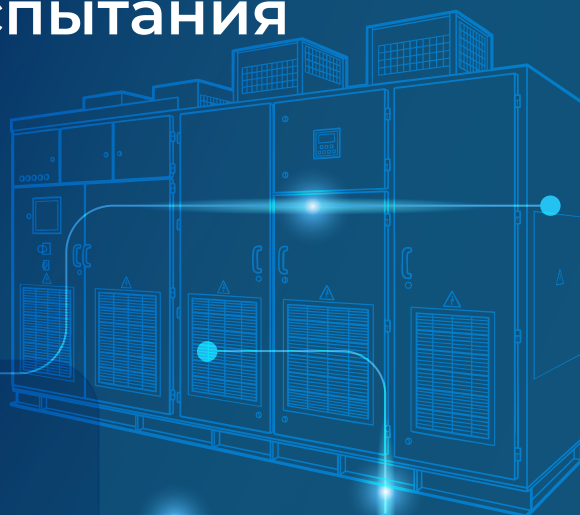


КПМ РИТМ в НГТУ НЭТИ

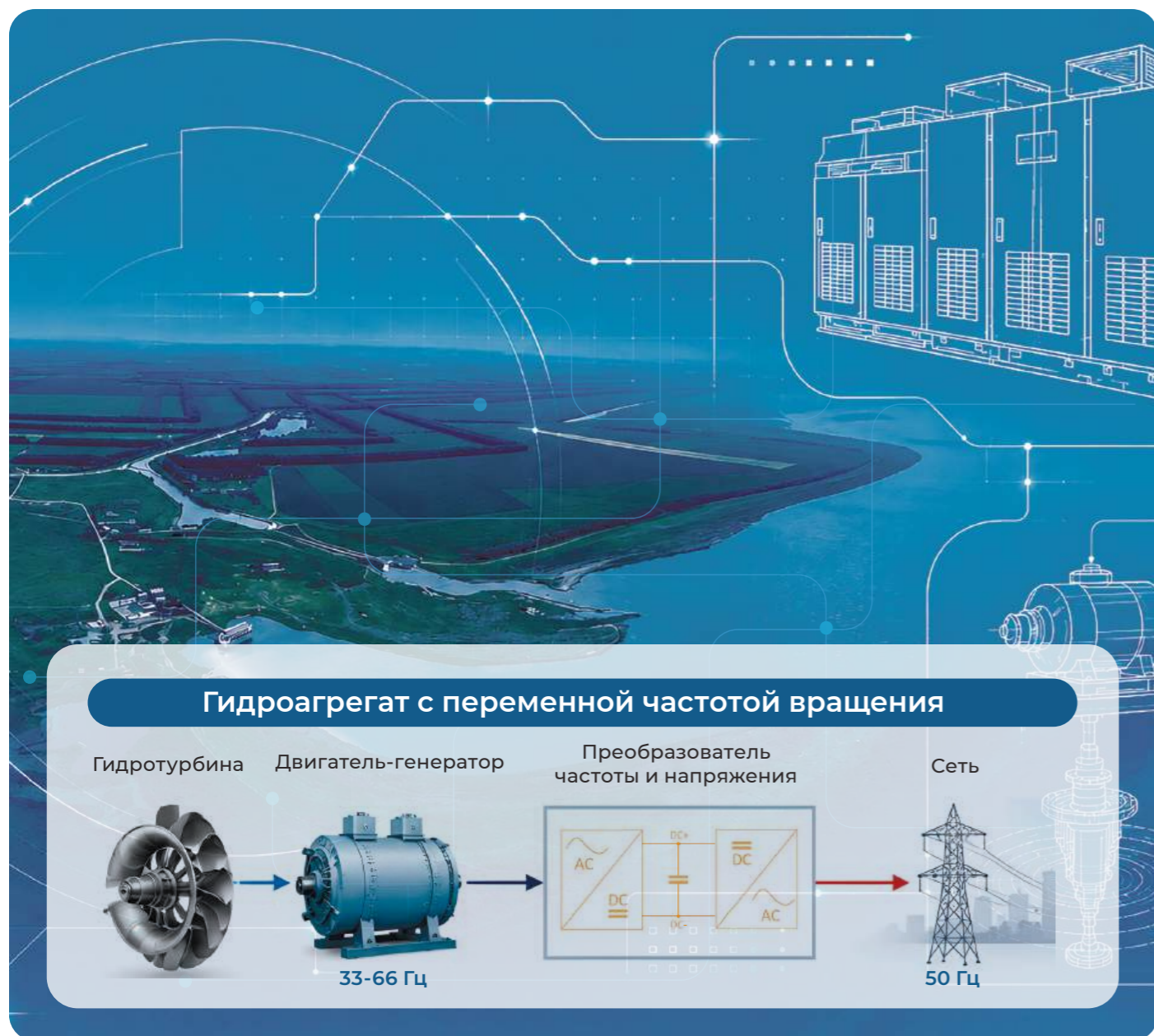
Киберфизические испытания
системы управления
Кубанской ГАЭС





