



# Автоматизация бортовой криогенной системы речного судна-газохода

Ярослав Евдокимов

В статье описан опыт разработки системы управления криогенной бортовой газотопливной системой для судна «Чайка», которое является первым в России речным судном с газопоршневыми двигателями, использующими сжиженный природный газ. Система управления упрощает работу судоводителя, обеспечивает безопасность и бесперебойность функционирования топливной системы, состоящей из криогенных резервуаров, газификаторов, крановой обвязки и системы контроля загазованности.

В 2020 году на Зеленодольском заводе им. А.М. Горького построено речное судно-газоход «Чайка», использующее СПГ – сжиженный природный газ. Такой проект реализован в России впервые. На борту «Чайки» практически не используется дизельное топливо (ДТ), исключение – аварийный генератор, работающий на ДТ. Два главных двигателя и два генераторных агрегата – газопоршневые двигатели с искровым зажиганием. Газ хранится на борту судна в сжиженном виде в двух криогенных ёмкостях на открытой палубе. Для подачи к двигателям СПГ регазифицируется в теплообменниках, работающих от систем охлаждения двигателей без дополнительного потребления энергии. С самого начала разработки предполагалось, что технологические операции бункеровки (заполнения криогенных ёмкостей с берега), хранения и подачи регазифицированного топлива к двигателям должны быть автоматизированы.

Судно «Чайка» (рис. 1) предназначено для оценки экологической и экономической эффективности этого вида топлива в реальной эксплуатации, отработки технологии бункеровки судна, обучения экипажа и наземных служб работе с криогенным топливом. Назначение судна – прогульно-экскурсионное, а экологичность применённого топлива позволяет использовать его в городской черте и в особо охраняемых природных зонах.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ КРИОГЕННОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ – ОСОБЕННОСТИ И НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Сжиженный природный газ, при всей его экономической привлекательности, сложнее в использовании, чем дизельное топливо: автоматизация тут необходима, чтобы упростить работу команды судна, сократить время технологических операций, обеспечить безопасность. Не

надо забывать, что выбросы метана в атмосферу несут не только экономические потери, но и экологический ущерб из-за высокого «парникового» действия этого газа, резко снижая экологическую эффективность судна, поэтому особое внимание при разработке системы автоматизации должно быть уделено режимам работы оборудования и избеганию каких-либо сбросов при штатной работе.

В правила Российского Речного Регистра (РРР) в 2019 году введён раздел, описывающий специальные требования к судам, использующим природный газ (как сжатый, так и сжиженный) в качестве топлива. Этот раздел описывает и конструкцию газовой аппаратуры, и требования к автоматизации, расширенные по сравнению с автоматизацией традиционных судов с дизельными двигателями. Например, предписано иметь на борту систему контроля, обеспечивающую сигнализацию по технологическим параметрам и по загазо-



Рис. 1. Судно «Чайка», вид с кормы. Видны ёмкости криогенной бортовой газотопливной системы на палубе

ванности, аварийное отключение регазификаторов и потребителей газа и т.п.

При разработке бортового оборудования и системы автоматизированного управления необходимо соблюдать баланс между безопасностью газового оборудования и безопасностью судовождения, например, недопустимо останавливать оба главных двигателя при неисправности на одном, так как потеря судном хода и управляемости может привести к аварии при движении в узкостях или расхождении с другими судами. Для соблюдения такого баланса необходимы согласованные общепроектные решения (например, разделение дублированного оборудования непроницаемыми переборками) и архитектура системы управления (например, отдельный контроль загазованности по зонам и аварийное отключение оборудования только в аварийной зоне так, чтобы не нарушалась работоспособность остального оборудования). Всё это требует хорошего согласования работы проектантов судна и всех поставщиков бортового оборудования.

