

УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
ООО Научно-внедренческой фирмы
«Сенсоры, Модули, Системы»
Прокопович Александр Анатольевич



ВЫПИСКА

из протокола № 3 расширенного заседания научно-технического совета
ООО Научно-внедренческой фирмы «Сенсоры, Модули, Системы» (ООО НВФ «СМС»)

от 05 апреля 2021 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

от ООО НВФ «СМС»:

канд. техн. наук Сидоров А.А.

канд. техн. наук Киреев В.А.

Прокопович А.А.
Сидоров Д.А.

Сидоров А.А.
канд. техн. наук Шерешевский Л.А.
Комар Ю.С.

канд. техн. наук Кашапов И.Д.
Трешников А.А.

Маслов В.А.
канд. техн. наук Колосовский А.П.
канд. техн. наук Захарченко В.Е.

канд. техн. наук Лежнев М.В.
канд. техн. наук Воробьева Н.В.
Папиrowsкая А.В.

Приглашённые сотрудники ООО «СМС-ИТ»:

канд. техн. наук Шопин А.Г.

Председатель совета директоров ГК «СМС-Автоматизация», председатель научно-технического совета

Заместитель генерального директора /
Директор по производству

Генеральный директор
Заместитель генерального директора /

Финансовый директор
Технический директор

Директор по ИТ

Главный инженер

Директор по управлению проектами

Исполнительный директор

Директор по качеству

Главный метролог

Заместитель технического директора по ПО
и НИОКР

Начальник отдела ПРСУ

Заместитель начальника отдела

Секретарь НТС, инженер СКК

Директор ООО СМС-ИТ

Приглашённые сотрудники Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИПУСС РАН - СамНЦ РАН)»:

Д-р техн. наук, профессор Заместитель директора по научной работе
Смирнов С.В. (дистанционно)

Приглашённые сотрудники ФБГОУ ВО «Самарский государственный технический университет» кафедра «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов»:

Д-р техн. наук, профессор
Лившиц М.Ю. (дистанционно) заведующий кафедрой

Приглашённые сотрудники ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) кафедра «Программных систем»:

Д-р техн. наук, профессор и.о. заведующего кафедрой
Заболотнов М.Ю.

канд. техн. наук, доцент доцент кафедры
Зеленко Л.С. (дистанционно)

канд. техн. наук, доцент доцент кафедры
Баландин А.В. (дистанционно)

Приглашённые сотрудники ФБГОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет» кафедра «Электромеханика»:

Д-р техн. наук, профессор заведующий кафедрой, член диссертационного совета Д 212.064.02 при ИГЭУ
Казаков Ю.Б. (дистанционно)

Председательствует на заседании канд. техн. наук Сидоров А.А.

СЛУШАЛИ: доклад Захарченко Виталия Евгеньевича по диссертационной работе, подготовленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук, на тему «РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ И СОСТАВОМ ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ АГРЕГАТОВ ГЭС», выполненной в ООО Научно-внедренческой фирме «Сенсоры, Модули, Системы».

Вопросы задавали: канд. техн. наук Сидоров А.А.; канд. техн. наук Баландин А.В.; канд. техн. наук Шерешевский Л.А.; д-р техн. наук Заболотнов Ю.М.; д-р техн. наук Лившиц М.Ю., д-р техн. наук Смирнов С.В., Сидоров А.А., канд. техн. наук Шопин А.Г.

На все вопросы соискателем были даны убедительные ответы.

Рецензент: д-р техн. наук Казаков Ю.Б. на основе представленных диссертации и автореферата соискателя отметил актуальность работы для энергетической отрасли России, теоретическую ценность и практическую значимость работы. Высказал предложения по внесению ряда редакционных корректировок. Обратил внимание на недостаточно полно освещенную проблему учета ограничений на основе реактивной мощности.

В целом, по мнению рецензента, диссертационная работа удовлетворяет требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетики страны) и рекомендуется к защите по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Рецензент: канд. техн. наук Лежнев М.В. на основе представленных диссертации и автореферата соискателя указал на актуальность работы, возможность ее применения как на ГЭС, так и проецировать на другие области промышленности, подтвердил научную новизну и практическую значимость полученных результатов. Отметил высокий уровень публикаций по теме диссертации. Высказал пожелания в дальнейшем развить предложенные модели за счет применения математических аппаратов нейронных сетей и нечеткой логики. Рецензент указал, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени д-ра технических наук, и рекомендуется к защите по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

С поддержкой работы выступили:

1. Канд. техн. наук Сидоров А.А. отметил научную и практическую значимость диссертации. Дал рекомендации по внесению редакционных корректировок. Рекомендовал диссертацию к защите в диссертационном совете при ИГЭУ по специальности 05.13.06.

