

Грант РФФИ 14-01-00047-а «Численный анализ дискретно-непрерывных процессов в электроэнергетических системах с использованием методологии гибридных систем»

Руководитель: д.ф.-м.н., профессор Е.А. Новиков

ВВЕДЕНИЕ

Повышение экономичности режимов работы электроэнергетической системы (ЭЭС) закладывается в виде технических, технологических, режимных требований и ограничений. При введении режима у диспетчера или оператора, управляющего работой энергосистемы, нет возможности оперативно и осознанно менять режимы и выдавать инструкции к действию субъектам энергетики для быстрого изменения режима работы электроприемников, сетей и генерирующего оборудования с целью изменять «на ходу» экономичность электроэнергетической системы. Разработка мероприятий по повышению экономичности работы ЭЭС требует многодневной работы группы специалистов. Сейчас практически не реализуется даже ситуация дневной или ночной режим, что может приводить к значительным энергопотерям.

В настоящее время для исследования электрических сетей используются, в основном, три программных комплекса – отечественные АНАРЭС-2000 и RastrWin, и популярный зарубежный EUROSTAG. Оба отечественные комплекса направлены на решение задачи расчета установившегося режима в электроэнергетической системе, что сводится к решению нелинейной системы алгебраических уравнений методом Ньютона. Различие в расчетном блоке связано только с модификацией метода Ньютона и его программной реализацией. Выбор начального условия для метода Ньютона осуществляется в самом комплексе и в литературе обсуждается достаточно скудно. Одним из критериев остановки расчетов является расходимость метода Ньютона. Переходные процессы не рассматриваются. В результате каждую достаточно большую энергетическую систему обслуживает достаточно большой расчетный отдел энергетиков-

вычислителей. Если возникает ранее не просчитанная ситуация, то естественно о реагировании "на ходу" не может быть и речи.

Проект посвящен разработке инструментальных средств математического моделирования и методов численного анализа дискретно-непрерывных процессов в электроэнергетических системах. Рассматриваемые модели относятся к классу гибридных систем. В зависимости от состава устройств (генераторы, трансформаторы, подстанции и др.) и детализации условий протекания процессов (короткое замыкание, отключение и/или подключение источников и др.), описание непрерывных режимов сводится к трем типам уравнений. Это разрешенные системы ОДУ и неявные системы дифференциально-алгебраических систем (ДАУ) индекса 1 и 2. Для каждого типа задачи предполагается разработка алгоритмов интегрирования на основе оригинальных явных схем с контролем устойчивости, (m,k) -методов, неоднородных алгоритмов, схем типа Розенброка и (m,k) -методов для решения неявных систем.

Программная система разрабатывается как унифицированная инструментальная среда моделирования гибридных систем с предметно-ориентированным интерфейсом для композиции схем ЭЭС. Графический язык принципиальных схем ЭЭС расширен унифицированными текстовыми и графическими языками описания гибридных систем. Оригинальный текстовый язык разрабатывается на основе порождающих КС-грамматик и регулярных выражений. Графический язык реализует общепринятый формализм диаграмм Д. Харела в описании дискретно-непрерывного поведения систем.

Создаются новые оригинальные численные методы с учетом жесткости режимов в условиях односторонности событий гибридной системы в виде библиотек с унифицированным интерфейсом программирования (API). Результаты моделирования отображаются графическим интерпретатором с возможностями оперативной манипуляции данными – катенация окон, вейвлет-преобразования данных, трассировка траекторий решения и т.д.

Наглядное и детальное отображение включает визуализацию решения во временной области и фазовом пространстве.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассматриваются динамические процессы в электроэнергетических системах (ЭЭС), сопровождаемые экстремальными ситуациями. В общем случае под экстремальными понимаются события в системе, приводящие к изменению режима функционирования сети. Это может быть вызвано как аварийными ситуациями (короткое замыкание или обрыв, изменение свойств элементов вследствие старения и др.), так и плановыми событиями (переключениями, работой регулирующих устройств, подключением или отключением нагрузки).

