

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
**ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ**  
им. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИСЭМ СО РАН)



664033, Иркутск-33, ул. Лермонтова, 130

Тел. (395-2) 42-47-00

Факс (395-2) 42-67-96

E-mail: info@isem.irk.ru

от 25.10.2018 № 10818/01-09-14

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки

«Институт систем энергетики им.  
Л.А. Мелентьева» Сибирского отде-  
ления Российской академии наук,

д.т.н., профессор, член-кор. РАН

В.А. Стенников



» октября 2018 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» Сибирского отделения Российской академии наук на диссертацию Суворова Алексея Александровича «Всережимная верификация средств моделирования электроэнергетических систем», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

#### 1. Актуальность диссертационного исследования.

Надежность и эффективность решения широкого спектра задач проектирования, исследования и эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС), соответственно их функционирования зависит от полноты и достоверности используемой при этом информации о нормальных и аномальных режимах и процессах в оборудовании и ЭЭС в целом, получаемой в настоящее время в основном с помощью различных программно-вычислительных комплексов (ПВК) расчета режимов и процессов в ЭЭС. Между тем, проведенные в последние годы в США, Европе и России сравнения, в том числе отмеченные в диссертации, результатов этих расчетов с имеющимися натурными данными, нередко показывают значительные несоответствия реальным процессам из-за неизбежно применяемых в различной мере во всех ПВК упрощений и ограничений для улучшения обусловленности на ограничительных условиях применимости методов численного интегрирования жесткой нелинейной системы дифференциальных уравнений, образуемой достаточно полной математической моделью ЭЭС. Однако приемлемая для всережимной верификации совокупность натуральных данных нереализуема в обозримой перспективе ввиду очевидной специфики ЭЭС. В связи с этим, данная работа, целью которой является решение проблемы всережимной верификации средств моделирования ЭЭС, безусловно, является актуальной для российской и мировой электроэнергетики.

## 2. Структура и содержание диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 131 наименования, совокупным объемом 134 страницы, включая 12 таблиц, 63 рисунка, а также трех приложений на 12 страницах.

**Во введении** обоснованы решаемая проблема и её актуальность, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, научная новизна полученных результатов и их теоретическая и практическая значимость. Кроме этого, приведены выносимые на защиту основные положения, а также сведения о методах исследований и достоверности их результатов, апробации и публикации материалов по тематике диссертации, реализации результатов работы, структуре и объеме диссертации.

**Первая глава** посвящена анализу причин существования проблемы полноты и достоверности расчетов режимов и процессов в ЭЭС, выполняемых с помощью ПВК, а также её неразрешимости в рамках существующего численного подхода. Обоснованность данного анализа подтверждена приведенными опубликованными результатами верификаций, выполненных с использованием имеющейся натурной информации. Ввиду отсутствия в настоящее время и обозримой перспективе необходимых для всережимной верификации натуральных данных о процессах в оборудовании и ЭЭС в целом предложено альтернативное существующему направление решения данной проблемы, основанное на использовании информации, получаемой с помощью модельного эталона – экспериментального образца Всережимного моделирующего комплекса реального времени электроэнергетических систем (МЭ - ВМК РВ ЭЭС), созданного в соответствии с комплексным подходом. Промышленное освоение такого средства ввиду его сравнительно высокой сложности и стоимости в настоящее время, как отмечается в работе, является неопределённым, но его экспериментальный образец может успешно использоваться для указанной ранее цели.

**Во второй главе** сформулирована концепция всережимной верификации различных ПВК расчета режимов и процессов в ЭЭС и разработаны средства её реализации, обладающие свойствами и возможностями, необходимыми для осуществления гарантированной всережимной верификации.

**В третьей главе** представлена методика реализации концепции всережимной верификации ПВК расчета режимов и процессов в ЭЭС, определяющая последовательность и содержание действий по всережимной верификации, основанных на рассчитываемых с помощью ПВК режимах и процессах, информация о которых необходима для надежного и эффективного решения наиболее важных для исследования, проектирования и эксплуатации ЭЭС задач, а также на процессы, которые рассчитываются с наибольшей погрешностью.

**Четвертая глава** содержит результаты экспериментальных исследований разработанных средств всережимной верификации ПВК, выполненных на примере расчетов режимов и процессов в реальной ЭЭС с помощью распространённых ПВК Eurostag и ПВК АРМ СРЗА, подтверждающие свойства и возможности этих средств, позволяющие осуществлять гарантированную всережимную верификацию различных ПВК.

**В заключении** сформулированы основные результаты, полученные при решении поставленных задач и обеспечившие достижение цели диссертационной работы.

