рис. 1) это означает, что специальные функции передаются на уровень датчиков. Понятно, что для полного использования возможностей openECS по реализации стратегий управления нужно, чтобы соответствующие модули работали по принципу «умного датчика» или «умного актюатора», т. е. при формировании обработанного сигнала они сами освобождались от каких-либо функций управления. Кроме того, при этом значительно улучшаются тестируемость системы и анализ рисков (FMEA).

#### Диагностика

С точки зрения диагностики газовый двигатель представляет собой весьма сложную техническую систему. Надежная диагностика износов и других дефектов является нетривиальной задачей и осуществляется экспертами, чья работа требует доступа к большим объемам данных. В принципе, в PLC уже заложены алгоритмы построения трендов и регистрации событий, но для экспертной оценки эти алгоритмы недостаточны. Прежде всего это касается объемов данных, детализации, временного разрешения, объемов хранения и возможностей обработки. Поэтому в систему был встроен диагностический программный пакет AVAT.

#### Открытые ECS

Используя упомянутые выше аппаратные модули и хорошо отработанное программное обеспечение AVAT ECS-Software, был создан универ-

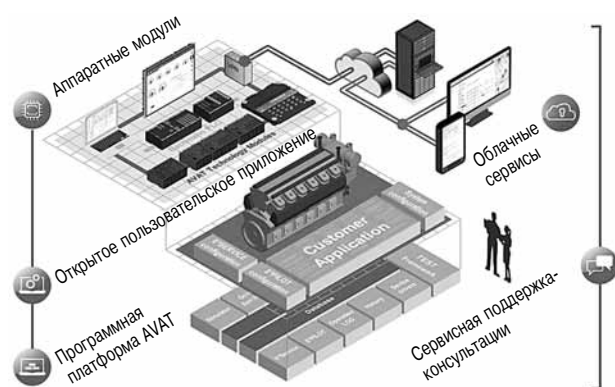


Рис. 2. Модульная платформа AVAT openECS: четыре технических слоя и сервисы поддержки

сальный пакет программного обеспечения, аппаратного обеспечения и сервисов для разработки контроллеров управления двигателями, названный openECS (рис. 2). Самым сложным моментом в этой работе оказалась последовательная реализация модульной концепции, которая дала возможность использовать любые элементы системы независимо друг от друга. Разумеется, главным стимулом при этом было стремление создать полностью законченную и цельную систему.

#### Аппаратные модули

В основе системы лежат контроллер Bachmann PLC Series M1 с CPU, реализующим функции различного уровня, гибкие модули связи и полный набор модулей I/O для цифровых и аналоговых сигналов любого типа. С целью сокращения номенклатуры и количества запчастей рекомендуется заказчикам приобретать ограниченное число различных модулей. Применение PLC серии M1 позволяет обеспечить различные уровни резервирования и реализовать разные конфигурации пространственного расположения модулей I/O на станции. Использование модулей типа GSP, GSM и GM дает возможность полностью обеспечить функции синхронизации и мониторинга генератора и сети средствами системы. Все измеренные величины при этом могут быть использованы для реализации не только заданных функций защиты, но и любых других функций управления.

#### Специальные технологические модули AVAT.

Эти модули дополняют набор M1 PLC некоторыми функциями, специфичными для двигателей внутреннего сгорания. Проверенные модули контроля рабочего процесса E2KNOCKCON (процессор, реагирующий на структурный шум и используемый в детекторах детонации и пропуска всплесков) и модули E2PRECON (процессор для анализа давления в цилиндре) теперь доступны в особо компактном исполнении. Модуль AVAT E2CORE представляет собой универсальный модуль для управления актюаторами газовых заслонок, перепускных клапанов и газовых смесителей. Все модули выполнены в едином форм-факторе M1, чтобы минимизировать занимаемое ими место в шкафу управления. Все они подключаются к PLC через шину CAN, что позволяет использовать их с контроллерами или PLC других двигателей. В этом случае E2CORE может автономно управлять частотой вращения, нагрузкой двигателя и соотношением воздух—топливо. Это позволяет снизить предъявляемые к PLC требования в отношении фазировки и точности.

**Внешние воздействия.** Модули фирмы «Bachmann», как и модули AVAT, рассчитаны на работу при повышенных температурах и высоком

уровне вибраций, что позволяет размещать их непосредственно на двигателе. Кроме того, большинство модулей сертифицированы для работы в судовых условиях.

**Визуализация.** Система позволяет обеспечить визуализацию средствами третьей стороны через интерфейсы данных, и, кроме того, дает некоторые дополнительные возможности. С помощью инструмента WebMI pro возможна визуализация любого контента, который через встроенный веб-сервер может быть выведен на любое устройство, имеющее веб-браузер.

Пакет визуализации AVAT E2PILOT для сенсорных экранов с функцией «multitouch» специально рассчитан на операторов станций. Функции скроллинга, интерактивного вывода журнала записи событий или трендов разной конфигурации обеспечивают оператору уровень комфорта, к которому привыкли обладатели смартфонов. При этом визуализация для каждого конкретного двигателя или заказчика — вопрос лишь нескольких дополнительных строк программного кода.

A E2SERVICE — это инструмент для требовательных сервис-инженеров и техников. Конфигурация дисплеев построена так, чтобы максимально сократить машинное время при выполнении типичных процедур, таких, например, как ввод в эксплуатацию, настройка контроллера, поиск и устранение неисправностей, техобслуживание. Журнал записи событий содержит контекстную информацию, фильтр, функции поиска и перехода. Параметры включают в себя помощь онлайн, а также функции сохранения, восстановления и сравнения.

#### **Открытое пользовательское приложение**

В этом слое находятся все контроллеры и маршруты, а также функции управления и контроля двигателя или его периферийных устройств. Именно здесь создается индивидуальная конфигурация и выполняется программирование всех элементов, специфичных для конкретного двигателя или заказчика. Конструктор двигателя или инженер станции получает неограниченный доступ к исходным кодам данного слоя. Он может видеть и самостоятельно изменять любые параметры в пределах этого слоя. Для программирования MI центр решений предлагает мощную среду программирования, включающую языки программирования по МЭК 61131-3, тем самым предоставляя доступ ко всем функциям современного PLC. При этом можно не только применить код, сгенерированный автоматически в MATLAB/SIMULINK, но и протестировать его в интерактивном режиме.

**База данных приложения.** Отличительной особенностью openECS является централизованная

база данных. Конфигурация и программирование характеристик всех важнейших объектов осуществляется в CPU так, чтобы все процессы мониторинга, записи и регистрации протекали в фоновом режиме. Программа допускает возможность динамического изменения конфигурации, благодаря чему можно задавать изменяемые пределы или сложные разрешающие условия. Это обеспечивает оптимальную функциональность и тестируемость системы при любых условиях. Наличие параметров конфигурации позволяет автоматически генерировать необходимые документы, например, списки параметров и предельно допустимых величин, а также списки информационных точек для внешних интерфейсов.

#### **Программная платформа AVAT**

В основе системы лежит программная платформа AVAT, которая, в числе прочего, содержит:

- инструменты разработки и тестирования;
- библиотеки функций, относящиеся к конкретному двигателю (например, нагрузочные устройства, регуляторы скорости/нагрузки/состава смеси и т. п.);
- база данных по всем объектам данных;
- диагностический комплект, состоящий из журналов регистрации, ретроспективных записей и необходимых пользовательских интерфейсов;
- драйверов тех или иных устройств, например, технологических модулей AVAT или блоков, поставляемых третьей стороной, например, системы зажигания;
- встроенный каркас для моделирования.

Платформа предлагает инструменты и функциональные блоки, существенно ускоряющие разработку приложений.

Кроме того, использование проверенных программных модулей позволяет свести к минимуму трудоемкость испытаний.

#### **Организация дистанционного контроля**

Возможность прямого дистанционного доступа обеспечивается предварительно сконфигурированными маршрутизаторами VPN, которые создают защищенную линию связи между станцией и защищенным контактным сервером.

Авторизованные лица могут соединяться со станцией после регистрации на сервере.

В перспективе наибольший интерес представляет возможность сбора данных центральным сервером. Программные модули платформы осуществляют передачу на центральный сервер зашифрованных пакетов данных с синхронизацией по таймеру или по событиям, где они проходят дальнейшую обработку. В настоящее время доступны модули извещений о статусе и модули передачи аварийных сигналов. В процессе разработки находятся модули планирования и модули мониторинга по условным критериям.

Полный контроль доступа делает возможной одновременную работу многих клиентов, обладающих индивидуальными правами доступа.

#### **Вклад третьих сторон**

Разработчики каждой новой системы делают все для того, чтобы она со временем не устаревала или устаревала как можно медленнее. Важнейшим условием для этого является совместимость с продуктами других производителей. На аппаратном уровне модули взаимодействуют друг с другом в соответствии с открытыми протоколами связи на основе CAN или Ethernet (исключением является взаимодействие модулей M1 между собой). В платформу уже включены стандартные блоки драйверов для наиболее распространенных устройств, поставляемых третьими сторонами. На уровне приложений в платформу может быть интегрирован практически любой программный модуль. Инструменты разработчика снабжены интерфейсами связи с внешними инструментами управления, исходными кодами и структурами устройств тестирования или паспортизации. Рекомендуются использовать подобные инструменты совместных разработок для повышения их эффективности и обеспечения надлежащего качества программного обеспечения. Как правило, в процедурах сертификации использование таких инструментов является одним из формальных требований.

#### **Приоритет процессов**

OpenECS создает технические предпосылки для разработки PLC систем управления двигателями. Однако пользователя прежде всего интересует, насколько система окажется полезной для его повседневной работы. И в этом смысле отличие хорошего программного продукта от плохого зачастую определяется именно мелкими деталями. Нередко подобные детали воспринимаются пользователями как нечто само собой разумеющееся. Впрочем, то же самое можно сказать о любом продукте, которым пользуются люди.