Автоматизируемая криогенная система похожа на аналогичные системы хранения и регазификации, применяемые на суше. Тем не менее общепромышленные решения по автоматизации не подходят для применения на речном

судне: требуется специальная процедура сертификации, включающая испытания на виброустойчивость, климатическую стойкость и электромагнитную совместимость, причём предъявляются достаточно жёсткие требования. В данном случае дело осложняется ещё и необходимостью обеспечения взрывозащиты оборудования, расположенного непосредственно около топливной системы. На речных судах достаточно редко применяется газовое оборудование, поэтому и элементов систем управления, удовлетворяющих требованиям как взрывозащиты, так и стойкости к внешним воздействиям по требованиям Речного Регистра, практически нет. Перед интегратором системы встаёт дополнительная задача: найти достаточно «экзотические» элементы, согласовать с их производителями возможную модернизацию и организовать дополнительные лабораторные испытания для сертификации модифицированных элементов.

Таким образом, при разработке системы управления криогенной бортовой газотопливной системой (СУ КБГС) были сформулированы следующие задачи и приоритеты.

1. Анализ технических требований и требований правил Российского Речного Регистра, точное описание всех

режимов работы автоматизированного объекта. Объект не имеет прямых аналогов, а значит, эта работа выполнена с нуля.

2. Описание взаимодействия разрабатываемой системы с другими бортовыми системами судна, согласование списков сигналов, каналов передачи данных с поставщиками взаимодействующих систем. Надо отметить, что для судостроительной отрасли это достаточно сложно: обычно оборудование или имеет давно сложившийся интерфейс взаимодействия, как, например, компоненты навигационных систем, или является локальным, а взаимодействие с другими частями сводится к подаче питания. В данном же случае сама структура объекта заставила проектировать взаимодействующие части.
3. Разработка конструкции шкафа управления, удовлетворяющего противоположным требованиям: модульность, возможность быстрого внесения изменений в силу экспериментального характера судна, и в то же время соответствие требованиям правил РПП в части надёжности, виброустойчивости, температурного диапазона и ЭМС, так как судно предназначено не для закрытых полигонов, а для реальных рейсов с пассажирами на борту.