### **3. Научная новизна и значимость результатов диссертационной работы.**

1. На основе анализа свойств и возможностей ПВК расчета режимов и процессов в ЭЭС, а также используемых в них численных методов, выявлены и обоснованы необходимость их всережимной верификации и причины её неосуществимости в рамках применяемого подхода, ориентированного на использование натуральных данных.

2. Предложен альтернативный существующему подход к решению проблемы всережимной верификации ПВК расчета режимов и процессов в ЭЭС, в соответствии с которым разработаны не имеющие аналогов в мировой электроэнергетике концепция и средства всережимной верификации ПВК, а также методика её осуществления.

3. Выполнен комплекс экспериментальных исследований, подтверждающих свойства и возможности разработанных средств, позволяющие осуществлять гарантированную всережимную верификацию различных ПВК расчета режимов и процессов в ЭЭС.

### **4. Практическая ценность и реализация результатов диссертационной работы.**

Разработанные и экспериментально проверенные средства всережимной верификации позволяют обосновано оценивать полноту и достоверность получаемой с помощью различных ПВК информации о нормальных и анормальных режимах и процессах в реальных ЭЭС, необходимой для надежности и эффективности осуществляемых на её основе решений важных и сложных для исследования, проектирования и эксплуатации ЭЭС задач. Практическая значимость данных результатов также подтверждена представленными в Приложении соответствующими актами их использования в ОАО «Томские магистральные сети» и АО «Институт автоматизации энергетических систем».

### **5. Соответствие содержания паспорту специальности.**

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»:

П.6 Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике.

П.7 Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем.

П.13 Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике.

### **6. Апробация и публикация результатов диссертационной работы.**

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 13 международных и всероссийских научно-технических конференциях и конкурсах. По теме диссертации опубликовано 34 печатные работы, в том числе 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и два патента на изобретения.

## **7. Замечания по диссертации.**

1. В работе обосновано отмечено, что в настоящее время достоверность анализа колебательной устойчивости связана с функционированием автоматических систем регулирования, особенно автоматических регуляторов возбуждения сильного действия (АРВ СД). При этом, как обеспечивается соответствие используемых в ВМК РВ ЭЭС и ПВК Eurostag математических моделей АРВ СД конкретно не представлено.

2. В России и за рубежом кроме широко распространенных ПВК используются также программно-аппаратные комплексы реального времени, например RDTs, с помощью которого в работе были получены результаты моделирования различных видов коротких замыканий, совпадающие с аналогичными в ВМК РВ ЭЭС. Выполнялось ли сравнение для других режимов и процессов?

3. В диссертационной работе недостаточно обосновано, почему в качестве верификационного сценария оценки достоверности расчетов, используемых для определения условий работы изоляции по напряжению, а также мест установки ОПН и условий их работы выбран режим коммутационных перенапряжений при отключении фазы линии электропередачи в случае однофазного короткого замыкания, несмотря на многообразие условий коммутации и существования грозových перенапряжений.

4. В приведенных результатах экспериментальных исследований выполнено сравнение воспроизведения с помощью разработанных средств всережимной верификации процессов при однофазных коротких замыканиях в Томской ЭЭС с имеющимися записями этих процессов регистраторами аварийных событий (РАС), демонстрирующее незначительное расхождение, объясняемое в диссертации погрешностью измерительных трансформаторов и входных цепей РАС. Причина неучета этих погрешностей в разработанных средствах не объясняется.

## **8. Заключение.**

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, которая представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Полученные на основе проведенных исследований результаты являются значимыми для современной электроэнергетики. Актуальность, научная новизна, практическая значимость, содержание и публикации диссертационной работы «Всережимная верификация средств моделирования электроэнергетических систем» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, в том числе п.п. 9-14, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями Постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а её автор Суворов Алексей Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Отзыв на диссертационную работу обсужден и утвержден на семинаре Отдела электроэнергетических систем Федерального государственного бюджетно-

го учреждения науки «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева» Сибирского отделения Российской академии наук, протокол № 10 от 24 октября 2018 г.

Заведующий Отделом электро-  
энергетических систем ИСЭМ  
СО РАН,  
д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН



Николай Иванович Воропай

Подпись Воропай Н.И. заверяю

Зав. канцелярией ИСЭМ СО РАН

Подпись И.В. расшифровка подписи  
«24» октября 2018 г.

#### Сведения о ведущей организации:

Полное и сокращенное  
наименование организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН).

Место нахождения

664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130.

Телефон

+7(3952) 500-646, +7(3952) 42-67-96

Адрес электронной почты

info@isem.irk.ru

Адрес сайта организации

http://isem.irk.ru