Как показал опыт, чрезвычайно полезны встречи с пользователями, в ходе которых обсуждаются их действия с использованием так называемых «Карт Пользовательских Историй» (User Story Maps). Такие обсуждения проводятся в рамках семинаров, на которых вместе собираются пользователи, разработчики, менеджеры по разработкам, технической поддержке и продажам. Пользовательские истории охватывают все этапы взаимодействия пользователя с платформой, включая первоначальное ознакомление, адаптацию различных программ, поиск ошибок, процесс выпуска и документирования, и, наконец, формальную передачу пользователю. Так, у всех заинтересованных сторон вырабатывается общее

понимание того, как платформа должна использоваться, какие в ней остались недоработки, источники ошибок, и какая еще помощь может понадобиться пользователю со стороны разработчиков. Результатом является создание расширений, включая инструменты, шаблоны, автоматические проверки программных кодов, интерфейсы документации и средства трансляции. В некоторых случаях обнаруживалась необходимость переработки отдельных компонентов — либо во избежание структурного дублирования, либо из-за того, что готовая AVAT инфраструктура по каким-либо причинам не подходила для заказчика.

#### **Моделирование**

Как правило, изготовителям мощных двигателей приходится сталкиваться с недостатком стендового времени. Отсутствие возможности проверить работу двигателя на всех необходимых режимах на стенде, вынуждает изготовителя добиваться от заказчика разрешения на сокращение объема испытаний, необходимого для формального процесса передачи продукта в эксплуатацию.

В этом случае имеется возможность прибегнуть к имитации, что позволяет решить проблему, к тому же существенно сократив производственные затраты. Имитаторы основных замкнутых контуров (HiL — Hardware-in-the-Loop) чрезвычайно важны для проверки системы в целом. Имитаторы, встроенные непосредственно в систему, как выяснилось, незаменимы для многих повседневных задач, таких как разработка, обучение, тестирование, документирование и продажи.

#### **Модели совместной работы**

Некоторые пользовательские истории касаются услуг соисполнителей, которые дают возможность при работе над крупными проектами воспользоваться опытом партнера или его ноу-хау. Классическая схема исполнения контракта сводится к следующему: задаются технические требования к программному обеспечению, которые в точности должны быть исполнены. После функциональной приемки ответственность переходит к покупателю. Такая схема четко определяет обязанности сторон и является идеальной для крупных контрактов. Однако эта схема мало пригодна для повседневной деятельности, поскольку не предполагает оперативного сотрудничества. Наличие согласованного процесса разработки с использованием совместного инструментария создает новые формы сотрудничества: от консультаций по вопросам построения модулей до выпуска гарантий качества серийных изделий AVAT, включая проверяемую процедуру документирования.

#### **Примеры**

В качестве примеров приведем два контроллера, созданных с помощью инструмента openECS. Обе

системы работают через пользовательский интерфейс E2PILOT, при этом данные всех компонентов могут быть использованы для управления и контроля с помощью инструмента E2SERVICE.

**Пример 1: газовый двигатель мощностью 300–500 кВт**

Разработана система openECS для типичного стационарного газового двигателя с внешним дозатором обедненной смеси, конструкция которого включает смеситель, дроссельную заслонку и перепускной клапан. Объем, необходимый для размещения компонентов PLC (H×W×D), составляет 117×385×60 мм, еще один объем размером 117×330×60 мм необходим для компонентов AVAT (рис. 3).

Отличительные особенности системы:

- интерфейсы для блоков управления впрыском;
- процессы управления двигателем на основе датчика давления в цилиндре, функции которого включают выравнивание нагрузки по цилиндрам и  $p_{max}$ , а также контроль детонации и пропуска вспышек;
- дополнительный регулятор защиты от детонации, использующий стандартные датчики детонации;
- два пульта управления — местный и дистанционный.

Система выполняет следующие функции:

- управление и контроль всех процессов в двигателе;

- управление системой охлаждения двигателя, промежуточным и аварийным охладителями (в том числе драйкулерами);
- контроль детонации и пропуска вспышек в отдельных цилиндрах;
- CAN-интерфейс с системой зажигания;
- интерфейс SCADA (Modbus TCP).

**Пример 2: главный судовой двухтопливный двигатель мощностью 10 МВт**

Главный судовой двигатель мощностью 10 МВт оснащается несравненно большим количеством датчиков, для которых требуется соответствующее количество I/O модулей. Во избежание прокладки длинных кабелей I/O модули для управления подачей газа и вспомогательными устройствами были размещены на отдельном пульте и связаны между собой через каналы Ethernet. Согласно требованиям классификационных обществ, система включает в себя блок защиты (также состоящий из PLC модулей), резервные каналы Ethernet и CAN и контролируемые сигнальные кабели для связи с мостиком. Для анализа структурного шума и контроля давления в цилиндре используются судовые версии E2PPRECON-M и E2KNOCKCON-M (рис. 4).

ECS с I/O модулями и блоком защиты размещается в компактном шкафу управления,

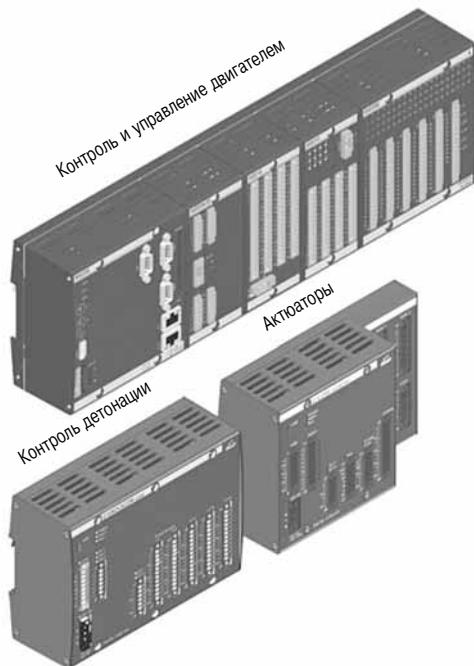


Рис. 3. Компоненты ECS для газового двигателя мощностью 300–500 кВт с внешним смесеобразованием

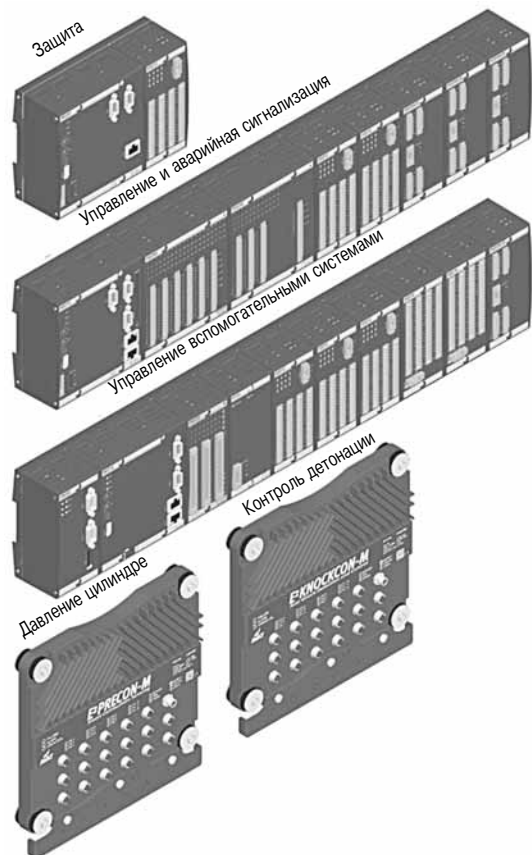


Рис. 4. Компоненты ECS для главного судовой двухтопливного двигателя мощностью 10 МВт



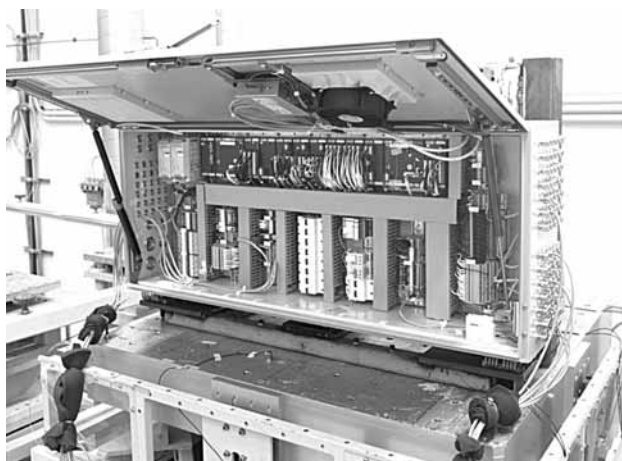


Рис. 5. Пульта управления двигателем на вибростенде

установленном непосредственно на двигателе. Испытания на вибростенде подтвердили соответствие системы жестким требованиям в части вибростойкости (рис. 5).

#### Заключение

Создание «умного двигателя», который, с одной стороны, может быть интегрирован в общую сеть с гибридными или виртуальными приложениями, а с другой — способен сам собирать данные и направлять их в центральный блок для анализа стало возможным благодаря разработкам AVAT. «Смартификация» открывает большие возможности для совершенствования продуктов, что позволит существенно ускорить новые разработки. В этом процессе основная роль отводится программному обеспечению.

С учетом этих обстоятельств AVAT в сотрудничестве с «Bachmann Electronic GmbH» существенно

изменил номенклатуру и характер своей продукции. Устройства, программные модули и сервисы, созданные с помощью новой платформы openECS, могут быть адаптированы для конкретных производителей двигателей и проектантов станций, которые используют профессиональные инструменты при создании программного обеспечения высокого уровня или захотят обеспечить себе такую возможность в будущем. Чтобы начать новую разработку, достаточно в исходный код ввести шаблоны типичных конфигураций двигателей или ECS конкретных двигателей с учетом их назначения.

Ключевым условием разработки новой платформы была всесторонняя оценка возможных проблем при написании, обновлении и поставке программного обеспечения во взаимодействии с конечным пользователем. Только так можно минимизировать количество ошибок, существенно облегчить и автоматизировать работу по созданию нового двигателя. Экономичный подход при разработке процессов и инструментов является не только необходимым условием ускорения создания новых изделий. Он также способствует рождению новых форм сотрудничества, при которых все ресурсы разработчика могут быть в дальнейшем использованы при выполнении более крупных проектов.

#### Литература

1. Porter M.E. and Heppelmann J.E. «How smart, connected products are transforming competition» Harvard Business Review, 11/2014.
2. see [www.plcopen.org](http://www.plcopen.org)

**ОРГАНИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОЙ ПОДДЕРЖКИ  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ**

*Takashi Fujii, DIESEL UNITED LTD.  
Junichi Hirata, ClassNK  
Koji Takasaki, Kyushu University*

**Реферат**

Впечатляющий рост вычислительной мощности компьютеров и совершенствование алгоритмов самообучения, создали возможности для более тонких методов поиска неисправностей и технической диагностики, основанных на анализе больших массивов данных, или «биг-дата» («Big Data Analysis»). Получаемые при этом результаты широко используются в разных областях, в частности, для поиска наиболее надежных и экономичных решений.