Цель проекта

В рамках НИОКР, выполняемой НГТУ НЭТИ по заказу ПАО «РусГидро» (ООО «РГЦР») совместно с НПП «ЭКРА» и «СМС-Автоматизация», проводились исследования, направленные на совершенствование алгоритмов систем автоматического регулирования гидротурбин и систем автоматического управления агрегатов Кубанской ГАЭС с двигатель-генераторами переменной частоты вращения, в том числе при работе различного числа агрегатов на общий водовод.



Участники проекта и зоны ответственности



ПАО «РусГидро» (ООО «РГЦР»)

ООО «РусГидро Цифровые Решения» — специализированная ИТ-компания Группы РусГидро, занимающаяся разработкой прикладного программного обеспечения уровня АСУ ТП, а также реализацией проектов по созданию, внедрению и модернизации автоматизированных систем управления технологическими процессами генерирующих объектов.

В рамках проекта компания выступала заказчиком НИОКР и обеспечивала координацию работ по исследованию и испытаниям систем управления Кубанской ГАЭС с агрегатами переменной частоты вращения.



ООО «СМС-Автоматизация» (г. Самара)

Российская инженерная компания, специализирующаяся на разработке систем автоматизации и управления технологическими процессами для объектов энергетики и промышленности.

В зоне ответственности компании в составе киберфизического испытательного комплекса находилась система автоматического управления гидроагрегатом (САУ ГА), обеспечивающая регулирование режимов работы гидротурбины и взаимодействие с системами управления преобразователем частоты и возбуждением генератора.



НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары)

Ведущее российское научно-производственное предприятие в области релейной защиты и автоматики, противоаварийного управления, цифровых подстанций и силовой преобразовательной техники для объектов электроэнергетики.

В рамках проекта НПП «ЭКРА» предоставило испытательный полигон для проведения киберфизических испытаний, в составе которого находились главные объекты исследования: преобразователь частоты и напряжения (ПЧН) и система автоматического управления ПЧН (САУ ПЧН).



НГТУ НЭТИ (г. Новосибирск)

Один из крупнейших технических университетов России и ведущий инженерный ВУЗ Сибири в области электроэнергетики.

В рамках проекта НГТУ НЭТИ обеспечил разработку цифровой математической модели Кубанской ГАЭС на базе КПМ РИТМ, включая моделирование гидравлических, электромеханических и переходных процессов, а также интеграцию цифровой модели с физическим испытательным полигоном.