2. Д-р техн. наук Казаков Ю.Б. оценил диссертацию и квалификацию диссертанта положительно, отметил достаточность публикаций по теме диссертации, высокий уровень проведения экспериментальных исследований и обработки их результатов. Рекомендовал усилить актуальность темы на основе заключений экспертного совета по выявлению причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС. Рекомендовал представить диссертацию к защите в диссертационном совете Д 212.064.02 при ИГЭУ по специальности 05.13.06.

3. Д-р техн. наук Заболотнов Ю.М. отметил актуальность работы, советовал переформулировать решаемые задачи в соответствии с паспортом специальности 05.13.06, рекомендовал работу к защите по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

4. Д-р технических наук Смирнов С.В. положительно оценил соискателя, указал на сложности применения предлагаемого подхода создания функциональной модели агрегата, а также построения обобщенной модели для нескольких агрегатов ГЭС, каскада и т.д. Однако, замечание не умаляет заслуг автора и не может препятствовать к защите по специальности 05.13.06.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Считать, что представленная Захарченко Виталием Евгеньевичем диссертационная работа обобщает самостоятельные исследования автора и является завершённым

научным трудом, в котором изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения связанные с усовершенствованием структуры и функциональности систем АСУТП ГЭС, обеспечивающие повышение эффективности работы гидроагрегатов и ГЭС в целом, вносящие существенный вклад в развитие энергетики страны, и отвечает требованиям пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. в редакции от 20.03.2021 г. №426, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

2. Рекомендовать диссертационную работу Захарченко Виталия Евгеньевича «РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ И СОСТАВОМ ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ АГРЕГАТОВ ГЭС» к защите в диссертационном совете Д 212.064.02 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

3. Утвердить заключение ООО НВФ «Сенсоры, Модули, Системы» по диссертационной работе Захарченко Виталия Евгеньевича.

ГОЛОСОВАЛИ: за – единогласно.

Председатель заседания,
Председатель совета директоров,
канд. техн. наук



Сидоров Андрей Анатольевич

Секретарь заседания

Папиrowsкая Александра Вячеславовна

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор
 ООО Научно-внедренческой фирмы
 «Сенсоры, Модули, Системы»
 Прокопович Александр Анатольевич

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

ООО Научно-внедренческой фирмы «Сенсоры, Модули, Системы»
 (ООО НВФ «СМС»)

Диссертация «РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ И СОСТАВОМ ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ АГРЕГАТОВ ГЭС» выполнена в ООО НВФ «Сенсоры, Модули, Системы».

Соискатель Захарченко Виталий Евгеньевич, 1982 года рождения, в 2005 году с отличием окончил ГОУ ВПО «Самарский Государственный Аэрокосмический Университет имени С.П. Королева» по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Соискатель в 2008 году окончил аспирантуру ГОУ ВПО «Самарский государственный областной университет (Наяновой)» по очной форме обучения по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Захарченко В.Е. в 2011 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП ГИДРОАГРЕГАТА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ НЕЧЁТКИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ» по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)» в диссертационном совете Д212.217.03 при ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет».

Соискатель с 2004 года по настоящее время работает в ООО НВФ «СМС» в области разработки и внедрения программно-технических комплексов автоматизированных систем управления, специализируясь на технологических процессах гидроэнергетики, но не ограничиваясь ими. В настоящее время занимает должность заместителя технического директора по программному обеспечению и научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе.

По результатам рассмотрения диссертации «РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ И СОСТАВОМ ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ АГРЕГАТОВ ГЭС» принято следующее заключение.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

В России функционирует более 180 гидроэлектростанций (ГЭС), в том числе: 15 ГЭС мощностью свыше 1000 МВт, 102 ГЭС мощностью свыше 10 МВт, две ГАЭС и др. В 2019 г. суммарно на ГЭС произведено 190,3 млрд. кВт*ч электроэнергии, что составляет 17,6 % всей выработанной электроэнергии в России. В составе отдельной ГЭС может функционировать до 25 гидроагрегатов (ГА). Эффективность работы ГЭС определяется эффективностью работы агрегатов. Крупнейшим энергетическим холдингом России является ПАО «РусГидро», в состав которого входит более 60 ГЭС, производящих 82% электроэнергии всех ГЭС России. Задача повышения степени автоматизации управления и оптимизации режима работы состава агрегатов ГЭС сформулирована в стратегических целях развития ПАО «РусГидро» в 2020 году: необходима «...реализация средств автоматического управления, обеспечивающих учёт ограничений режима работы, оптимизацию режима работы оборудования и его состава, интегрированных с системами диспетчерского и технологического управления». Такие системы обозначаются термином РУСА – рациональное управление составом агрегатов. Очевиден масштаб проблемы повышения эффективности и автоматизации управления агрегатами ГЭС. Значимость работы подтверждается проведением конкурсов на технико-экономическое обоснование систем РУСА (2015, 2016 гг.).