В существующих судовых силовых установках имеющиеся системы диагностики в большинстве случаев значительного экономического эффекта не приносят, поскольку:

- в машинном отделении находится большое количество различных механических систем разных производителей, каждая из которых имеет собственную систему диагностики;
- разработка систем диагностики для небольших устройств обычно не ведется, так как экономически нецелесообразна;
- форматы данных, используемых в КИП для механического оборудования, не стандартизованы, что тормозит развитие многоцелевых систем.

Для решения упомянутых проблем разработана универсальная диагностическая платформа, обладающая функциями автоматического обнаружения отказов, диагностики, а также поиска и устранения неисправностей.

Алгоритм автоматического обнаружения отказов, основан на самообучении и определен оптимальный метод применения этого алгоритма для каждой конкретной судовой системы. Полученные данные измерения и результаты диагностики по каждому виду оборудования интегрированы с функциями управления и техобслуживания. Стандартизованы алгоритмы управления указанной выше информацией и ее эффективного использования.

Результаты эксплуатационных испытаний, проведенных в присутствии многих производителей механического оборудования, позволили получить предпосылки для создания системы комплексной диагностики всего оборудования машинного отделения. Эти испытания вполне оправдали ожидания разработчиков. Предыдущая версия системы в последние годы прошла ряд испытаний на борту действующих судов, при этом большинство проблем было решено, что дока-

зывает эффективность принятой концепции.

Производители судового оборудования могут использовать разработанную платформу применительно к тем видам оборудования, для которых специализированные системы диагностики ранее не выпускались в силу экономической нецелесообразности. Данная платформа поможет эксплуатационникам использовать единую систему для управления разных видов оборудования, оперативно получая при этом квалифицированные диагностические консультации от производителей.

Настоящее исследование выполнено с целью повысить точность анализа данных и обеспечить более надежную и экономичную работу оборудования с использованием результатов диагностики. Дальнейшей целью является создание платформы, применимой к оборудованию не только машинных отделений, но и судна в целом — задача значительно более масштабная, нежели демонстрация разнообразных диагностических возможностей.

**1. Введение**

Для решения проблем автоматической диагностики различных видов оборудования, размещенного в машинном отделении судна, была разработана система CMAXS LC-A с соответствующей функциональностью, успешно прошедшая проверку в реальных условиях эксплуатации.

Система CMAXS LC-A имеет функциональный блок анализа неисправностей (аномалий) и диагностики технического состояния (ТС).

В CMAXS LC-A используются численные показатели (индексы) ТС устройств, функций и деталей, причем не только главного двигателя, но и других видов судового оборудования.

CMAXS LC-A имеет встроенный алгоритм анализа неисправностей с самообучением по результатам поиска неисправностей и диагностики ТС.

Кроме того, по результатам диагностики CMAXS LC-A может автоматически планировать ремонтно-профилактические работы.

**2. CMAXS LC-A**

На рис. 1 приведена блок-схема и алгоритм диагностики оборудования системой CMAXS LC-A. Показано, что CMAXS LC-A не только дает численную оценку выявленной аномалии и ставит диагноз, но и оперативно выводит на экран соответствующие инструкции по проверке и ремонту.

Символ  $\circ$  на рис. 1 обозначает блок из алгоритма, параметра и контента по каждому процессу. Отдельные компоненты системы разработаны на основании прошлого опыта и инженерных принципов. Однако все реальные физические явления предусмотреть невозможно, поэтому специалисты выполнили углубленный и расширенный анализ на основании вновь полученного опыта и инфор-

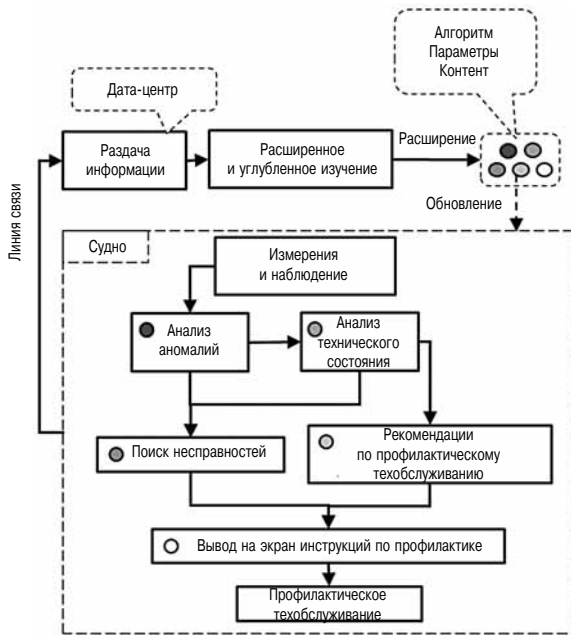


Рис. 1. Структурная схема CMAXS LC-A

мации, с целью создания более тонких алгоритмов и повышения точности параметров. Была также разработана карта желательных видов ремонта и обновления судовых систем. Это позволяет создавать новые механизмы по мере накопления опыта.

### 3. Анализ больших данных

#### Анализ больших данных применительно к задачам технической диагностики

Основная задача диагностики — профилактическое техобслуживание оборудования с целью минимизации рисков и отказов. Система получает информацию от чувствительных элементов, таких, как, например, датчики давления, температуры, вибрации, расхода, вязкости, и т. п. Объем этой информации очень велик, поэтому она носит название «больших данных». При этом информация об отказах (которая и является целью анализа) в число «больших данных» входить не может. К тому же отказ — это некое явление, причина которого на момент его возникновения неизвестна, в чем и состоит принципиальное отличие такого рода данных от данных, получаемых в результате измерений. Именно поэтому определять причины отказов непосредственно по результатам измерений довольно сложно.

Поскольку отказ оборудования является техническим феноменом, очень важно анализировать данные, руководствуясь инженерными принципами, основанными на технических характеристиках оборудования.

В CMAXS LC-A реализована концепция двухступенчатого анализа: «анализ аномалий» + «анализ ТС».

Первым шагом является анализ аномалий. Можно сказать, что анализ аномалий сводится к оценке величины расхождения между измеренной величиной и ее нормальным значением. Поскольку система использует данные измерений, она может применить метод статистического анализа непосредственно. Так как результат анализа аномалий впоследствии используется при анализе ТС, достоверность величины, рассчитанной на первом шаге, непосредственно влияет на точность окончательного диагноза.

#### Анализ аномалий

Для анализа аномалий чаще всего применяются следующие методы:

- метод, использующий определение заданного порогового значения;
- метод, использующий определение отклонений;
- метод, использующий математическую модель;
- метод, использующий сравнение записей данных с данными, которые характерны для нормального состояния;
- метод статистических процедур, основанный на предполагаемом характере распределения;
- метод, использующий корреляцию между величинами.

В CMAXS LC-A используются все перечисленные выше методы, причем в каждом случае выбирается метод, наиболее подходящий для выполнения текущей задачи анализа.

В CMAXS LC-A применена программа IBM Anomaly Analyzer for Correlational Data (ANACONDA), которая представляет собой алгоритм обучения для распределенной структуры, основанный на корреляции. Данный алгоритм устойчив к изменениям и возмущениям, так как базируется на функциональных соотношениях между измеряемыми величинами, и может анализировать аномалии даже при наличии сильных возмущений (погодные условия и состояние моря), непосредственно влияющих на работу главного судового двигателя.

Кроме того, используются методы анализа, основанные на инженерных соображениях, как, например, корреляция между измеряемыми величинами, анализ отклонения с учетом разброса и анализ тренда волнения. Все это позволяет выбрать тот алгоритм, который лучше других подходит для целей измерений и для целей диагностики.

#### Анализ технического состояния

На втором шаге рассчитываются величины, характеризующие техническое состояние оборудования. Как отмечено выше, очень важно анализировать данные, руководствуясь инженерными принципами, причем анализ должен вы-

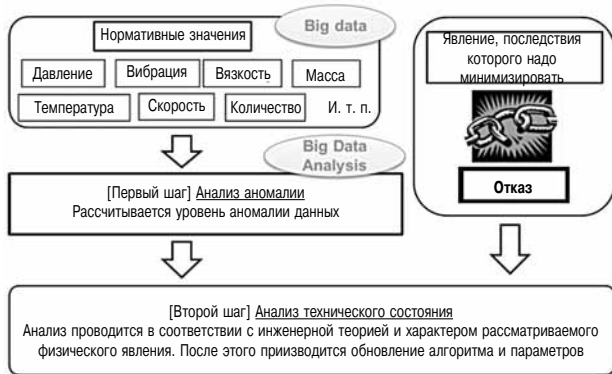


Рис. 2. Последовательность анализа аномалий и ТС

полняться в соответствии с алгоритмом, учитывающим конструкцию данного вида оборудования и его параметры, на основании имеющегося опыта и результатов измерений.

СМАХS LC-A может автоматически проводить анализ ТС по результатам каждого измерения и численного показателя (индекса) аномалии, рассчитанного путем анализа аномалии (см. рис. 2). В СМАХS LC-A «индекс ТС» рассчитывается для данного ТС. Индекс ТС — это безразмерная величина, которая представляет собой количественное выражение ТС устройства, детали или функции. Эта величина настроена так, чтобы в «параметрах» заданный уровень предупредительного сигнала был на отметке «пять», а уровень аварийного сигнала — на отметке «семь».