Поскольку экстремальные ситуации возникают в отдельных элементах электрической сети, их функционирование может быть описано совокупностью дискретно-непрерывных процессов. Таким элементами ЭЭС являются генераторы, трансформаторы, реакторы, линии электропередачи, обобщенная нагрузка и др. Каждый элемент ЭЭС имеет собственную электрическую схему замещения и, соответственно, математическую модель. В общем случае возможны различные схемы замещения для каждого класса элементов. Разработан набор схем замещения элементов ЭЭС с учетом возможных различных типов экстремальных ситуаций – обрывов цепи, коротких замыканий, изменения характеристик элемента. Такое поведение элемента ЭЭС обуславливает необходимость построения его математической модели как гибридной системы (ГС). Гибридное поведение обусловлено скачкообразным изменением начальных условий, значений параметров правой части, изменением правой части без изменения или с изменением состава фазовых переменных. Именно такие преобразования математической модели происходят при экстремальных ситуациях в ЭЭС. Библиотека типовых элементов разработана как система с открытым интерфейсом

программирования (API), что позволяет включать в нее новые примитивы без перекомпиляции системы в целом. Кроме того, схемы замещения каждого элемента также имеют API, и добавление новых динамических моделей и характеристик примитивов (в виде схем замещения) производится без перекомпиляции программного модуля типового элемента ЭЭС.

Модель электроэнергетической системы с учетом экстремальных ситуаций является гибридной системой. Непрерывное поведение системы определяется конфигурацией сети при функционировании в рабочем или аварийном режимах. Дискретное поведение связано с моментами возникновения или окончания экстремальных ситуаций, приводящих к изменениям структуры сети и свойств ее элементов. Расчетная модель ЭЭС строится на основе анализа схемы ЭЭС и выбранных схем замещения каждого ее элемента. Анализ графического представления и синтез математической модели выполняется графоаналитическим методом с использованием трех типов графов: топологических, графов схем замещения и графов математических моделей. Состав и структура принципиальной схемы описывается топологическим графом. Для каждого элемента ЭЭС определена используемая в текущем вычислительном эксперименте схема замещения. Внутреннее представление схем замещения описывается соответствующими направленными графами. Направления дуг соответствуют условным направлениям токов в ветвях схемы замещения. Граф схемы замещения ЭЭС компонуется из подграфов схем замещения отдельных элементов в соответствии с топологическим графом. Математическая модель формируется по схеме замещения с учетом законов Кирхгофа методом контурных токов. Графы математической модели являются внутренним представлением арифметических выражений, и в дальнейшем транслируются в исполняемый код для численного анализа. Начальные узлы графа соответствуют переменным и параметрам математической модели. В промежуточных узлах выполняются примитивные операции и функции, исключая интегрирование. Конечная вершина содержит

результат вычисления выражения. Математические модели для системы электроснабжения komponуются из подграфов элементов в соответствии с законами Кирхгофа и методом контурных токов. Анализ графов математической модели дает искомое значение правой части системы дифференциальных уравнений или промежуточный результат вычислений. Для каждой конфигурации электроэнергетической сети, возникающей при экстремальных ситуациях, создается динамическая модель, соответствующая непрерывному режиму функционирования ГС. Количество режимов гибридной модели определяется как произведение количества состояний всех входящих в ЭЭС элементов. Условия возникновения экстремальных ситуаций порождают набор условий смены состояний ГС.

Язык моделирования электроэнергетических систем описывает принципиальные схемы и схемы замещения элементов цепи. Каждый вид элементов сети может иметь различные схемы замещения, реализованные как гибридные системы, в которых учитываются экстремальные ситуации.