Актуальность проекта

Повышение КПД гидротурбин

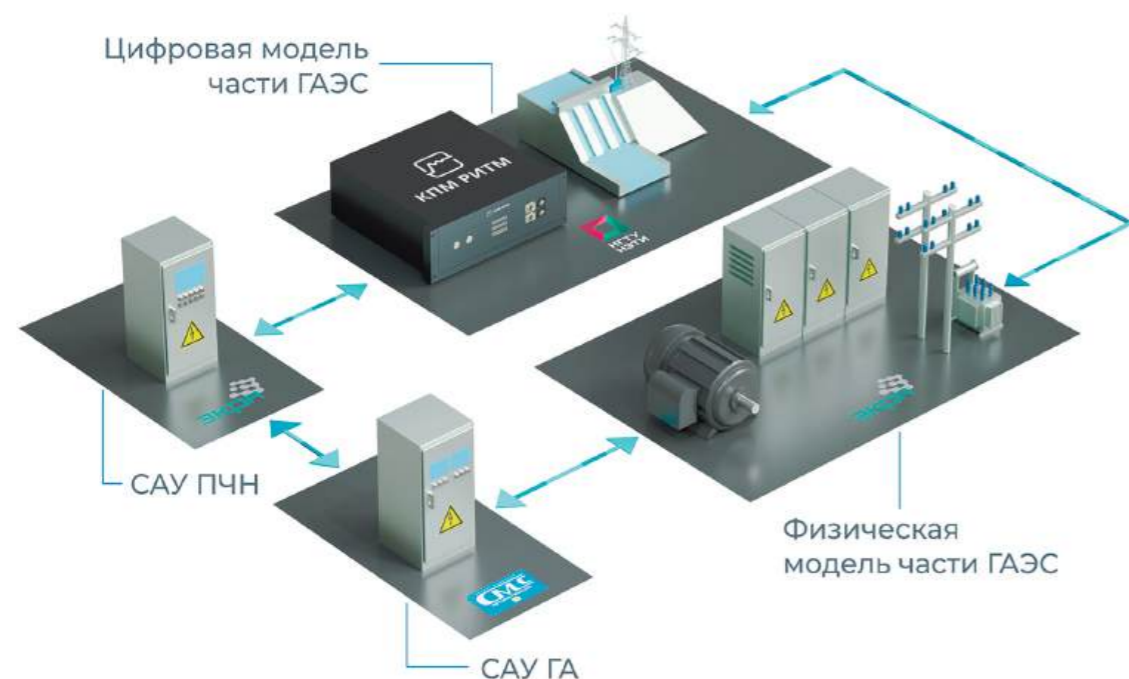
Актуальность НИОКР обусловлена необходимостью повышения эффективности и гибкости работы гидроагрегатов ГАЭС в широком диапазоне напоров и нагрузок. В традиционных схемах гидроагрегаты работают с фиксированной частотой вращения, что приводит к снижению КПД гидротурбин при отклонении режима работы от номинального.

Применение преобразователя частоты и напряжения на ГАЭС

Применение ПЧН позволяет разделить частоты генератора и энергосистемы через звено постоянного тока.

В рассматриваемой схеме гидрогенератор работает с переменной частотой 33–66 Гц, тогда как выдача мощности в энергосистему осуществляется на промышленной частоте 50 Гц. Это обеспечивает работу гидротурбины в расширенном диапазоне скоростей вращения, повышение КПД агрегатов и более гибкое регулирование режимов станции.

При этом внедрение ПЧН существенно усложняет процессы управления и требует согласованной работы САУ ГА, САУ ПЧН и АРВ, особенно при работе нескольких агрегатов на общий водовод. Исследование подобных режимов непосредственно на реальном объекте связано с высокими техническими рисками и ограниченными возможностями воспроизведения аварийных и переходных процессов.



Концептуальная схема киберфизических испытаний САУ Кубанской ГАЭС

В этих условиях только комплексные киберфизические испытания с применением КПМ РИТМ позволили до этапа натурных испытаний исследовать взаимодействие всех систем автоматического управления, проверить качество и устойчивость регулирования и выполнить настройку САУ в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации станции.



Задачи проекта

Основными задачами НИОКР являлись:

01

Разработка цифровой модели процесса работы САУ агрегатов ГАЭС с двигателем-генераторами переменной частоты вращения.

02

Проведение предварительных полунатурных испытаний САУ ГА с использованием разработанной цифровой модели на КПМ РИТМ в г. Чапаевск.

03

Проведение комплексных киберфизических испытаний САУ ГА и САУ ПЧН на физической модели с использованием разработанной цифровой математической модели на КПМ РИТМ в г. Чебоксары.