На рис. 3 показан пример диагностирования прорыва газов через выпускной клапан. Чтобы описать этот случай, был применен диагностический алгоритм для определения причины произошедшего перед этим событием. Как видно на рис. 3, индекс ТС начинает расти за три дня до того, как механики заметят неисправность и заменят выпускной клапан, тогда как ТС продолжает ухудшаться до аварийного уровня, что

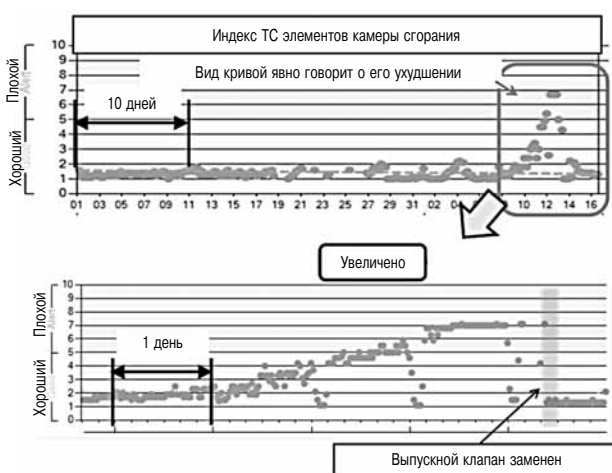


Рис. 3. Индекс ТС элементов камеры сгорания

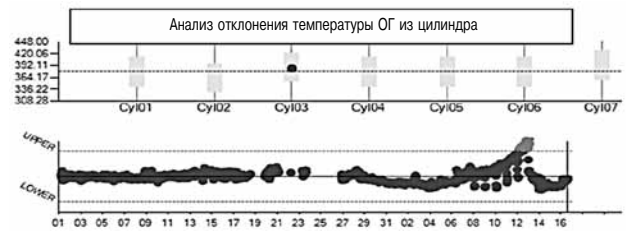


Рис. 4. Анализ температуры отработавших газов на выходе из цилиндра



Рис. 5. Анализ температуры в подпоршневом пространстве цилиндра



Рис. 6. Индекс состояния системы впрыска и рабочего процесса

механики подтверждают через полтора дня. Как видно из данного примера, система позволяет четко уловить тенденцию ухудшения ТС, поскольку непрерывно ведет расчет индекса ТС, представленный в виде графической функции времени.

В данном случае, с целью обнаружения неисправности и оценки ее причины был использован специальный метод для анализа отклонения температуры отработавших газов на рис. 4, и температуры в подпоршневом пространстве — на рис. 5.

Результаты анализа температуры отработавших газов свидетельствуют о явно аномальном уровне этого параметра, однако анализ температуры в подпоршневом пространстве показывает распределение на нормальном уровне. Это означает, что, хотя температура отработавших газов превышает допустимую, условия впрыска топлива и рабочего процесса остаются на нормальном уровне. Далее, СМАХS LC-A показывает худший индекс состояния элементов камеры сгорания по сравнению с индексом состояния системы впрыска и рабочего процесса (рис. 6).

Заранее формируется список целевых показателей диагностики состояния с учетом харак-

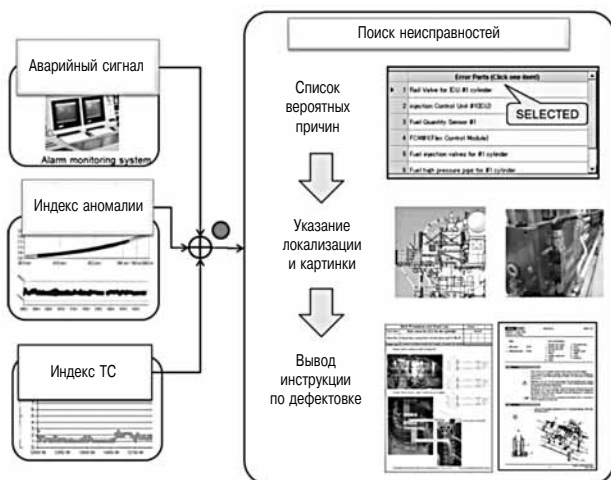
теристик объектов диагностирования и полученных данных, после чего выполняется автоматическая диагностика с применением алгоритмов и параметров, соответствующих каждому из объектов диагностирования. По мере накопления практического опыта и результатов исследований происходит непрерывное расширение списка объектов диагностирования и совершенствование алгоритмов диагностирования.

**Поиск и устранение неисправностей**

Для своевременного обнаружения ухудшения ТС в CMAXS LC-A включена функция поиска и устранения неисправностей (рис. 7). На основании информации, получаемой от системы аварийно-предупредительной сигнализации, результатов анализа аномалий и диагностики ТС, эта функция автоматически генерирует список элементов и деталей, считающихся наиболее вероятной причиной отказа. Кроме того, по каждому объекту автоматически формируется инструкция для дальнейших действий персонала. Для каждого из элементов, в которых возможен отказ, такие инструкции автоматически собираются и выводятся на экран, что облегчает поиск и устранение неисправностей.

Это особенно актуально для двигателей с электронными системами управления, где из-за большого числа соединений поиск нужной клеммы занимает много времени. При этом также существенно сокращается время на восстановление, поскольку в инструкции автоматически выводятся координаты нужной клеммы.

Одним из основополагающих принципов CMAXS LC-A является саморазвитие. Это значит, что обеспечена возможность расширения всех алгоритмов, причем алгоритм поиска и устранения неисправностей должен отличаться особо высокой надежностью, что достигается использованием концепции нейронной сети.



**Рис. 7. Поиск и устранение неисправностей в CMAXS LC-A**

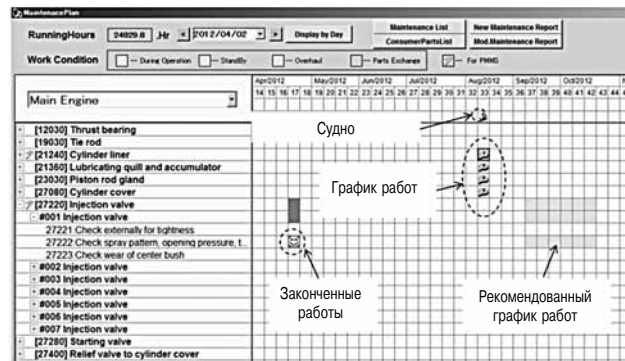
**Функция профилактики**

В состав CMAXS LC-A включена функция профилактического техобслуживания (рис. 8). Если составлен график профилактического техобслуживания, на экран выводятся карта необходимых проверок, перечень запчастей и другая информация.

Кроме того, расписание профилактического техобслуживания и фактические результаты выводятся на экран. Информация организована так, что разобраться в ней достаточно просто.

Информация по управлению техобслуживанием важна также для диагностических целей. Хотя технология анализа больших данных непрерывно развивается, количество установленных датчиков ограничено, следовательно, ограничено и то количество физических процессов, о которых можно судить по информации общего характера (давление, температура и т. п.). Поэтому для диагностики ТС особую важность приобретают такие параметры, как например, величина износа, которые измеряются при осмотре и техобслуживании. Данные измерений импортируются через CMAXS LC-A и обрабатываются как элементы диагностического алгоритма.

Далее, определяется рекомендуемый график техобслуживания, который может оперативно обновляться по результатам диагностики, с учетом развития диагностических методов и нормативной базы.



**Рис. 8. Планировщик техобслуживания в CMAXS LC-A**

**4. Реальный пример диагностики ТС**

Мы обладаем более чем пятилетним опытом работ в области создания средств диагностики, который лег в основу CMAXS LC-A. Здесь хотели бы привести несколько примеров диагностирования и показать, как шло совершенствование систем.

**Анализ аномалий**

Рассмотрим применение системы диагностики на примере двухтактного главного судового двигателя большой мощности. Двигатель оборудован двумя турбокомпрессорами с байпасом отрабо-

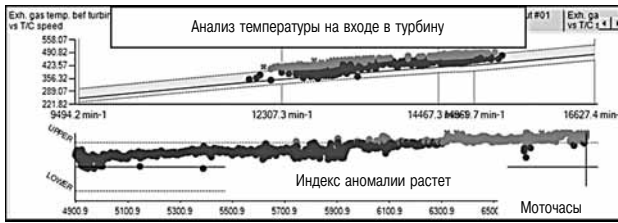


Рис. 9. Анализ температуры отработавших газов на входе ТК

тавших газов, который служит для более эффективной рекуперации тепла. На стадии анализа аномалий наблюдается значительное превышение допустимых значений температуры газов на входе и на выходе турбокомпрессора. На рис. 9 показан пример анализа аномалий, основанного на соотношении между частотой вращения ротора турбокомпрессора и температурой газов на входе в турбокомпрессор, приведенной к условиям ISO. Вид нижней кривой явно указывает на усиление аномалии со временем.

На рис. 10 показана картина развития аномалии по входной температуре газов, рассчитанная с помощью алгоритма самообучения IBM ANACONDA. Наблюдается усиление аномалии со временем, как и на рис. 9. После выполнения работ по техобслуживанию и ремонту (время работ обозначено жирной линией) уровень аномалии снизился.

Хотя уровень аномалии по температуре отработавших газов на входе ТК существенно возрос, анализ отклонения температуры отработавших газов на выходе из цилиндра показывает, что эта величина остается в пределах нормы (рис. 11). Хотя данные на рис. 11 относятся только к первому цилиндру, для остальных цилиндров результаты аналогичны. Это позволяет предположить отсутствие отказа, способного повлиять на температуры газов по всем цилиндрам, поскольку данный анализ аномалий диагностирует также изменения корреляции между цилиндрами.

Метод анализа отклонений, применяемый в CMAXS LC-A (см. выше), позволяет учесть разбросы между отдельными цилиндрами в зави-

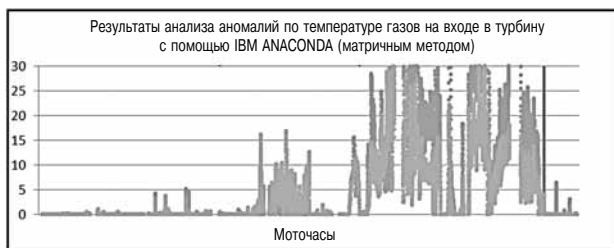


Рис. 10. Анализ температуры отработавших газов на входе ТК

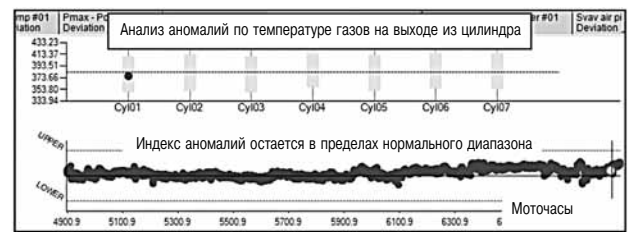


Рис. 11. Анализ температуры отработавших газов на выходе из цилиндра

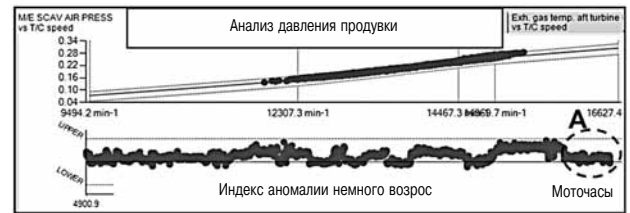


Рис. 12. Анализ давления продувки

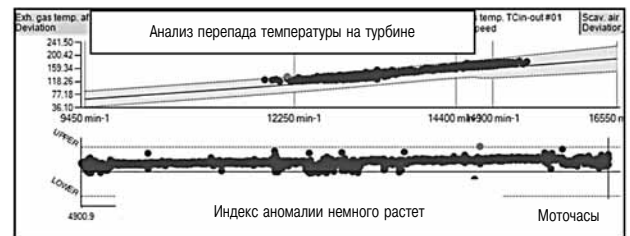


Рис. 13. Анализ перепада температур отработавших газов на турбокомпрессоре

симости от схемы их расположения и повысить точность анализа аномалий. Это видно, например, из рис. 11, где распределение температуры по отдельным цилиндрам не одинаковы.