Разработан алгоритм обнаружения событий гибридной системы с неявно заданным режимным поведением. Алгоритм основан на оригинальной теореме о выборе шага численного интегрирования для асимптотического приближения к границе режима ГС. Выполнено доказательство теоремы для случая, когда режимное поведение ГС определяется на решении системы ДАУ с ограничениями, не разрешенной относительно производной. При этом легко обнаруживается ситуация, когда событийная функция удаляется от границы режима. Простыми примерами, в которых возможна такая ситуация, является модель прыгающего мячика или маятника с ограничением. В случае мячика удаление от границы режима происходит, пока он взлетает. Маятник, удаляясь от препятствия, также удаляется от границы режима. Обнаружение такой ситуации позволяет дополнительно увеличить шаг интегрирования. В этом случае шаг определяется только точностью и устойчивостью численного метода, что ускоряет расчет модели без ухудшения точности и надежности вычислений.

Результаты расчета тестовых моделей убедительно доказывают эффективность предложенного алгоритма.

Анализ гибридных моделей осуществляется в инструментальной среде. В ней реализованы оригинальные алгоритмы численного анализа. Метод обнаружения событий гибридной системы основан на теореме о выборе шага интегрирования с учетом динамики событийной функции, которая доказана для случая неразрешенных относительно производной систем уравнений. В библиотеку методов численного интегрирования включен алгоритм анализа неявных задач. Он не требует приведения задачи к разрешенному виду и имеет хорошие вычислительные характеристики. Выполнены расчеты, подтверждающие эффективность разработанных алгоритмов.

Разработан модуль численного решения задач обозначенного класса явными одношаговыми методами, ориентированными на умеренно-жесткие и жесткие системы уравнений. Применение полностью неявных методов было бы не оправдано поскольку требует вычисление функции в потенциально опасных областях, где модель не определена. Алгоритмы анализа основаны на методах типа Рунге-Кутты с контролем точности и устойчивости численной схемы. Увеличение размерности задачи до нескольких десятков тысяч уравнений приводит к значительному росту вычислительных затрат, поэтому разработанный механизм организации вычислений позволяет запускать численные методы как в последовательном, так и в параллельном режиме. Управление параллельными вычислениями реализовано на основе стандарта MPI и ориентировано на кластерные системы с распределенной памятью. В предложенные архитектурные решения программной реализации численных алгоритмов заложены инструментальные средства, облегчающие расширение библиотеки новыми методами.

Подготовлены две кандидатские диссертации (Достовалов Д.Н. и Новиков А.Е.), куда частично вошли результаты проекта за 2014 год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан подход к моделированию электроэнергетических сетей с учетом экстремальных ситуаций, основанный на применении компонентных моделей электрических систем.

2. Выполнено описание элементов сетей на основе математического аппарата гибридных систем.

3. Предложены и реализованы в окружении инструментальных средств компьютерного анализа методы интерпретации программных моделей на входном предметном языке в совокупные гибридные модели.

4. Усовершенствован, запрограммирован и протестирован алгоритм корректного обнаружения событий гибридных систем с неявно заданным режимным поведением.

5. Предложены архитектурные решения для программной реализации последовательных и параллельных алгоритмов численного анализа.

6. Адаптирован применительно к решению гибридных задач шестистадийный метод Фельберга пятого порядка точности. Построены неравенства для контроля точности вычислений и устойчивости численной схемы. Получена формула для выбора шага интегрирования по точности и устойчивости с учетом поведения событийной функции.

7. Проведен вычислительный эксперимент, из которого следует адекватность расчетов за счет тщательной обработки дискретных переходов с применением событийных функций.

1. Новиков Е.А. Моделирование билиарной системы методом Фельберга с контролем точности и устойчивости // Информатика и системы управления. – 2014. – №1(39). – С. 42–52.

Рассмотрен шестистадийный метод Фельберга пятого порядка точности применительно к решению гибридных задач. Построены неравенства для контроля точности вычислений и устойчивости численной схемы. Получена формула для выбора шага интегрирования по точности и устойчивости с учетом поведения событийной функции. Приведены результаты расчета билиарной системы.

2. Novikov E.A. A second-order method for additive stiff problems // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. – 2014. – № 4–2 (182). – P. 164 – 170.