Объект исследования

□ ■ ■ □ ■

Объектом исследования данного НИОКР является пилотная для России ГАЭС с блоками третьего типа — Кубанская ГАЭС, работающая на Большом Ставропольском канале.



Кубанская ГАЭС состоит из шести одинаковых гидроагрегатных блоков. Гидравлическая схема станции включает два напорных водовода, каждый из которых разделяется на три трубопровода, подводящих воду к соответствующим гидроагрегатам.

Таким образом, три агрегата работают на общий водовод, что приводит к наличию взаимной связи в гидравлических процессах и создает дополнительные требования к алгоритмам автоматического регулирования.



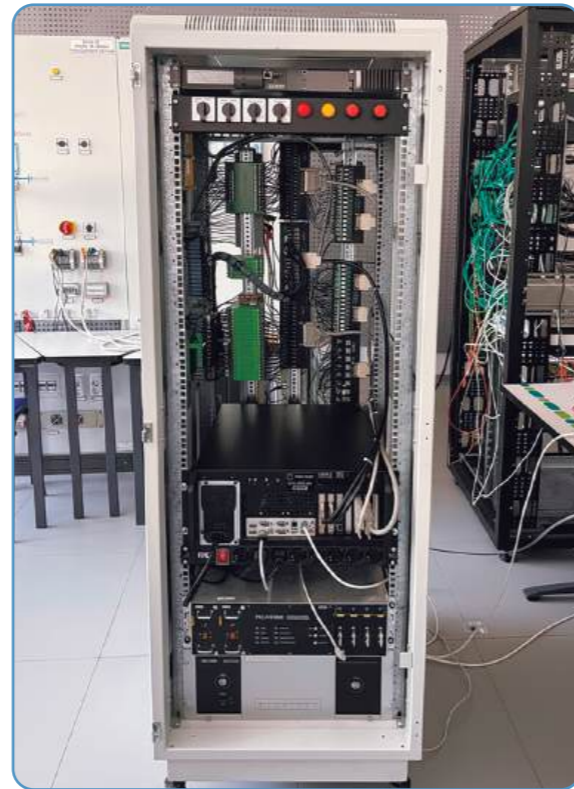
Поскольку оба общих напорных водовода станции, включая соединения, разветвления и гидравлические узлы, являются идентичными по конструкции и параметрам, в рамках НИОКР детальному анализу подвергалась группа гидроагрегатов на одном водоводе как репрезентативная часть гидравлической системы станции.



Роль КПМ РИТМ в проекте

Причины проведения киберфизических испытаний:

- применение ПЧН на ГАЭС — новая и технически сложная задача
- изучение влияния на электромеханические и гидравлические процессы
- необходим учет особенностей совместной работы нескольких САУ
- традиционные методы испытаний не покрывают все режимы
- натурные испытания — риск повредить дорогостоящее оборудование

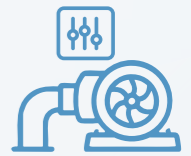


КПМ РИТМ в НГТУ НЭТИ

КПМ РИТМ в составе испытательного полигона:

01

Подключен к физической модели гидроагрегата, имитируя работу водовода, других гидроагрегатов и систем управления ГАЭС



02

Воспроизводит переходные и аварийные режимы на ГАЭС, моделирует электромеханические и гидравлические процессы

03

Обеспечивает совместные испытания САУ ПЧН и САУ ГА, выявляя риски и штатные режимы без риска для оборудования