На рис. 12 показан результат анализа аномалий на основе корреляции между частотой вращения ротора турбокомпрессора и давлением продувки. Хотя уровень аномалии несколько возрастает, этот рост незначителен по сравнению с динамикой аномалии по температуре отработавших газов. В зоне «А» уровень аномалии снижается из-за открытия (вручную) байпаса отработавших газов.

На рис. 13 показан результат анализа аномалий на основе корреляции между перепадом температур отработавших газов на турбине и частотой вращения турбокомпрессора. Данная величина определяет тепловой перепад на турбине и является косвенным показателем ее КПД. Как видно, уровень аномалии вырос незначительно, следовательно, можно предположить, что КПД турбины не снизился.

#### Анализ технического состояния

Этот результат анализа ТС выполнен с помощью алгоритма технической диагностики CMAXS LC-A. Он свидетельствует об ухудшении ТС системы турбонаддува (рис. 14).

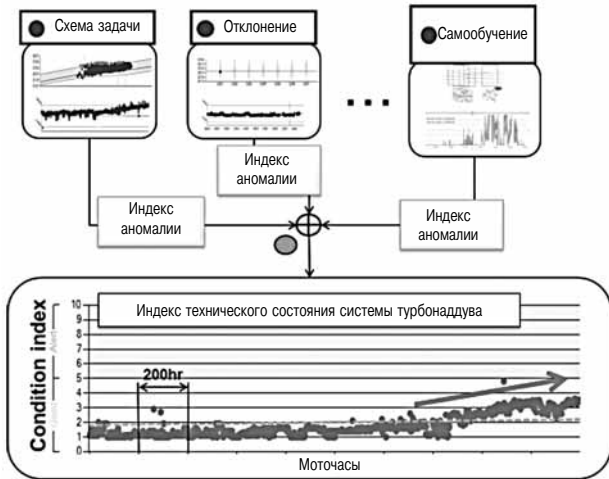


Рис. 14. Анализ ТС системы турбонадува

**Углубленный и расширенный инженерный анализ**  
 Чтобы усовершенствовать алгоритм самодиагностики, поскольку в результате данного анализ причина ухудшения ТС не была устранена, инженеры выполнили более детальный анализ.

Рост температуры отработавших газов может быть вызван различными причинами, обычно это: увеличение энергии на входе из-за роста расхода топлива; недостаток воздуха для сгорания; изменение теплового баланса.

На рис. 15 приведено сравнение характеристик развиваемой главным двигателем мощности от заданного сигнала топливоподачи (аналог циклового впрыска топлива), из которого можно понять, изменился ли расход топлива. Фактически расход топлива изменился незначительно, и стало ясно, что не это было причиной роста температуры отработавших газов. Также было рассмотрено влияние нижней теплотворной способности топлива.

Далее, как показано на рис. 16, было исследовано соответствие расхода воздуха, расчи-

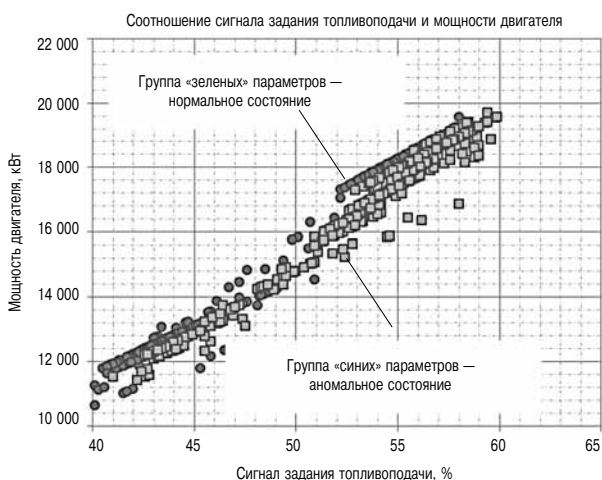


Рис. 15. Анализ расхода топлива

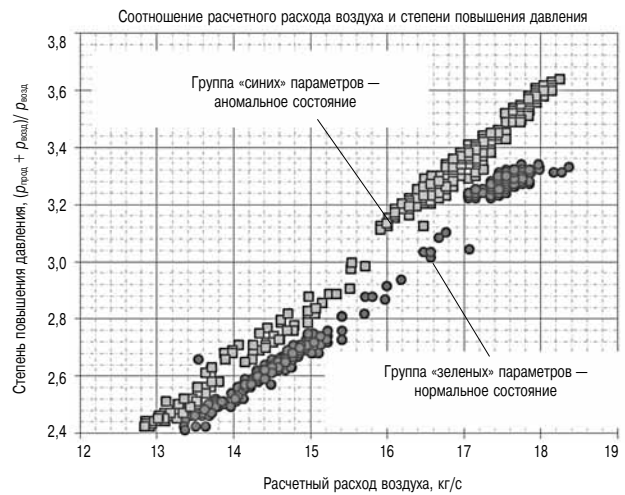


Рис. 16. Соотношение расхода воздуха и степени повышения давления



Рис. 17. Грязевые отложения на сопловых лопатках

танного по известным характеристикам турбокомпрессора и степени повышения давления. Здесь разница оказалась значительной. Соотношение между расходом воздуха и давлением продувки в аномальных условиях значительно выше нормы, что свидетельствует о возможном загрязнении газоздушного тракта на стороне выпуска.

Поскольку противодавление за турбокомпрессором не превышает нормы, стало ясно, что повышение давления вызвано загрязнением газового тракта турбины.

Механики проверили состояние защитной решетки в газовом коллекторе перед турбокомпрессором и сам турбокомпрессор. Было обнаружено сильное загрязнение периферической части соплового аппарата (рис. 17).

После очистки и промывки соплового аппарата нормальные параметры работы двигателя были восстановлены.

**Верификация алгоритмов**

В результате диагностики CMAXS LC-A было зафиксировано ухудшение ТС системы турбонад-

дува, но фактическое состояние системы оказалось еще хуже, чем уровень индекса ТС, рассчитанный CMAXS LC-A. Для выяснения причины такого расхождения потребовался инженерный анализ, проведенный специалистами.

Это был первый в практике применения CMAXS LC-A случай, когда была получена подробная информация о загрязнении соплового аппарата. В результате углубленного анализа выяснилось, что диагностический алгоритм нуждается в совершенствовании, как и список параметров для диагностики.

После этого было решено разделить объект диагностирования (турбокомпрессор) на две категории — сторона турбины и сторона компрессора.

Как показано на рис. 18, результаты диагностирования условий на стороне турбины и на стороне компрессора отражают данное событие после доработки алгоритма. Результаты диагностирования можно сформулировать следующим образом.

➤ Очевидно, что причина отказа находится на стороне турбины.

➤ Можно четко установить момент, с которого началось развитие данной аномалии.

➤ Расчетный показатель ТС соответствует фактическому состоянию тракта на стороне турбины.

В результате были обновлены параметры и структура алгоритма поиска и устранения неисправностей, а также обновлена инструкция по обследованию объекта при подозрении на аналогичный отказ.

Как показано на этом примере, при возникновении каждого нового события все алгоритмы, параметры и весь контент подлежат обновлению для всех аналогичных судов, что необходимо для поддержания функциональности диагностического алгоритма.

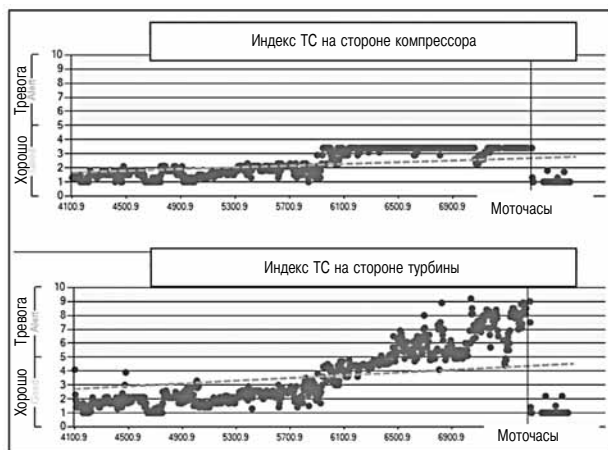


Рис. 18. Анализ ТС системы турбонаддува

Следует также отметить, что, несмотря на выполненную незадолго до этого сухую очистку газового тракта турбины в полном объеме, было обнаружено загрязнение периферийной части соплового аппарата, причем лопатки были загрязнены не по всей ширине, а лишь наполовину. Это может свидетельствовать о недостаточной эффективности сухой очистки, поэтому во избежание рецидивов рекомендовано увеличить число циклов очистки с одного до четырех.

### 5. Недостающие датчики

Несмотря на совершенствование алгоритмов с учетом физики рассматриваемых явлений, область диагностики и достоверность результатов все еще ограничены количеством и качеством датчиков. Точность результатов может быть повышена за счет увеличения количества датчиков и/или создания новых специальных датчиков.

В качестве примера приведем алгоритм обнаружения задира поршневого кольца главного двигателя. Это стало возможным на самой ранней стадии развития дефекта благодаря установке нескольких весьма полезных датчиков, и позволило сделать ряд важных выводов.