Система управления составом агрегатов ГЭС призвана, не нарушая течения технологического процесса и обеспечивая требуемую выработку электроэнергии заданного качества с учетом планового задания Системного оператора (СО), проанализировать состояние оборудования работающего состава ГА и ГА резерва и определить, какие из них могут наиболее эффективно выполнить задачу. Эффективность ГА непосредственно связана с функцией распределения активной мощности, которая влияет на скорость отработки задания ГЭС, учета возможности перехода ГА через зоны ограниченной работы, сложностью алгоритмов и масштабностью задачи, возможностью работы ГА с различающимися эксплуатационными характеристиками.

Для эффективной работы ГЭС характерно множество возможных сочетаний состава агрегатов, неполнота их описаний, частичная неопределенность в периодичности включений/отключений агрегатов, режимный динамизм, влияние внешней среды, нелинейности характеристик агрегатов. Задача обоснованного выбора состава работающих агрегатов достаточно сложна. Комбинаторика позволяет оценить количество вариантов состава с работающими ГА. Например, для выбора 10 агрегатов из 24 необходимо проанализировать почти 2 млн. вариантов. При выборе должны быть учтены критерии надёжности, состояния агрегатов, экономической целесообразности, эффективности составов оборудования, ограничения по отклонениям от заданной мощности, обеспечению резервов регулирования на загрузку и разгрузку активной мощности, равномерного распределения износа ресурсов и т.д. Ограничения должны выполняться как в установившемся режиме работы оборудования, так и во время переходных процессов.

Актуальность оптимального оперативного управления активной мощностью и составом агрегатов ГЭС обусловлена усложнением систем управления, возрастанием возлагающихся на них функций, необходимостью централизации функций управления в единую систему, обеспечивающую повышение качества и эффективности как отдельных элементов, так и системы в целом. Оптимизация оперативного управления активной мощностью и составом агрегатов повышает качество управления ГЭС, каскада из нескольких ГЭС, создает основу улучшения управления энергосистемой страны.

Эффективное управление такими сложными объектами может быть обеспечено путем применения уточненного моделирования, улучшенных алгоритмов управления, усовершенствованных систем автоматизированного управления. Задача оптимального управления связана с созданием математического, информационного, алгоритмического обеспечения систем управления технологическими процессами ГЭС, оказывающими значительное влияние на оптимальность выработки электроэнергии, сопровождение и эксплуатацию как основного оборудования, так и вспомогательных систем. Решение должно включать структурные улучшения АСУТП ГЭС, научно-технические исследования, математические и имитационные модели гидроагрегатов и их систем управления, способных в режиме реального времени осуществлять интеллектуальную поддержку принятия решений по управлению технологическими процессами ГЭС с учетом сохранения устойчивости и качества управления в условиях вариации параметров объекта.

Обобщая вышесказанное, можно заключить, что разработка эффективных автоматизированных систем управления агрегатами ГЭС, включающих оптимальное оперативное управление составом агрегатов и распределение активной мощности между агрегатами в перспективе планового задания на ГЭС, представляет актуальную научно-практическую проблему, имеющую важное значение для гидроэнергетики в целом.

ЛИЧНОЕ УЧАСТИЕ СОИСКАТЕЛЯ В ПОЛУЧЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ, ИЗЛОЖЕННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Личный вклад на всех этапах исследования являлся определяющим и состоял в постановке цели и задач исследований, разработке методологии исследований, разработке математических и имитационных моделей, непосредственном выполнении всех исследований, обработке, апробации и опубликованию результатов.

СТЕПЕНЬ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации обоснованы теоретическими выкладками и экспериментальными данными, полученными в работе, и не противоречат известным положениям технических наук. Достоверность обеспечена строгим выполнением математических преобразований, принятием обоснованных и признанных допущений, использованием современных математических моделей и систем программного обеспечения. Достоверность и адекватность результатов и выводов подтверждается согласованностью с опубликованными результатами других авторов, удовлетворительным совпадением результатов аналитических решений с результатами математического моделирования и результатами апробации на реальных данных нескольких ГЭС, внедрением автоматизированной системы РУСА на ГЭС.

НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Положения, выносимые на защиту, и научная новизна:

1. Методология определения эталонного состояния ГА на основе разработанной уточненной математической модели гидроагрегата, учитывающей основные статические характеристики и динамические параметры, зависящие от режима работы и течения техпроцесса, критериев эффективности и оценок состояния. Разработанные модели и методы идентификации производственных процессов

гидроагрегатов на основе оптимального кубического Эрмитова сплайна в отличие от традиционных подходов позволяют исследовать изменения технологической функции ГА за продолжительный период времени, восстанавливать функции ГА по малому числу наблюдений.