Разработан метод второго порядка точности для решения жестких аддитивных систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Построено неравенство для контроля точности вычислений. Приведены результаты расчетов.

3. Новиков Е.А., Рыбков М.В. Численный алгоритм построения многочленов устойчивости методов первого порядка // Вестник Бурятского государственного университета. – 2014. – №9(2). – С. 80–85.

Построен алгоритм получения коэффициентов многочленов устойчивости до степени $m=27$, соответствующих явным методам типа Рунге-Кутты первого порядка точности. Показано, что выбором значений многочлена в экстремальных точках можно повлиять на размер и форму области устойчивости. Приведены результаты расчетов.

4. Новиков Е.А., Рыбков М.В. Численный алгоритм конструирования областей устойчивости явных методов // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – №1.1(55). – С. 173–177.

Построен алгоритм получения коэффициентов многочленов устойчивости до степени $m=35$, соответствующих явным методам типа Рунге-Кутты. Показана зависимость размера и форма области устойчивости от порядка метода, числа стадий и значений многочлена устойчивости в экстремальных точках. Приведены результаты расчетов.

5. Новиков Е.А., Захаров А.А. Численное моделирование кинетики химических реакций методом Розенброка первого порядка // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математические науки. Информатика. – 2014. – №7 – С. 226–233.

Построен одностадийный L-устойчивый метод решения неявных задач. Метод отличается от классических схем типа Розенброка приближенным нахождением производной решения. Построены неравенства для контроля точности вычислений. Приведены результаты расчета кинетики химических реакций.

6. Кнауб Л.В., Новиков Е.А., Новиков А.Е. Моделирование кинетики химических реакций методом второго порядка для неявных систем // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – №10. – С. 64–68.

Построен двухстадийный L-устойчивый метод второго порядка для решения неявных систем. Метод отличается от классических схем приближенным нахождением производной решения. Приведены результаты численного моделирования кинетики химической реакции.

7. Новиков Е.А., Ващенко Г.В. L-устойчивый метод третьего порядка численного интегрирования жестких задач // Фундаментальные исследования. – 2014. – №9. – Часть 4. – С. 734–741.

Представлен L-устойчивый (3,2)-метод третьего порядка точности для численного решения жестких задач. Для реализации пошагового контроля построен критерий на основе оценки аналога глобальной ошибки. Сформулированы последовательный алгоритм и параллельная версия MPI-алгоритма.

8. Новиков Е.А., Шорников Ю.В. Моделирование жестких гибридных систем с односторонними событиями в инструментальной среде ИСМА // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 18. Специальный выпуск: Труды Всероссийской конференции «Индустриальные информационные системы – 2013». – С. 45–51.

Рассмотрены особенности компьютерного анализа гибридных систем в среде моделирования ИСМА. Приведены классы математических моделей непрерывного поведения гибридных систем, символьная и графическая спецификации обозначенного класса и особенности численного решения с учетом жесткости и односторонности событий.

9. Ващенко Г.В. Параллельный MPI-алгоритм (3,2)-метода: ускорение и эффективность // Естественные и технические науки. Материалы XV научно-технической конференции. – 16 июня. – 2014. – С. 48–52.

Получены оценки ускорения и эффективности параллельного MPI-алгоритма (3,2)-метода решения жестких задач.

10. Ващенко Г.В. Ускорение и эффективность параллельного MPI-алгоритма L-устойчивого метода второго порядка // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. Материалы VI научно-технической конференции. – 17 июня. – 2014. – Т.1. – С. 103–105.

На основе верхних оценок вычислительной сложности последовательного и параллельного алгоритмов получены выражения для коэффициентов ускорения и эффективности параллельного MPI-алгоритма L-устойчивого метода второго порядка.

11. Novikov E.A., Novikov A.E. An Algorithm of Variable Order and Step, Based on Stages of the Dormand-Prince Method // Труды международной научно-технической конференции KOMOD- 2014, “Computer modeling and simulation”. - Санкт-Петербург. - 2-4 июля 2014. - С. 64-67.