В цилиндре, о котором идет речь, по периферии верхней части цилиндровой втулки были установлены четыре датчика температуры и TF-детектор (рис. 19). TF-детектор непрерывно измеряет содержание металлического порошка в масле, сливаемом из цилиндра. Использование TF-детектора обеспечивает непрерывный контроль ТС пары трения «поршневое кольцо—втулка цилиндра», определяемого по содержанию металла в масле.

Как видно из рис. 20, внезапно выросло содержание металлического порошка в сливаемом

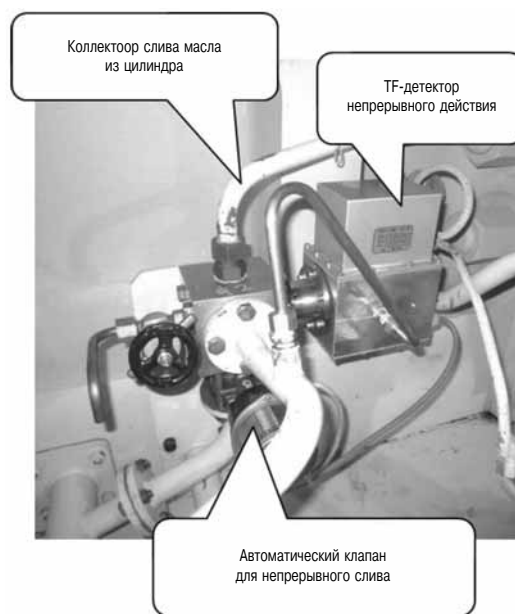


Рис.19. Онлайн TF-детектор



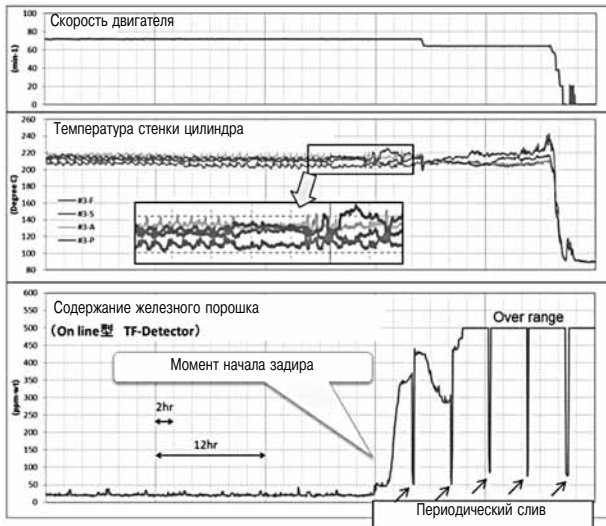


Рис. 20. Задир поршневого кольца — запись процесса

из цилиндра масле, что свидетельствует о задирах поршневых колец.

Температурная кривая стенки гильзы цилиндра содержит остроконечные всплески. Они соответствуют моментам прохождения зоны датчика замком поршневого кольца. Малая амплитуда скачка температуры объясняется тем, что в двигателе использованы кольца с газоплотным замком. Из графика можно заключить, что замок поршневого кольца последовательно проходит мимо четырех датчиков температуры, и что кольцо возвращается. Цикл поворота составляет 40~45 минут. Судя по наблюдениям, этот период стал короче обычного. Скорее всего, это означает, что уплотняющие свойства кольца по каким-то причинам снижаются. Одна из возможных причин состоит в уменьшении газоплотности при прохождении к области формирующегося задира. Однако этот факт впервые был обнаружен более чем за год до инцидента, следовательно, для предсказания появления задира этого недостаточно.

При этом если посмотреть на содержание металлического порошка в сливаемом масле, то этот параметр, находившийся на уровне порядка 25 ppm, внезапно подскочил выше 500 ppm, что даже превосходит рабочий диапазон датчика. В данном случае масло для анализа забирается непосредственно из нижней части цилиндра, поэтому можно предположить, что задир случился минут за десять до резкого скачка содержания железа в масле. Температура втулки начала расти только через 20 часов после

этого события. Однако рост температуры был небольшим, и неясно, был ли он следствием задира.

Приведенный пример показывает, что с помощью разного рода специальных датчиков можно собирать информацию, позволяющую глубже понять суть явления и обеспечить возможность автоматической диагностики. Увеличение количества точек измерения очень важно для анализа данных, кроме того, оно позволит достичь точности измерений, необходимой для анализа аномалий и диагностики ТС с учетом развития новейших технологий математического анализа. Поэтому нам представляется, что спросом в дальнейшем будут пользоваться не столько сверхточные датчики, сколько датчики, достаточно дешевые, надежные и удобные для монтажа.

### 6. CMAXS LC-A как платформа

Данная система с самого начала создавалась как комплексная система диагностики и планирования техобслуживания всего судового оборудования. Начав с разработки алгоритма, основанного на ноу-хау в части главных судовых двигателей большой мощности, впоследствии были проведены на практике проверка эффективности системы, точность диагностики и ее жизнеспособность для поддержки пользователей. После главного судового двигателя алгоритмы диагностики адаптированы к дизель-генераторам, силовой турбине и к опорам гребного вала.

Убедившись в возможности и целесообразности применения настоящей системы не только к главному двигателю, но и к другим видам судового оборудования, совместно с производителями разных видов судового оборудования были разработаны и реализованы планы поддержки пользователей.

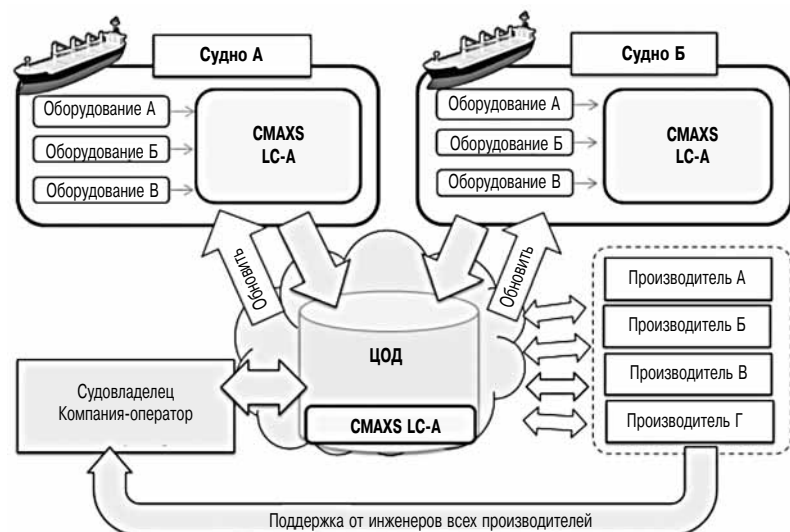


Рис. 21. Блок-схема CMAXS LC-A

Блок-схема системы, изображенная на рис. 21, показывает, что центр обработки данных (ЦОД) используется в качестве платформы, а судовая команда, судовладелец, компания-оператор и производители другого судового оборудования через CMAXS LC-A получают доступ к современной системе диагностики и ко всей необходимой им информации. Таким образом, CMAXS LC-A способствует внедрению современных технологий диагностики и совершенствованию судового оборудования, размещенного в машинном отделении.

Управление ЦОД осуществляется нейтральным оператором — судовым дата-центром, учредителем которого является третья сторона — классификационное общество ClassNK. Партнеры, вновь присоединившиеся к сообществу, также получают доступ к CMAXS LC-A. Таким образом, CMAXS LC-A используется в качестве общей платформы для всех сегодняшних и будущих участников.

#### **7. Заключение**

CMAXS LC-A — это система, рожденная совместными усилиями сторон, которые ощутили потребность в современных технологиях анализа аномалий и диагностики ТС главных судовых двигателей. Главный судовой двигатель является сложным объектом для автоматической диагно-

стики, поэтому поставленная задача потребовала больших усилий для того, чтобы сделать программу достаточно универсальной, основываясь на инженерных принципах. Результатом стала система, охватывающая, помимо главного двигателя, и другие виды судового оборудования. Для всеобъемлющей поддержки судовой силовой установки в сотрудничестве со всеми заинтересованными сторонами используются облачные технологии хранения данных и организованы необходимые коммуникации между изготовителями оборудования и наземными службами.

Используя этот механизм, планируется дальнейшее совершенствование систем диагностики для создания надежной базы оперативного планирования профилактики и своевременного обновления рабочих инструкций по мере модернизации оборудования и программного обеспечения.

---

#### **Литература**

1. *Tsuyoshi Ide*, Pro Vision, Vol. 78, № Summer 2013. — P. 28–33.
2. *Tsuyoshi Ide*, Masashi Sugiyama, «Anomaly Detection and Change Detection» 2015. — P. 127–143.

**3 марта 2019 года г. на 72-м году скоропостижно скончался  
профессор кафедры ДВС и автоматики СЭУ  
ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова  
член редакционной коллегии  
журнала «Двигателестроение»**

## **Александр Семенович Пунда**



Морская академия, факультет судовой энергетики, кафедра двигателей внутреннего сгорания и автоматики судовых энергетических установок понесли тяжелую и невосполнимую утрату. Скончался профессор, декан судомеханического факультета Морской академии ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. Он был одним из тех, чьим трудом создавалось признание профессионализма выпускников университета в России и за рубежом. Александр Семенович был безгранично предан своей профессии, отличался принципиальностью, требовательностью и доброжелательностью.

Александр Семенович поступил на судомеханический факультет ЛВИМУ им. адм. С.О. Макарова в 1965 году. После окончания училища обучался в аспирантуре. Вся его трудовая деятельность была связана с кафедрой ДВС и АСЭУ судомеханического факультета: с 1973 г. он инженер, с 1975 г. — ассистент кафедры, после защиты кандидатской диссертации в 1980 г. — доцент кафедры и с 1998 г. профессор кафедры.

Исключительно плодотворной была его деятельность на посту декана судомеханического факультета с 1989 по 2009 г. Его непосредственным и важным участием было обеспечено признание международным морским сообществом дипломов судовых механиков, подготовленных в России. Александр Семенович совместно с коллегами-судоводителями создавал действующую в настоящее время систему подготовки специалистов морского флота, которая признана ИМО и соответствует ее требованиям.