2. Теоретические положения определения эталонного состояния ГЭС на основе анализа разработанной модели системы группового регулирования активной мощности (ГРАМ) ГЭС, отличающейся усовершенствованной процедурой оптимизации функции распределения мощности системы, моделирования состояния ГЭС с учетом состояния агрегатов и использованием многокритериальной оптимизации.
3. Методология формализованного описания автоматизированной системы рационального управления составом агрегатов (РУСА) на основе уточненных моделей структуры, архитектуры состава и функций агрегатов, взаимосвязи компонентов системы. Формализованные методы создания моделей системы РУСА ГЭС в отличие от существующих методов учитывают эффект повышения КПД ГЭС, минимизируют на основе функционально-ориентированных моделей технологического процесса риски нештатных ситуаций ГА, легко автоматизируются и адаптируются для конкретной ГЭС.
4. Концепция интегрированного управления агрегатами ГЭС по критериям эффективности и оценки состояния агрегатов, включающая методики и алгоритмы структурной оптимизации состава агрегатов, формирование рекомендаций достижения эталонного состояния ГЭС с учетом функциональных ограничений, разработанную модель системы РУСА, оценку времени реакции РУСА, обобщение результатов апробации модели РУСА реальных ГЭС за продолжительный период времени, оценку длительности актуальности рекомендаций. Разработанные алгоритмы управления обеспечивают интеллектуализацию решений и, в целом, повышают эффективность ГЭС. Предложенные алгоритмы распределения мощности системы ГРАМ, в отличие от применяемых, позволяют унифицировать алгоритмы для ГА с отличающимися эксплуатационными характеристиками, в том числе и с несколькими зонами работы (с зонами ограниченной и запрещенной работы).

Практическая значимость работы

Практическая значимость развитых в диссертации моделей и методик, полученных результатов, выводов и рекомендаций для автоматизированного интегрированного управления агрегатами ГЭС по критериям эффективности и оценки состояния агрегатов заключается в формализации процессов проектирования, разработки и автоматизации нового класса систем управления, способных в реальном времени оптимизировать состав агрегатов ГЭС, планировать и выполнять пуск, останов, смену зоны работы агрегатов с учетом состояния агрегатов и их эффективности в перспективе задания по генерации от СО. Предложенный программный комплекс автоматизирует существенную часть функций оперативного персонала ГЭС, служит платформой для обучения оперативного персонала.

Предложенные методы описания основных характеристик ГА формализованы и способны без сложных технических и организационных процедур восстанавливать и уточнять характеристики ГА по малому числу наблюдений.

Разработанные функции автоматизированного распределения мощности системы ГРАМ не вызывают изменения состава оборудования, соответственно, не расходуют его ресурс, не требуют внедрения новой системы управления, как в случае применения

обычной системы РУСА, но позволяют добиваться повышения эффективности работы ГЭС. Сочетание подходов системы РУСА и оптимизации функции распределения мощности системы ГРАМ позволяют существенно повысить эффективность автоматизированного управления ГЭС.

Практическая значимость результатов исследований, выводов и рекомендаций подчеркивается значимым экономическим эффектом от создания автоматизированной системы РУСА, который ежегодно измеряется десятками миллионов рублей для каждой ГЭС и должен быть использован СО при составлении плановых диспетчерских графиков. Реализация автоматизированной системы РУСА позволяет сформулировать меру энергоэффективной работы ГЭС, повысить эффективность использования и равномерно распределять нагрузку (в том числе число включений и отключений) среди основного оборудования в заданный период времени, заблаговременно определять риски развития нештатных ситуаций на ГА, проводить обучение оперативного персонала на модели. Использование системы РУСА, разработанных моделей и методов на производственных объектах подтверждено актами.

Предложенные методы могут быть применены с адаптацией для оптимизации состава оборудования вспомогательного производства ГЭС, а также для оптимизации производственных процессов в других отраслях промышленности.

ЦЕННОСТЬ НАУЧНЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ

Ценность научных работ соискателя заключается в следующем.

Показано, что решение научно-практической проблемы развития теоретических основ и реализации автоматизированного управления ГЭС, включающей оптимальное оперативное управление составом агрегатов и распределением активной мощности между агрегатами в перспективе планового задания на ГЭС с учетом масштаба задач, сложности алгоритмов управления, возможности перехода ГА через зоны ограниченной работы, совместной работы агрегатов с различающимися эксплуатационными характеристиками, неполноты описаний агрегатов, частичной неопределенности в периодичности включений/отключений агрегатов, режимного динамизма, влияния внешней среды, нелинейностей характеристик, критериев надёжности и состояния агрегатов, экономической целесообразности, эффективности составов оборудования, ограничений по отклонениям от заданной мощности, обеспечения резервов регулирования на загрузку и разгрузку активной мощности, равномерного распределения износа ресурсов в установленных режимах и переходных процессах представляет актуальную задачу, имеющую важное значение для гидроэнергетики. Оптимизация оперативного управления активной мощностью и составом агрегатов ГЭС повышает качество управления ГЭС, каскада ГЭС, создает основу улучшения управления энергосистемой.