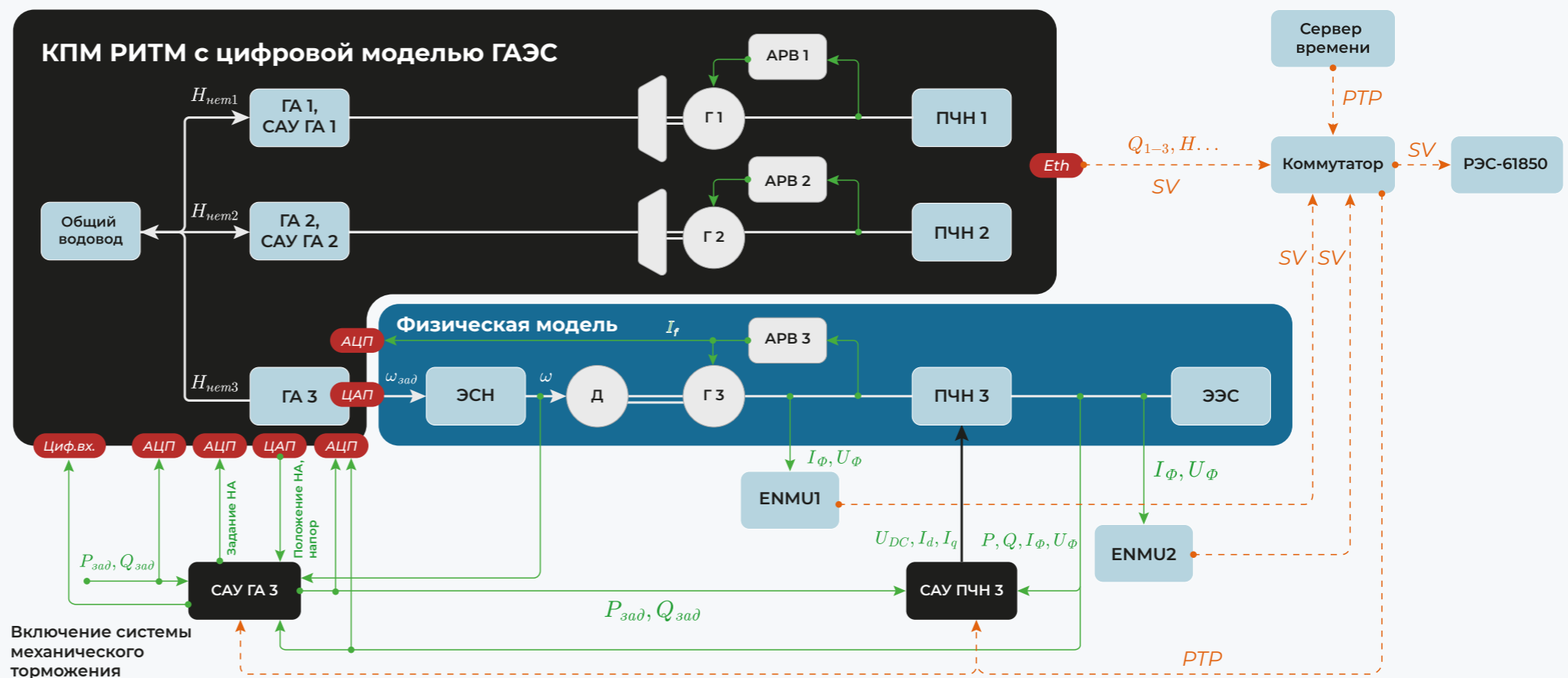


Описание киберфизических испытаний

На рисунке представлена структура киберфизического испытательного полигона, реализованного для проведения испытаний систем автоматического управления гидроагрегатов и преобразователей частоты Кубанской ГАЭС с использованием КПМ РИТМ.

Схема объединяет **цифровую модель** двух блоков ГАЭС, общего водовода, регулируемой САУ гидравлической турбины, выполняемую на КПМ РИТМ, и **физическую модель** одного блока двигатель-генератор — ПЧН, размещенную на испытательном полигоне НПП ЭКРА в г. Чебоксары.

Структурная схема подключения оборудования для проведения киберфизических испытаний



Цифровая модель

Цифровая модель, реализованная на КПМ РИТМ, функционирует в режиме жесткого реального времени и обеспечивает непрерывный обмен сигналами с физической частью испытательного полигона.

На базе КПМ РИТМ была разработана математическая модель первого и второго гидроагрегатов Кубанской ГАЭС, включающая:

- гидравлическую систему водоводов
- гидротурбины (ГА 1 и ГА 2)
- САУ гидроагрегатов (САУ ГА 1 и САУ ГА 2)
- генераторы (Г 1 и Г 2)
- автоматические регуляторы возбуждения (АРВ 1 и АРВ 2)
- преобразователи частоты и напряжения (ПЧН 1 и ПЧН 2)



Фото с проведения испытаний на полигоне НПП "ЭКРА" в г. Чебоксары

На вход цифровой модели поступают: измерения активной и реактивной мощности с выхода ПЧН 3; управляющее воздействие от САУ ГА 3 — задание направляющего аппарата (НА); уставки по активной и реактивной мощности; ток возбуждения от АРВ 3.