За последние 45 лет все будущие судовые механики прошли через школу Александра Семеновича. Он не только преподавал им важнейшую основополагающую дисциплину СДВС, но и воспитывал в них инженеров, не жалея ни сил, ни времени. За годы преподавательской деятельности он подготовил тысячи морских специалистов.

Александру Семеновичу были присвоены звания почетного работника транспорта России, почетного работника морского флота.

Ушел из жизни профессионал, знаковый преподаватель факультета Морской академии и просто хороший человек, которого нам всем будет очень не хватать.

*Коллектив факультета судовой энергетики, кафедра двигателей внутреннего сгорания  
и автоматики судовых энергетических установок,  
редакция журнала «Двигателестроение»  
выражают глубокое соболезнование родным и близким Александра Семеновича*

УДК 621.431

**Столяров С.П. Системные проблемы Российского дизелестроения (взгляд из морского технического университета) // Двигателестроение. — 2019. — № 1. — С. 3–8.**

**Ключевые слова:** судовая энергетическая установка, дизели, импортозамещение, проектирование, статус главного конструктора, долгосрочное планирование, экспертиза проектов, подготовка инженерных кадров.

Рассматриваются системные проблемы Российского судового дизелестроения, ставшие причиной стагнации отрасли. Предлагается ввести жесткий контроль реализации программ импортозамещения, ограничить типаж дизелей, применяемых на флоте; обеспечить дизелестроительные заводы заказами в объеме, достаточном для устойчивого развития; повысить статус главных конструкторов на ведущих дизелестроительных заводах; обеспечить экспертный контроль за выполнением программ, финансируемых государством; реформировать систему подготовки инженерных кадров в области энергетического машиностроения.

УДК 621.43

**Мягков Л.Л., Сивачев В.М. Математическое моделирование сопряженного теплообмена в системе охлаждения среднеоборотного дизеля // Двигателестроение. — 2019. — № 1. — С. 9–13.**

**Ключевые слова:** среднеоборотный дизель, теплонапряженность, система охлаждения, режим пузырькового кипения, численное моделирование, вычислительная гидродинамика, снижение температуры деталей ЦПГ.

Рост теплонапряженности крышек и втулок цилиндров при форсировании среднеоборотных дизелей может стать причиной образования термоусталостных трещин в деталях камеры сгорания. Результаты математического моделирования сопряженного теплообмена в системе охлаждения среднеоборотного дизеля Д500 показали, что нормализация теплового состояния деталей камеры сгорания может быть достигнута интенсификацией теплообмена в полостях охлаждения за счет организации режима пузырькового кипения охлаждающей жидкости. Табл. 2. Ил. 5. Библ. 19 назв.

УДК 621.43

**Милаев С.Б. Оптимизация фазовых показателей сгорания в дизельных и газовых двигателях для снижения выбросов оксидов азота // Двигателестроение. — 2019. — № 1. — С. 14–19.**

**Ключевые слова:** дизели, газовые двигатели, фаза сгорания топлива, скорость тепловыделения, скорость отвода тепла, снижение выбросов оксидов азота.

Предложен метод снижения максимальных температур цикла за счет более позднего впрыска топлива, при совмещении фазы максимальной скорости сгорания топлива с фазой достижения максимальной скорости отвода тепла в стенке цилиндра. Экспериментально показана возможность снижения выбросов  $\text{NO}_x$  на 40–60 % при заданном значении расхода топлива. Метод нашел применение на среднеоборотных двигателях внедорожного класса типа Д49 и Д500 при работе на дизельном и газовом топливах. Ил. 9. Библ. 4 назв.

УДК 621.78

**Иванов Д.А., Зюкин В.С., Колосков А.А. Снятие остаточных напряжений в деталях авиадвигателей газоимпульсной обработкой // Двигателестроение. — 2019. — № 1. — С. 20–23.**

**Ключевые слова:** авиационные двигатели, тонкостенные детали, восстановительный ремонт, остаточные напряжения, газоимпульсная обработка.

В процессе восстановительного ремонта деталей авиадвигателей широко используются наплавка и приваривание вставок малой толщины аргонодуговой сваркой. Представлены результаты исследования, показывающие, что воздействие пульсаций воздушного потока без применения нагрева позволяет эффективно управлять остаточными напряжениями металлических элементов конструкций, в том числе устранить нежелательные растягивающие напряжения на поверхности тонкостенных металлических деталей, что уменьшает риск образования трещин в процессе их эксплуатации. Ил. 4. Библ. 10 назв.

УДК 621.43.057

**Плотников С.А., Смольников М.В., Шишкин Г.П. Расчет стабильности этанола-топливной эмульсии для применения в дизелях // Двигателестроение. — 2019. — № 1. — С. 24–27.**

**Ключевые слова:** дизельное топливо, этанола-топливная эмульсия, стабильность эмульсии, максимальный размер капель.

С использованием теории движения дисперсных капель в несущей среде получено аналитическое выражение для расчета стабильности этанола-топливной эмульсии (ЭТЭ) различного дисперсного состава. Расчетным методом определен максимальный размер капель водного раствора этанола ( $d = 0,058$  мм) в ЭТЭ, стабильность которой до коалесценции составляет не менее 60 мин. Результаты аналитического расчета подтверждены экспериментальными данными. На основании результатов проведенных исследований разработан метод расчета оптимального состава смесового топлива на основе ДТ и этанола с улучшенными эксплуатационными свойствами. Ил. 3. Библ. 12 назв.

УДК 332.82.42

**Прутчиков И.О., Михайлов В.И., Камлюк В.В. Модули энергетической безопасности автономных объектов на базе комбинированных энергоустановок // Двигателестроение. — 2019. — № 1. — С. 28–32.**

**Ключевые слова:** энергетическая безопасность, автономные объекты, комбинированные энергоустановки, статические преобразователи электроэнергии, когенерация, аккумулялирование, автоматическое управление.

Рассматриваются вопросы обеспечения энергетической безопасности автономных объектов за счет применения мобильных модулей контейнерного исполнения, включающих комбинированные энергоустановки с двигатель-генераторами, аккумуляторами, солнечными батареями и статическими преобразователями энергии. Разработан действующий образец автоматизированного модуля на базе ДГУ мощностью 16 кВт, оборудованный системой автоматизированного дистанционного управления источниками, преобразователями и накопителями энергии с использованием отечественной элементной базы. Табл. 1. Ил. 3. Библ. 7 назв.

УДК 355.673:621.182/621.18

**Бондарев А.В. Экспериментальные исследования переходных процессов в котлах высокотемпературного кипящего слоя с рециркуляцией уходящих газов // Двигателестроение. — 2019. — № 1. — С. 33–37.**

**Ключевые слова:** котел высокотемпературного кипящего слоя, рециркуляция уходящих газов, твердое топливо, каменный уголь, фрезерный торф, переходные процессы.

Приведены результаты экспериментальных исследований переходных процессов котла с топкой высокотемпературного кипящего слоя и рециркуляцией уходящих газов. Переходные процессы реализованы за счет возмущающих воздействий изменения нагрузки (расхода топлива) в диапазоне 80–100 %. Показано, что динамические параметры котла при работе на различных твердых топливах с рециркуляцией уходящих газов значительно лучше, чем при отсутствии рециркуляции. Сравнение характеристик переходных процессов, полученных экспериментально и расчетным методом, показало удовлетворительную сходимость. Ил. 14. Библ. 5 назв.

УДК 621.43

**Системы автоматизации и диагностирования дизелей и газовых двигателей (материалы конгресса СИМАС-2016) // Двигателестроение. — 2019. — № 1. — С. 39–56.**

**Ключевые слова:** «умный двигатель», автоматическое управление, диагностика, устранение неисправностей, универсальная диагностическая платформа, открытое программное обеспечение, облачное хранение данных.

Развитие АТ-технологий открыли возможности для создания «умного двигателя», адаптированного к изменению внешних условий за счет применения систем электронного управления и контроля. Компанией «AVAT Automation GmbH» (Германия) в сотрудничестве с «Bachmann Electronic GmbH» разработана универсальная диагностическая платформа с открытым программным обеспечением OpenECS на базе промышленных контроллеров PLC, адаптированная к газовым двигателям. Компания «Diesel United Ltd» (Япония) на основе анализа больших массивов данных «Big Data Analysis» разработала диагностическую платформу универсального характера CMAXS LC-A для обнаружения и устранения неисправностей главных двигателей, а также других видов судового оборудования, размещенного в машинном отделении. Для обеспечения надежности и поддержки оборудования используются облачные технологии хранения данных с организацией коммуникации между судном, изготовителями оборудования и наземными службами. Ил. 5. Библ. 2 назв.

UDC 621.431

**Stolyarov S.P. Core problems of engine building in this country (as seen from the Marine Technical University) // Dvigatelistroyeniye. — 2019. — № 1. — P. 3–8.**

**Keywords:** marine power plant, diesel engine, import replacement, designing, design manager's status, long-term scheduling, design reviewing, home-made parts, manpower development, upgrading of educational standards.

The article discusses the system problems engine building in Russia that account for stagnation of the above industry. In the authors' view, the following measures are essential for the revival of engine building in Russia: to enforce tight control over implementation of import-substitution programs; to limit the scope of engine models certified for marine application; to provide engine builders with stock of orders sufficient for their sustainable development; to organize manufacturing of engine parts and units at dedicated facilities; to upgrade status of design managers at leading engine builders; to enforce effective expert supervision over implementation of state-financed programs; to reform the manpower development system in power engineering.

UDC 621.43

**Myagkov L.L. and Sivachev V.M. Mathematical modelling of combined heat/mass transfer in cooling system of a middle-speed diesel engine // Dvigatelistroyeniye. — 2019. — № 1. — P. 9–13.**

**Keywords:** middle-speed diesel engine, thermal stresses, cooling system, nucleate boiling, numerical modelling, reducing temperature of combustion chamber components.

Increasing boost pressure in middle-speed diesel engines leads to higher thermal stresses in cylinder heads and liners, which, in turn, results in thermal fatigue crack in combustion chamber components, as well as scuffing of cylinder liner and piston surfaces. Alleviation of thermal conditions for combustion chamber components may be achieved through intensification of heat exchange in coolant cavities due to nucleate boiling of coolant. Mathematical simulation of heat- and mass-exchange in coolant cavities of type D500 engine shows that temperature of liquid in coolant cavities of cylinder heads and liners reaches saturation point. Surface boiling (nucleate boiling of the coolant) results in lower maximum temperatures of combustion chamber components. 5 tables, 5 ill., 19 ref.