Построен алгоритм переменного порядка и шага с применением стадий метода Дорманда-Принса восьмого порядка точности. Приведены

результаты расчетов, подтверждающие повышение эффективности примерно в 7 раз за счет комбинирования методов.

12. Колбасинский Д.В., Новиков Е.А., Соколов Н.В. Моделирование процесса разгона трамвайного вагона постоянного тока с реостатно-контакторной системой управления // Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике». - Чебоксары. - 12-44 июля 2014. - С. 7-12.

Представляемая работа посвящена численному моделированию разгона четырехмоторного электроподвижного состава с реостатно-контакторной системой управления, на примере трамвая базовой модели 71-605.

13. Колбасинский Д.В., Новиков Е.А., Феофанов М.К. Математическое моделирование процесса разгона электровоза переменного тока // Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике». - Чебоксары. - 12-44 июля 2014. - С. 12-16.

Проведено моделирование процесса разгона электровоза переменного тока. Скорость движения регулируется изменением напряжения на тяговых электродвигателях (ТЭД). Напряжение на ТЭД регулируется переключением под нагрузкой отпаек тягового трансформатора при помощи электроконтроллера главного ЭКГ-8Ж.

14. Новиков Е.А., Новиков А.Е. Моделирование кольцевого модулятора модифицированным методом Фельберга // Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике». - Чебоксары. - 12-14 июля 2014. - С. 17-20.

Построен алгоритм переменного порядка и шага на основе стадий тринадцатистадийного метода Рунге-Кутты-Фельберга. Приведены результаты расчетов кольцевого модулятора, подтверждающие десятикратное повышение эффективности за счет переменного порядка и

гибкого управления шагом с учетом неравенства для контроля устойчивости.

15. Новиков А.Е. Алгоритм интегрирования с применением стадий метода Рунге-Кутты-Фельберга // Открытая конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. - Красноярск: Институт вычислительного моделирования СО РАН. - 2014. - С. 66-76.

Построен алгоритм переменного порядка и шага на основе стадий метода Рунге-Кутты-Фельберга седьмого порядка точности. Приведены результаты расчетов, подтверждающие десятикратное повышение эффективности за счет переменного порядка и гибкого управления шагом с учетом неравенства для контроля устойчивости.

16. Новиков А.Е. Моделирование кинетики химических реакций алгоритмом переменного порядка и шага // Сборник статей VIII Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов. - Пенза. - 26-30 мая 2014. - С. 61-66.

Построен алгоритм переменного порядка и шага на основе явных методов типа Рунге-Кутты. Приведены результаты расчетов орегонатора, подтверждающие десятикратное повышение эффективности за счет переменного порядка.

17. Новиков А.Е. Модификация метода Рунге-Кутты-Фельберга седьмого порядка // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края, № заказа 1644/отв. ред. О.А.Краев - Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2014. - Электронный ресурс: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d02/s14/s14_014.pdf

Рассмотрены вопросы применения явных методов для решения жестких задач. Построен алгоритм интегрирования с дополнительным контролем устойчивости. Приведены результаты расчетов.

18. Рыбков М.В. Конструирование областей устойчивости с применением инструментов библиотеки `qd` // Открытая конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. - Красноярск: Институт вычислительного моделирования СО РАН. - 2014. С. 89-98.

Создан алгоритм получения коэффициентов многочленов устойчивости. Алгоритм реализован на языке C++ с использованием библиотеки `qd`. Вычисления проведены с «четверной» точностью. Показано, что форма, размер и структура области устойчивости зависят от расположения корней многочлена устойчивости в комплексной плоскости. Построены оценки, позволяющие определить размер области устойчивости в зависимости от степени многочлена m и порядка соответствующего явного метода.