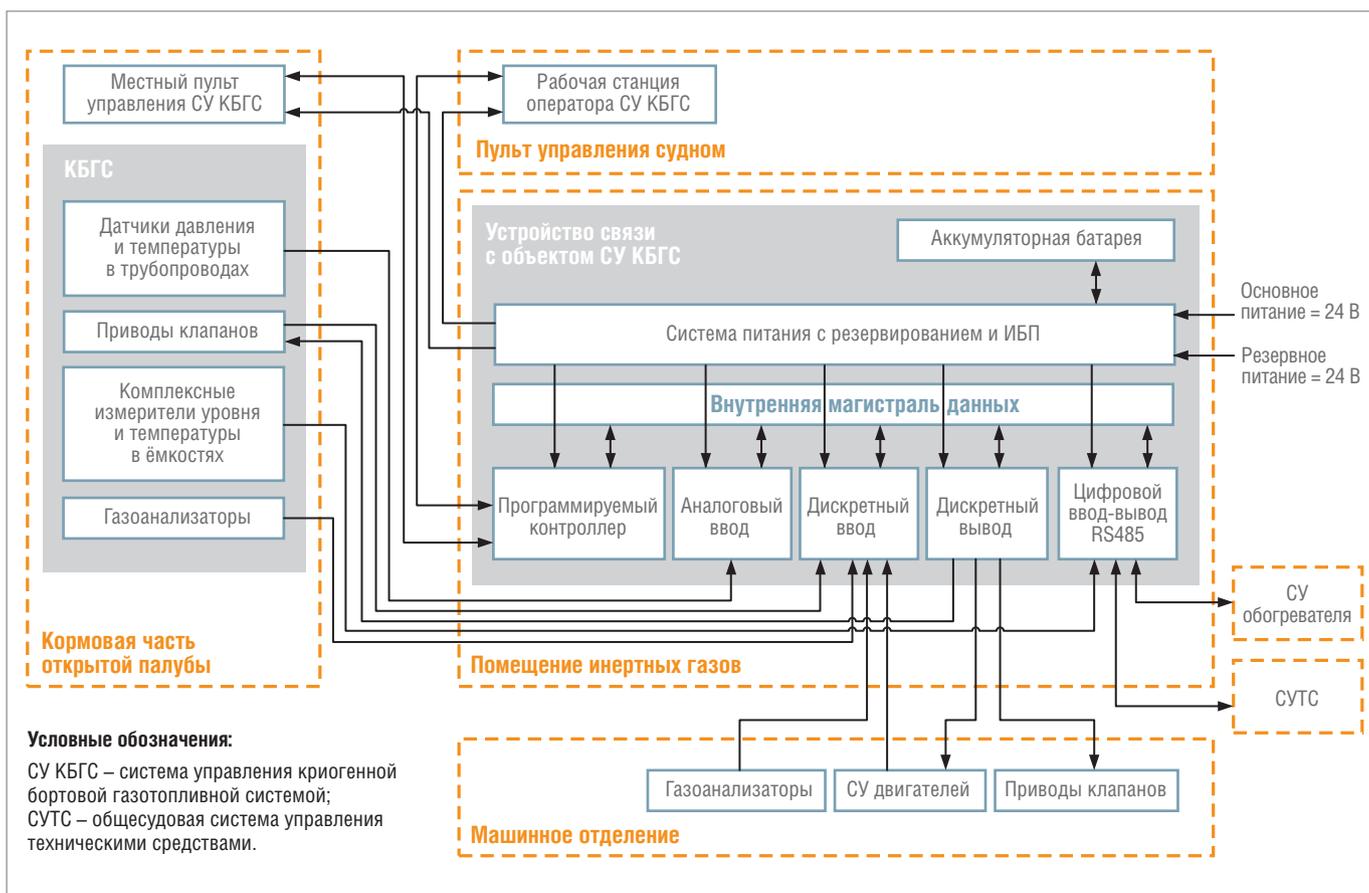


Рис. 2. Структурная схема автоматизации КБГС



Рис. 3. Пост управления бункеровкой – резервный пост управления КБГС

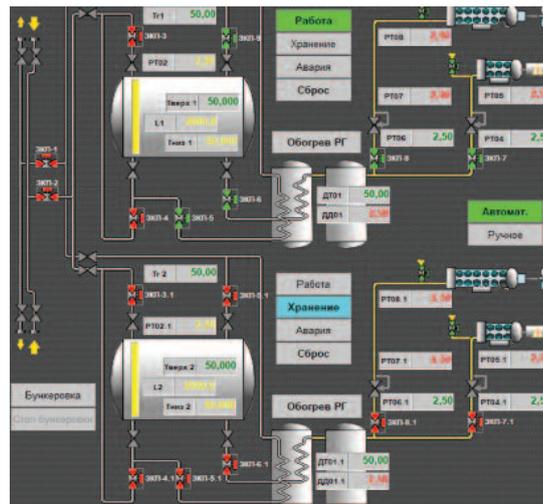


Рис. 4. Основной экран СУ КБГС

4. Разработка программного обеспечения, реализующего необходимые защиты, технологические переходы, взаимодействие с другими системами судовой автоматизации, эргономичное отображение информации в ходовой рубке судна и на открытой палубе, рядом с ёмкостями.
5. Сочетание автоматизации и возможности ручного управления с необходимыми блокировками в нештатных ситуациях.

### ОТ ПРОЕКТА К ВНЕДРЕНИЮ: РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Исходя из особенностей размещения на судне была выбрана централизованная архитектура (рис. 2).

Шкаф управления располагается во взрывобезопасном помещении инертных газов. Заметим, что в ходе ПНР проектное решение было изменено, шкаф пришлось переносить в соседнее помещение, и централизованное решение себя оправдало: такой перенос был выполнен достаточно быстро и свёлся к установке одного шкафа на новую опору с протяжкой нескольких кабелей.