UDC 621.43

**Milyaev S.B. Optimal phasing of fuel injection as a means to reduce NO<sub>x</sub> emissions from diesel and gas engines // Dvigatelistroyeniye. — 2019. — № 1. — P. 14–19.**

**Keywords:** diesel engines, gas engines, fuel combustion phase, heat release rate, heat removal rate, reduction of NO<sub>x</sub> emissions.

Reducing NO<sub>x</sub> emissions from high-powered middle-speed diesel engines without compromising fuel economy is one of the prime challenges for engine designers. The authors offer later fuel injection as a method of reducing maximum cycle temperature, in such a way that time points of maximum combustion velocity and maximum rate of heat removal from gas to cylinder liner walls would coincide. Their experiments confirmed feasibility of reducing NO<sub>x</sub> emissions by 40–60 % without compromising fuel consumption. The method have been already implemented in middle-speed engines types D49 and D500 (both in diesel and gas engine versions) powering various off-road vehicles. 9 ill., 4 ref.

UDC 621.78

**Ivanov D.A., Zyukin V.S. and Koloskov A.A. Gas-impulsive treatment as a means of stress-relieving in aircraft engine parts // Dvigatelistroyeniye. — 2019. — № 1. — P. 20–23.**

**Keywords:** aircraft engines, thin-walled parts, rebuilding, residual stress, non-stationary gas flow, gas-impulsive treatment, reliability improvement.

Such technologies as building-up welding and attaching thin inserts with argon arc welding are widely used for rebuilding of aircraft engine components. However, this method entails residual stresses, which cannot be relieved by heating a part in question without detrimental effect upon its metallic structure. As shown by this research, gas-impulsive treatment without heating is an effective means to control residual stress in metal parts. In particular, it enables removal of unwanted tension stresses on metal part surfaces, thus reducing the risk cracks formation. 4 ill., 10 ref.

UDC 621.43.057

**Plotnikov S.A., Smolnikov M.V., Shishkin G.P. Calculated stability of ethanol-fuel emulsion as combustible for diesel engine // Dvigatelistroyeniye. — 2019. — № 1. — P. 24–27.**

**Keywords:** diesel fuel, ethanol-fuel emulsion, surfactants, stability of emulsion, maximum size of droplets, diesel bed tests.

Based on the theory of disperse droplets' movement, these authors derived mathematical expression for stability of ethanol-fuel emulsion (EFE). Furthermore, they calculated maximum size of droplets ( $d = 0,058$  mm) of water solution in EFE, whose minimum life before coalescence exceeds 60 min. The results of analysis are supported by experimental data. Based on the above analysis, a method was offered to define optimum composition of ethanol-based fuel mix with higher performance.

3 ill., 12 ref.

UDC 332.82.42

**Prutchikov I.O., Mikhailov V.I. and Kamlyuk V.V. Uninterrupted power supply modules for stand-alone energy consumers based on hybrid power plants // Dvigatelistroyeniye. — 2019. — № 1. — P. 28–32.**

**Keywords:** reliable power supply, stand-alone energy consumers, engine-generators, hybrid power plants, solid-state energy converters, cogeneration, accumulation, intellectual automatic control.

The article discusses issues of uninterrupted power supply for stand-alone energy consumers based on mobile modules containing hybrid power plants with engine-generators, accumulators, solar batteries and solid-state energy converters. A workable specimen of such module has been developed based on diesel-generator rated at 16 kW, equipped with automatic system for remote control of power sources, converters and energy storage devices. All the above equipment features Russian make components. 3 tables, 7 ref.

UDC 355.673:621.182/621.18

**Bondarev A.V. Experimental research on transients in boilers featuring high-temperature fluidized bed and off-gas recirculation // Dvigatelistroyeniye. — 2019. — № 1. — P. 33–37.**

**Keywords:** power-generating boilers, high-temperature fluidized bed, off-gas recirculation, solid fuel, coal, milled peat, variable load, transients.

The results are presented of the research on transients in a boiler with high-temperature fluidized bed and off-gas recirculation. The transients have been initiated by controlled load (fuel flow) disturbances in the range of 80–100 %. The boiler was fired with milled coal (particle size 10–25 mm) and peat. It is shown that off-gas recirculation considerably improves transient characteristics of solid fuel boilers, including time to achieve steady state. The difference between experimental and calculated transient curves does not exceed 5%.

14 ill., 5 ref.

UDC 621.43

**Control & automation systems for diesel and gas engines (based on CIMAC-2016 papers) // Dvigatelistroyeniye. — 2019. — № 1. — P. 39–56.**

**Keywords:** smart engine, automatic control, diagnostics, troubleshooting, universal diagnostics platform, open software, safe communication channels.

Recent advancement in IT-technologies and computer performance have been bringing us closer to the development of «smart engine», automatically adapted to operating conditions. Functions of Engine Control Systems (ECS) include online engine diagnostics, troubleshooting and online generating manuals on fault detection & rectification. «AVAT Automation GmbH» in cooperation with «Bachmann Electronic GmbH» developed universal diagnostic platform openECS based on various PLC (Programmable Logic Controllers) adapted to gas engines. The scope of the system functions includes online diagnostics of engine systems, prevention of detonation and misfires, and preventing the engine from exceeding critical limits. «Diesel United Ltd» (Japan) based on «Big Data Analysis» developed universal diagnostic platform CMAXS LC-A, which provides diagnostics, troubleshooting and fault rectification for marine main diesel engines and other equipment installed in a vessel. Cloud computing technologies are combined with the improvement of the communication environment between the ship and land through safe channels, which contribute into equipment reliability and timely support of operators. 5 ill., 2 ref.

## Вниманию авторов

Редакция обращает внимание авторов на тематическую направленность принимаемых к рассмотрению рукописей и необходимость выполнения требований по их оформлению.

Журнал «Двигателестроение» является ежеквартальным научно-техническим изданием, посвященным проблемам развития, проектирования, изготовления и эксплуатации поршневых двигателей.

Тематика публикаций определила следующие основные рубрики журнала:

- расчеты, конструирование, исследования двигателей;
- системы и агрегаты двигателей;
- конструкционные материалы;
- топливо и смазочные материалы, присадки;
- ресурсосбережение;
- эксплуатация и ремонт двигателей;
- автоматизация и диагностирование;
- проблемы экологии;
- гипотезы и дискуссии;
- история развития конструкций (проектов), предприятий и науки о двигателях;
- обзорная и справочная информация.

Текст рукописи должен быть представлен в двух экземплярах на бумаге формата А4, гарнитура Times New Roman 12, через полтора интервала, с обязательным приложением электронной версии на CD (в формате Microsoft Word 2000/2003), полностью соответствующей оригиналу на бумаге. Формулы в электронной версии должны быть набраны с использованием редактора формул Microsoft Equation 3.0. За достоверность набора формул несет ответственность автор. При использовании в наборе специальных шрифтов последние прилагаются в электронном виде. Электронные копии иллюстраций представляются отдельными файлами в форматах: TIF, JPG (не менее 300 dpi, черно-белые полутоновые изображения).

Представляя рукопись статьи в редакцию, автор должен сообщить о ее предыдущих публикациях.

Рукопись статьи должна иметь рекомендацию к публикации в журнале (направление) от организации, где выполнялась работа, а также акт экспертной комиссии с указанием того, что рукопись не содержит сведений, запрещенных к публикации в открытой печати.

Заглавие статьи должно быть кратким (не более 120 знаков), точно отражающим ее содержание.

Для оперативного решения вопросов, связанных с подготовкой рукописи к публикации, а также для размещения электронной версии журнала в НЭБ должны быть представлены сведения об авторах:

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- ученая степень и звание;
- полное наименование места работы;
- полный почтовый адрес;
- действующие контактные телефоны, e-mail).

Для представления авторов читателям желательно присылать цветные или черно-белые фотографии авторов размером не менее чем 3×4 см. Допускаются электронные копии в форматах TIF или JPG.

Обязательными приложениями к рукописи являются: реферат, в котором четко и сжато изложены основные цели и результаты работы объемом от 700 до 1200 знаков; код УДК; ключевые слова.

Заглавие статьи, название организаций, ФИО авторов, ключевые слова и реферат необходимо присылать на русском и английском языках.

Объем статьи не должен превышать 25 тыс. знаков, включая таблицы и список литературы. Иллюстрации в виде графиков, диаграмм, схем и фотографий оформляются в виде приложений к тексту рукописи. Все приложения к тексту рукописи представляются на отдельных листах, а в электронной копии — в виде отдельных файлов. Формулы, иллюстрации и таблицы должны быть пронумерованы в порядке упоминания и снабжены поясняющими (подрисуночными) подписями. Все обозначения на иллюстрациях должны быть объяснены (расшифрованы) в тексте или в подрисуночных подписях и соответствовать обозначениям в тексте.

Даже если все иллюстрации заверстаны автором в текст электронной копии рукописи, то их представление в виде отдельных файлов и распечаток на отдельном листе обязательно.

В статьях желательно приводить только те математические формулы, которые необходимы для понимания существа вопроса, исключая их подробные выводы.

Все обозначения, встречающиеся в формулах, должны быть объяснены.

При написании формул необходимо использовать общепринятые обозначения физических величин по Международной системе единиц (ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин). Ссылки на цитируемые источники необходимо оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 05–2008.

Если представленные в редакцию рукописи не удовлетворяют перечисленным требованиям, то они могут быть доработаны по согласованию с автором сотрудниками редакции. Услуги редакции по доработке рукописей статей платные.

Рукописи статей, поступившие в редакцию, рецензируются специалистами. Если у рецензента имеются обоснованные критические замечания, статья возвращается автору на доработку.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла авторского текста. При поступлении в редакцию обоснованных критических замечаний, касающихся размещенного в журнале материала, редакция оставляет за собой право на их публикацию в порядке дискуссии.

Авторское право на конкретную статью принадлежит авторам. Ответственность за содержание статьи несет также автор. При перепечатке статьи или ее части ссылка на журнал обязательна.

Публикация в журнале учитывается ВАК в качестве печатного научного труда.

Рукописи, направленные в редакцию, авторам не возвращаются.

*Редакция журнала*