Обоснована методология определения эталонного состояния ГА, учитывающая показатель эффективности, основанный на потенциальных потерях выработки ГА от вынужденной работы на неоптимальном КПД по сравнению выработкой на максимальном КПД того же объема воды, и показатели, характеризующие состояние ГА на основе разработанной комплексной функционально-ориентированной модели гидроагрегата, учитывающей основные статические и динамические характеристики. Предложена методика построения модели ГА для оценивания его состояния. Модель основывается на сравнении значений параметров АСУТП ГА с имитированным модельным значением, объединяющим экспертные знания и предысторию функционирования объекта. Имитационная модель, работая в едином времени с системой управления, в каждый момент

времени формирует характерные диапазоны изменения параметров. На их основе модель оценивания достоверности формирует признак возможности использования наблюдаемого АСУТП значения в алгоритмах РУСА. Приведены алгоритмы и методики создания моделей, проведена их апробация.

Развиты теоретические положения и определено эталонное состояние ГЭС, основанное на многокритериальной оптимизации по критериям эффективности и оценки состояния агрегатов ГЭС. Сформулирован оригинальный критерий эффективности ГЭС, в основе которого использована сумма потенциальных потерь выработки агрегатов. Созданы модели систем группового регулирования активной мощности ГЭС, предложено изменение функций распределения мощности системы ГРАМ для повышения эффективности ГЭС. Проведена апробация системы ГРАМ с функцией долевого равенства отклонений от максимального КПД ГА.

Предложена методология формализованного описания автоматизированной системы РУСА на основе уточненных моделей структуры, архитектуры состава и функций агрегатов, взаимосвязи компонентов системы. Формализованные методы создания моделей системы РУСА ГЭС, в отличие от существующих методов, учитывают эффект повышения КПД ГЭС, минимизируют на основе функционально-ориентированных моделей технологического процесса риски нештатных ситуаций ГА, облегченно автоматизируются и адаптируются для конкретной ГЭС.

Разработана концепция интегрированного управления агрегатами ГЭС по критериям эффективности и оценки состояния агрегатов, включающая методики и алгоритмы оптимизации состава агрегатов, сотрудничающая согласовано с системой ГРАМ и способная в режиме реального времени выдавать рекомендации оператору (как совет) или автоматически в систему группового регулирования мощности (как сигналы управления). Рекомендации формируются на основании критериев эффективности ГЭС и оценок текущего состояния ГА. Оценено время реакции РУСА: не требуется формировать рекомендации по изменению состава чаще чем раз в минуту. Проведена апробация модели РУСА на данных четырех реальных ГЭС за значительный период времени. Созданы модели 4 ГЭС с общим числом агрегатов 56 с различными типами эксплуатационных и расходных характеристик. Предложенная методика представляет интервальную оценку от минимального однократного изменения состава агрегатов до максимально достижимого повышения КПД ГЭС. Показано, что модели и методика адекватны реальным системам. Описано влияние задержки принятия решения об изменении состава агрегата на эффективность ГЭС. Предложен адаптивный алгоритм выбора задержки принятия решения.

Разработана методика экономического обоснования и исследования экономической эффективности автоматизированной системы рационального управления составом агрегатов. Поведён расчёт для четырёх ГЭС на основе данных реальных АСУТП ГЭС за год. Полученные результаты свидетельствуют, что для ГЭС из 24 агрегатов ежегодный эффект достигает 51 млн. руб., для ГЭС из 8 агрегатов – 62 млн. руб., для ГЭС из 20 агрегатов – 50,6 млн. руб., для ГЭС из 6 агрегатов – 27 млн. руб. Оценки проведены при разной выдержке принятия решения, полученной на основе данных о длительности актуальности рекомендации из моделей РУСА. Отмечено, что при увеличении выдержки принятия решения, экономический эффект от РУСА уменьшается. Кроме достижения экономического эффекта от работы всех агрегатов на максимальном КПД в функции системы РУСА заложена ротация основного оборудования, учет состояния и тенденций изменения параметров гидроагрегатов (температуры, вибрации), эффект от которых в настоящий момент сложно оценить количественно.