19. Рыбков М.В. Конструирование областей устойчивости методов типа Рунге-Кутты // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края, № заказа 1644/отв. ред. О.А.Краев - Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2014. - Электронный ресурс: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d02/s14/s14_017.pdf

Разработан алгоритм определения коэффициентов полиномов устойчивости до степени $m=35$. Построенные многочлены используются для повышения эффективности известных явных методов. На жестких задачах повышение эффективности по сравнению с наиболее известными современными явными методами более чем в 30 раз.

20. Рыбков М.В., Новиков Е.А. Численный алгоритм построения полиномов устойчивости // XV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. - Тезисы докладов. - 29-31 октября 2014 г. - Тюмень. (РФФИ, 14-31-10274-мол_г). - Издательство ИВТ СО РАН. - с. 47.

Приведены результаты численных экспериментов по построению областей устойчивости заданного размера и конфигурации.

21. Novikov E.A. Numerical solution of stiff ODE's by explicit methods // Международный семинар "Численное решение интегральных и дифференциальных уравнений". Иркутск, 14-21 июля 2014. - <http://www.idstu.irk.ru/ru/system/files/abstractsinside.pdf>

Излагаются основные вопросы применения явных методов для решения умеренно жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

22. Novikov E.A., Novikov A.E. An Integration Algorithm for Moderately Stiff Problems with Using Stages of the Dormand-Prince Method // International conference "Advanced Mathematics, Computations & Applications - 2014" (AMCA-2014). - 8-11 июня, 2014. - Новосибирск, Россия. - P. 12-13. <http://conf.nsc.ru/amca14/participationview/198101>

Построено неравенство для контроля устойчивости метода Дорманда-Принса восьмого порядка точности. На основе первых семи стадий построен метод первого порядка с расширенной областью устойчивости. Приведены результаты расчетов, подтверждающие повышение эффективности за счет переменного порядка.

23. Novikov E.A., Vashchenko G.V. Parallel MPI-Algorithm Explicit Runge-Kutta Method 2nd Order // The 1st International Academic Conference "Science and Education in Australia, America and Eurasia: Fundamental and Applied Science". - Australia, Melbourne, 25 June 2014. - P. 11-18.

Предложен MPI-алгоритм явного метода типа Рунге-Кутты второго порядка с контролем точности вычислений и устойчивости численной схемы. Приведены результаты расчетов.

24. Novikov E.A. (M,2)-Methods of Accuracy of a Maximal Order for Stiff Systems // International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (MMMAS '14). - Saint Petersburg, State Politechnical University Russia, September 23-25, 2014. - P. 122-125. (ISBN: 978-1-61804-251-4) <http://www.europment.org/library/2014/russia/MEAS.pdf>

Приведены результаты исследования $(m,2)$ -методов решения жестких задач. Показано, что максимальный порядок $(m,2)$ -методов равен четырем и построен метод первого максимального порядка.

25. Novikov E.A., Novikov A.E. Variable Structure Algorithm Using Explicit and L-Stable Methods // International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (MMMAS '14). - Saint Petersburg, State Politechnical University Russia, September 23-25, 2014. - P. 47-53. <http://www.europment.org/library/2014/russia/MEAS.pdf>

Построен алгоритм переменной конфигурации с применением L-устойчивого и явных двухстадийных методов. Приведены результаты расчетов задач химической кинетики.

26. Novikov E.A. The additive second order method for solving stiff problems // Zbornik radova konferencije MIT-2013. - Beograd: Uiverziteta u Pristini, Prirodno matematchki fakultet, 2014. - P. 479-487. [ISBN 978-86-80795-20-1 (PMF)]

Построен аддитивный метод второго порядка для решения жестких задач. Приведены результаты расчетов с диагональной аппроксимацией матрицы Якоби.

27. Novikov E.A., Novikov A.E. Algorithms integrating stiff problems on heterogeneous numerical schemes // Zbornik radova konferencije MIT-2013. - Beograd: Uiverziteta u Pristini, Prirodno matematchki fakultet, 2014. - P. 488-496. [ISBN 978-86-80795-20-1 (PMF)] .