Централизованная архитектура предъявляет высокие требования к надёжности электропитания. В данном случае применено безударное резервирование двух сетей питания постоянного тока 24 В, а в самом шкафу управления установлен дополнительный аккумуляторный ИБП, обеспечивающий функционирование системы в течение приблизительно 15 минут при полном отключении судового питания. Этого времени достаточно для безаварийного завершения работы КБГС и перехода в безопасное состояние или для ожидания устрани-

ения неисправности питания и продолжения работы.

Шкаф управления реализован на аппаратных средствах WAGO-I/O-System. Оборудование, расположенное в газопасных помещениях, подключено к центральному шкафу управления через барьеры искробезопасности, разработанные и производимые фирмой «Ленпромавтоматика» самостоятельно.

Система управления имеет два поста отображения (рабочие станции оператора). В рулевой рубке расположен основной пост управления, а на открытой палубе около криогенных ёмкостей – пост управления бункеровкой (рис. 3). Эти два поста отличаются аппаратно, так как пост управления бункеровкой имеет взрывонепроницаемый корпус с обогревом, а программное обеспечение их идентично, что позволяет говорить о полном резервировании функций взаимодействия с оператором.

Поскольку объект является экспериментальным, такое решение кроме повышения надёжности обеспечило ускорение ПНР и отработки режимов работы криогенного и газового оборудования. Каждый пост управления представляет собой панельный компьютер со SCADA-системой «КСПАвизор», разработанной фирмой «Ленпромавтоматика» и применённой на десятках объектов, в том числе в бортовых системах автоматизации высокоскоростных судов (основной экран мнемосхемы, реализованный в этой системе для СУ КБГС, показан на рис. 4).

В СУ КБГС обеспечено взаимодействие с внешними системами:

- 1) локальные САУ двигателей – физические дискретные линии связи;
- 2) локальная САУ котлоагрегата для предварительного прогрева регази-

фикаторов – линия RS-485, протокол Modbus RTU;

- 3) общесудовая система управления техническими средствами (СУТС) – линия RS-485, протокол Modbus RTU.

### НАЧАЛО ПОЛОЖЕНО. КАКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ?

Разработка и наладка СУ КБГС потребовала объединения знаний и опыта автоматизации промышленных объектов и работы с судовыми системами автоматизации. Благодаря наличию компетенций фирмы и в той и в другой области удалось получить результат в рекордно короткий срок: от первого черновика ТЗ до ходовых испытаний судна прошло 8 месяцев, за которые была изготовлена, установлена и опробована система автоматизации уникального объекта.

Интересным организационным опытом была и распределённая удалённая работа различных фирм и специалистов над проектом, обусловленная карантинными мерами по COVID-19. Как ни странно, карантинные меры подтолкнули всех участников проекта к расширению использования современных средств связи, телеконференций и т.д., мобилизовали совместную работу и в результате повысили эффективность работы над проектом.

В конце сезона навигации 2020 года судно прошло цикл испытаний, в ходе которых полностью подтвердилась работоспособность всех систем, были сформулированы идеи различных доработок. Весной 2021 года планируются дополнительные испытания и начало опытной эксплуатации. На основе полученного опыта предполагается разработка проекта серийного газотопливного СПГ-судна для эксплуатации на внутренних водных путях России. ●

# Вершина технологии PRT

Pulse Ranging Technology (PRT) — измерение расстояния методом определения времени прохождения импульсного сигнала



OMD10M-R2000



## Двухмерный лазерный датчик с углом обзора 360°

**Точность:** скорость перемещения объекта измерения может достигать 15 м/с

**Помехоустойчивость:** гарантированно функционируют в условиях тумана или повышенного содержания пыли. Лазерные лучи PRT-датчиков могут пересекаться без искажения показаний

**Разнообразие целей:** датчики могут применяться для темных (светопоглощение до 90%) и светлых (светопоглощение до 6%) объектов одинаково эффективно

**Дальность:** диапазон измерения PRT-датчиков не зависит от габаритных размеров оптики