Сформулированы основные требования к системам оптимизации состава агрегатов, определена архитектура конкретных систем, разработаны компоненты систем и определена их функциональность, описана схема потоков данных между компонентами. Разработана действующая система автоматизированного рационального управления составом агрегатов, описан интерфейс пользователя, основная мнемосхема системы, параметры системы. Обозначено решение проблемы конкуренции критериев. Проведено сравнение с аналогами. Система имеет реальное внедрение с 2018 г. и позволяет: сформировать меру эффективной работы станции; повысить эффективность использования основного оборудования; равномерно распределить нагрузку среди основного оборудования и число включений и отключений агрегатов за заданный период времени; заблаговременно определить риски развития нештатных ситуаций на агрегатах; проводить обучение оперативного персонала на модели; подготовить основание для дальнейшей оптимизации производства (основного и вспомогательного оборудования).

Определены перспективные направления развития научных исследований в области автоматизированного управления ГЭС. Предложенные методики автоматизации, модели и алгоритмы управления могут быть использованы в других отраслях промышленности.

Степень решения поставленных задач и уровень полученных результатов в развитии теоретических основ и реализации автоматизированного управления активной мощностью и составом агрегатов ГЭС в целях повышения качества управления и эффективности ГЭС свидетельствуют о достижении цели диссертационной работы.

СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ, ПО КОТОРОЙ ОНА РЕКОМЕНДУЕТСЯ К ЗАЩИТЕ

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность):

- в части формулы специальности: «... специальность, занимающаяся математическим, информационным, алгоритмическим и машинным обеспечением создания автоматизированных ... систем управления ..., включающая методологию исследования и проектирования, формализованное описание и алгоритмизацию, оптимизацию и имитационное моделирование функционирования систем, внедрение, сопровождение и эксплуатацию человекомашинных систем. ... Актуальность развития проблемной области ... обусловлено ростом ... комплексной автоматизации производства и интегрированного управления функционированием как сетью технологических процессов, так и отдельным предприятием ... Создание на научной основе автоматизированных ... систем управления технологическими процессами, их последовательная увязка по иерархическим уровням и интеграция в единую систему сбора и обработки данных и оперативного управления повышает качество и эффективность всех звеньев производства ...»;

- в части области исследования: п.3 «Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами ...»; п.4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация.»; п.6 «Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления»; п.8 «Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур ...»; п.13 «Теоретические основы и прикладные методы ана-

лиза и повышения эффективности, надежности ... АСУ на этапах их разработки, внедрения и эксплуатации.»; п.15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ»;

так как посвящена развитию теоретических основ и реализации автоматизированного управления агрегатами ГЭС с оптимальным оперативным распределением активной мощности и изменением состава задействованных агрегатов ГЭС, что имеет важное значение для ГЭС, их каскадов и энергосистемы страны.

ПОЛНОТА ИЗЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИССЕРТАЦИИ В РАБОТАХ, ОПУБЛИКОВАННЫХ СОИСКАТЕЛЕМ

Основные положения диссертации представлены в 36 печатных изданиях, среди которых 13 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 11 из них рекомендованы ВАК по специальности, 5 публикаций, индексируются в международных базах цитирования Scopus и WoS, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, 9 учебных пособий. По результатам исследований опубликована 1 монография. В публикациях, выполненных в соавторстве, на защиту выносятся только результаты, полученные лично Захарченко В.Е.»

В ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК

1. Захарченко В.Е. Формальное описание АСУ сложными технологическими объектами и автоматизация тестирования алгоритмов управления // Автоматизация в промышленности. - 2007 г. - №3. - стр. 22-25.
2. Захарченко В.Е. Имитационная модель гидроагрегата для тестирования алгоритмов АСУТП // Автоматизация в промышленности. - Москва, 2007 г. - №7. - стр. 37-40.
3. Захарченко В.Е. Контроль достоверности параметров АСУТП // Автоматизация в промышленности. - Москва, 2008 г. - №7. - стр. 10-14.
4. Сидоров А.А. и Захарченко В.Е. Оценка достоверности значений параметров АСУТП на основе синхронных моделей // Проблемы управления. - Москва, 2010г. - №2. - стр. 61-68. (доля автора: 0,36 п.л.)
5. Захарченко В.Е. Основной критерий автоматизированного рационального управления составом агрегатов ГЭС//Автоматизация в промышленности, 2017 №9 – с.10-15
6. Захарченко В.Е. Технико-экономическое обоснование автоматизированной системы рационального управления составом агрегатов ГЭС //Автоматизация в промышленности, 2017 №11 – с.11-15
7. Захарченко В.Е., Сидоров А.А. Влияние функции распределения активной мощности на эффективность ГЭС//Автоматизация в промышленности, 2018 №1 – с.19-23 (доля автора: 0,25 п.л.)
8. Захарченко В.Е. Особенности реализации системы рационального управления составом агрегатов гидроэлектростанций и перспективы ее развития// Вестник МЭИ. № 1. 2019 –с.98-107
9. Захарченко В.Е., Сидоров А.А. О цифровизации гидроэлектростанций //Автоматизация в промышленности, 2019 №1 – с.19-23
10. Захарченко В.Е. Опыт виртуальной пусконаладки в гидроэнергетике //Автоматизация в промышленности, 2019 №11 – с.3-5
11. Захарченко В.Е., Дубов И.А. Обучение оперативного персонала ГЭС на основе системы рационального управления составом агрегатов//Автоматизация в промышленности, 2020 №4 – с.12-14 (доля автора: 0,125 п.л.)