В качестве выходных сигналов цифровая модель на КПМ РИТМ формирует: скорость вращения для преобразователя частоты (ЭСН), положение НА и значение динамического напора нетто для САУ ГА 3.

❗ Модель общего водовода является важнейшим элементом полной модели ГАЭС, поскольку отражает гидравлическую связь между агрегатами. Благодаря ей учитывается взаимное влияние гидроагрегатов при изменении нагрузки, расхода воды и переходных режимах.

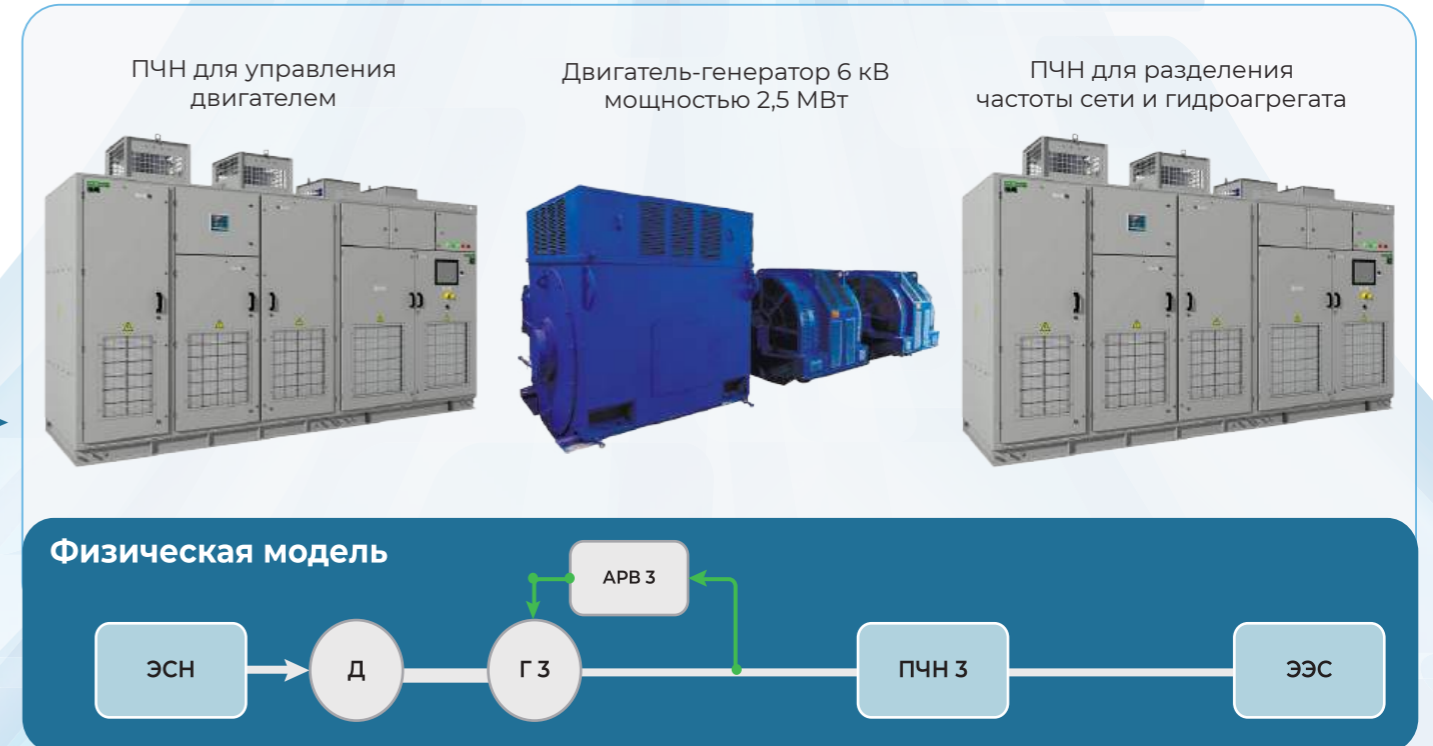
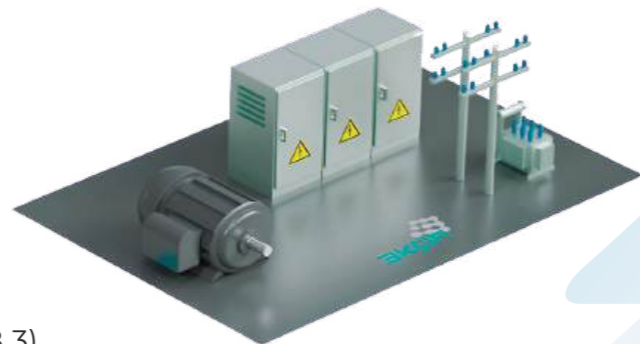
❗ КПМ РИТМ рассчитывает динамику гидротурбины и формирует сигнал задания скорости вращения $\omega_{\text{эд}}$ для электропривода. Электропривод воспроизводит динамику (механическое поведение, инерцию) гидротурбины и приводит во вращение физическую спарку, состоящую из асинхронного двигателя и синхронного генератора.