Индексируемые в международных базах цитирования Scopus и WoS

12. Zakharchenko V.E. Parameter validity control in process control systems (Контроль достоверности параметров АСУТП)//Automation and Remote Control, October 2010, Volume 71, Issue 10, pp 2216–2223

13. Zakharchenko V.E. Modeling of operating HPP units' state rational control system (Моделирование систем рационального управления агрегатами ГЭС)// Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1111. Number 1.
14. Zakharchenko V.E. The model of joint control system for HPP featuring the function of active power distribution in proportional equality of control ranges (Моделирование системы ГРАМ с функцией долевого равенства регулировочных диапазонов ГА)//Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1111. Number 1.
15. Kovartsev A, Nazarova A, Zakharchenko V Approximation of hydraulic turbine performance characteristics using optimal splines and neural networks (Аппроксимация эксплуатационной характеристики турбины агрегатов ГЭС с помощью оптимальных сплайнов и нейронных сетей)//Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1652, 11с. (доля автора: 0,23 п.л.)
16. Alexander Kovartsev, Anastasia Nazarova and Vitaliy Zakharchenko Restoration of hydraulic turbine performance characteristics on a few observations(Восстановление эксплуатационной характеристики турбины агрегатов ГЭС по малому числу наблюдений)//Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1745, 9с. (доля автора: 0,19 п.л.)

Результаты интеллектуальной деятельности

17. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2020616447. Рос. Федерация. РУСА/Захарченко В.Е., Михайлов М.Ф., Дубов И.А; правообладатель: ООО НВФ Сенсоры, Модули, Системы» — № 2020615494 ; заявл. 1.06.2020 ; зарегистр. 17.06.2020 ; — 1 с. (доля автора: 0,03 п.л.)

Монографии, учебные пособия

18. Захарченко В.Е., Сидоров А.А. Оценка достоверности параметров контроля и управления АСУТП. Функционально-ориентированные модели» Монография – Lambert Academic Publishing, 2012 – стр. 182. (доля автора: 9,36 п.л.)
19. Захарченко В. Е. Оценка достоверности информационного обеспечения АСУТП гидроагрегата на основе функционально-ориентированных нечётких математических моделей, Диссертация к.техн.н., 2011 год – стр. 160
20. Захарченко В.Е. SIMATIC. Контроллеры. Базовый курс, 2012
21. Под. ред. Захарченко В.Е. SIMATIC. Контроллеры. Расширенный курс, 2013
22. Под. ред. Захарченко В.Е. SIMATIC TIA Portal. Базовый курс, 2017
23. Под. ред. Захарченко В.Е. SIMATIC TIA Portal. Расширенный курс, 2018
24. Под. ред. Захарченко В.Е. Системы диспетчерского управления и передачи данных , 2016
25. Под. ред. Захарченко В.Е. Моделирование для систем автоматизации на основе Siemens SIMIT, 2018
26. Под. ред. Захарченко В.Е. Станции оператора SIMATIC HMI, 2018
27. Под. ред. Захарченко В.Е. Контроллеры Regul. Базовый курс, 2020
28. Под. ред. Захарченко В.Е. Системы диспетчерского управления и передачи данных (АСОКУ), 2020

Другие публикации:

29. Захарченко В.Е., Зарубин Н.А., Ледаков Я.А. Опыт виртуальной пусконаладки АСУТП в нефтяной отрасли //NEFTEGAZ.RU, 2020 №06 (102) – с.46-49 (доля автора: 0,125 п.л.)
30. Захарченко В. Е. Оценка состояния агрегата по параметрам из АСУТП // Электрические станции. - 2021. - № 1. – с. 50 – 54.
31. Захарченко В.Е. Организация интерфейса между АСУТП и MES\ERP-системами в распределённой среде предприятия // МКА.-2005г.-№4.-стр.20-22.
32. Захарченко В.Е. Контроль достоверности значений параметров в АСУТП//III Всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2007, Санкт-Петербург, 2007, - с.278-286
33. Захарченко В.Е. Имитационные модели объектов управления для тестирования алгоритмов АСУТП// Лабораторные информационные системы и системы управления производством. LIMS&MES. - Москва: Информационные технологии, 2008г. - стр.82-89.

34. Захарченко В.Е. Контроль достоверности значений параметров в АСУТП // Лабораторные информационные системы и системы управления производством. LIMS&MES. - Москва: Информационные технологии, 2008г. - стр. 90-98.
35. Сидоров А.А., Захарченко В.Е. Модель оценивания достоверности значений параметров АСУТП//Международная конференция с элементами научной школы для молодёжи Перспективные информационные технологии для авиации и космоса ПИТ-2010, Самара, 2010 – с.242-246 (доля автора: 0,2 п.л.)
36. Захарченко В.Е. Обучение оперативного персонала ГЭС на основе модели системы группового регулирования активной мощности // ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА Материалы XV Международной научно-технической конференции, Саратов, 2020, с. 52-57

Основные конференции:

1. Захарченко В.Е. АСОКУ: Типовое решение на основе WinCC OA для построения комплексных АСУТП ГЭС//Международная научно-техническая конференция «Современные российские системы мониторинга и управления на основе SCADA-системы WinCC OA», Сочи, 2015
2. Захарченко В.Е. Автоматизированная система оперативного контроля и управления: типовое решение на основе WinCC OA для построения комплексных АСУТП ГЭС// Вторая международная научно-техническая конференция «Современные российские системы мониторинга и управления на основе SCADA-системы WinCC OA. Построение цифрового предприятия», Самара, 2016
3. Захарченко В.Е. Система рационального управления составом агрегатов ГЭС на основе АСОКУ// Вторая международная научно-техническая конференция «Современные российские системы мониторинга и управления на основе SCADA-системы WinCC OA. Построение цифрового предприятия», Самара, 2016
4. Zakharchenko Vitaliy CMC ASOCU - WinCC OA-based standard solution for hydro power plant main dispatcher centers, SPS IPC Drives, Siemens SCADA Lounge, Nuremberg, 2016
5. Захарченко В.Е. Применение системы имитационного моделирования SIMIT для организации виртуальной пусконаладки оборудования и построения тренажёров операторов, Международная конференция Дигитализация производственных процессов», Сочи, 2017
6. Захарченко В.Е., Сидоров А.А. Диспетчеризация производственных процессов в энергетике. OEM-решение «АСОКУ» на базе WinCC OA, Международная конференция Дигитализация производственных процессов», Сочи, 2017
7. Захарченко В.Е. Применение системы имитационного моделирования SIMIT для организации виртуальной пусконаладки оборудования и построения тренажёров операторов // Научно-техническая конференция Дигитализация производственных процессов. Применение промышленного программного обеспечения для построения цифровых предприятий», Самара, 2018
8. Захарченко В.Е. Диспетчеризация производственных процессов в энергетике. OEM-решение «АСОКУ» на базе WinCC OA// Научно-техническая конференция Дигитализация производственных процессов. Применение промышленного программного обеспечения для построения цифровых предприятий», Самара, 2018
9. Захарченко В.Е. Моделирование системы рационального оперативного управления составом агрегатов гидроэлектростанций// XIV научно-техническая конференция Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов», Саратов, 2018 г.
10. Захарченко В.Е. Модель системы группового регулирования ГЭС с функцией распределения активной мощности по долевному равенству диапазонов регулирования. // XIV научно-техническая конференция Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов», Саратов, 2018 г.
11. Захарченко В.Е. Моделирование система рационального оперативного управления составом агрегатов гидроэлектростанций и планирование его изменений //Девятая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2019, Екатеринбург, 2019, с.421-427

12. Коварцев А.Н., Назарова А.Н., Захарченко В.Е. Восстановление эксплуатационных характеристик гидроагрегатов по малому числу наблюдений// Сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Самара) 2020, Том. 3., с.586-594. (доля автора: 0,19 п.л.)
Alexander Kovartsev, Anastasia Nazarova and Vitaliy Zakharchenko Restoration of hydraulic turbine performance characteristics on a few observations//VI международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии», Самара, 2020, 9с (доля автора: 0,19 п.л.)
13. Kovartsev A, Nazarova A, Zakharchenko V Approximation of hydraulic turbine performance characteristics using optimal splines and neural networks// Journal of Physics: Conference Series, Volume 1652, 15th International Scientific and Technical Conference (PESPC) 2020 6-9 October 2020, Saratov, Russian Federation (доля автора: 0,23 п.л.)
14. Захарченко В.Е. Обучение оперативного персонала ГЭС на основе модели системы группового регулирования активной мощности //ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА Материалы XV Международной научно-технической конференции, Саратов, 2020, с. 52-57

ВЫВОДЫ

Диссертация «РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ И СОСТАВОМ ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ АГРЕГАТОВ ГЭС» Захарченко Виталия Евгеньевича является законченной научной работой и рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Председатель заседания,
председатель совета
директоров, канд. техн. наук



Сидоров Андрей Анатольевич