Физическая модель

Нижняя часть схемы представляет физическую модель третьего гидроагрегата, подключенного к цифровой модели станции.

Физическая часть включает:

- электропривод-преобразователь частоты и напряжения (ЭСН)
- асинхронный двигатель (Д)
- синхронный генератор (Г 3)
- автоматический регулятор возбуждения (АРВ 3)
- преобразователь частоты и напряжения (ПЧН 3)
- распределительное устройство связи с ЕЭС (ЭЭС)



Работа систем управления

В испытательном комплексе одновременно функционируют:

- САУ ГА (ООО «СМС-Автоматизация»)
- САУ ПЧН (НПП «ЭКРА»)
- АРВ (на физической модели двигатель-генератора)
- модели систем управления (АРВ и САУ ГА) двух гидроагрегатов на КПМ РИТМ



В САУ ГА задаются уставки активной и реактивной мощности, параметры режима работы, а также САУ получает сигналы напора нетто и положения НА от цифровой модели. На основе этих данных система формирует управляющее воздействие на гидроагрегат.



САУ ПЧН управляет преобразователем частоты по параметрам: активной и реактивной мощности, токам и напряжениям, параметрам DC-звена.



Измерительная система и обмен данными



Для регистрации параметров и анализа переходных процессов в составе комплекса используются измерительные устройства ENMU1 и ENMU2.

Измерения выполняются на стороне генератора и на стороне преобразователя частоты ПЧН 3.



Передача данных из цифровой модели и измерителей осуществляется по протоколу МЭК61850-9-2LE с использованием потоков Sampled Values (SV).

Все элементы испытательного полигона синхронизированы от единого сервера времени по протоколу IEEE 1588 PTPv2.



Потоки измерений и данных модели Sampled Values (SV) передаются через коммутатор в регистратор РЭС-61850, где выполняется запись в единый COMTRADE-файл в едином времени для последующего анализа результатов испытаний.



Результаты

01

Подтверждена работоспособность и совместимость систем автоматики ГАЭС: САУ ГА и САУ ПЧН



02

Уточнены настройки САУ ГА и САУ ПЧН с использованием модельных характеристик из отчетов Kolektor Turboinštitut

03

Основные элементы станции были смоделированы с использованием КПМ РИТМ, который был сопряжен с САУ ГА, САУ ПЧН, ЭСН, генератором и двигателем



НІL
+
PHIL

04

Впервые был применен гибридный подход к прототипированию САУ, сочетающий подходы НІL и PHIL оборудования высокого напряжения

КПМ РИТМ в энергетике





КОНТАКТЫ

 info@exponenta.ru

 +7 (495) 009 65 85

 new.exponenta.ru/energy