Построен алгоритм интегрирования с применением явных и неявных методов. Эффективная численная схема выбирается с применением неравенства для контроля устойчивости. Приведены результаты расчетов.

28. Шорников Ю.В., Томилов И.Н., Достовалов Д.Н. Инструментальное моделирование гибридных систем: учеб. пособие / Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 70с.

Приведены описание инструментальной среды машинного анализа (ИСМА) и правила и особенности моделирование гибридных систем.

29. Shornikov Yu.V., Bessonov A.V., Myssak M.S., Dostovalov D.N. Using ISMA Simulation Environment for Numerical Solution of Hybrid Systems with PDE // Труды международной научно-технической конференции КОМОД-2014, “Computer modeling and simulation”. - Санкт-Петербург. - 2-4 июля 2014. - С.101–108.

Описаны особенности численного моделирования гибридных систем в инструментальной среде ИСМА для случаев, когда непрерывные режимы описываются уравнениями в частных производных.

30. Shornikov Yu.V., Myssak M.S., Dostovalov D.N. Computer Simulation of Hybrid Systems by ISMA Instrumental Facilities // Proc. of the 2014 International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (MMMAS '14), Saint Petersburg, Russia, September 23-25, 2014. – pp. 257-262. <http://www.europment.org/library/2014/russia/MEAS.pdf>

Описаны возможности применения инструментальной среды ИСМА для моделирования динамических процессов в электроэнергетических системах (ЭЭС). Приведены результаты расчетов конкретных ЭЭС.

31. Shornikov Yu.V., Bessonov A.V., Myssak M.S., Dostovalov D.N. Specification and Analysis of Hybrid Systems with PDE in ISMA Simulation Environment // Proc. of the 2014 International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (MMMAS '14), Saint Petersburg, Russia, September 23-25, 2014. – pp. 175-182. <http://www.europment.org/library/2014/russia/MEAS.pdf>

Обсуждаются вопросы спецификации и анализа гибридных систем в случае описания непрерывных режимов уравнениями в частных производных.

32. Shornikov Yu.V., Tomilov I.N., Dostovalov D.N. Specification of economical processes in computational modelling // Материалы V междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы экономики, организации и управления в России и мире». – 23 апреля 2014. – Чешская Республика, Прага. – Прага: WORLD PRESS. – С. 449 – 453.

В инструментальной среде ИСМА разработан входной язык для спецификации и анализа экономических моделей. Приведены результаты расчетов.

33. Новиков А.Е. Разработка алгоритмов переменной структуры для решения жестких задач: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск: ИВМ и МГ, 2014. – 16с.

Созданы новые алгоритмы переменного порядка и шага на основе явных методов для решения умеренно жестких задач большой размерности, а также алгоритмы переменной структуры на основе явных и L-устойчивых численных схем для решения жестких и нежестких задач.

34. Достовалов Д.Н. Спецификация и интерпретация моделей переходных процессов в системах электроэнергетики: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Новосибирск: НГТУ, 2014. – 22 с.

Разработаны спецификация и интерпретация моделей переходных процессов в системах электроэнергетики в инструментальной среде ИСМА. Проведены расчеты некоторых задач электроэнергетики.

35. Novikov E.A. (M,2)-Methods of Accuracy of a Maximal Order for Stiff System // Book of Abstract. - International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (MMMAS '14). - Saint Petersburg, State Politechnical University Russia, September 23-25, 2014. - P. 70.

Рассматриваются (m,2)-методы решения жестких систем, в которых на каждом шаге два раза вычисляется правая часть системы дифференциальных уравнений.

36. Novikov E.A., Novikov A.E. An Algorithm of Variable Order and Step for the Dormand-Prince Method // СПбГПУ: Университетский научный журнал, №10 (2014). (Принята в печать)

С применением стадий метода Дорманда-Принса построен метод первого порядка с расширенной областью устойчивости. Сформулирован алгоритм переменного порядка и шага с выбором эффективной численной схемы по критерию устойчивости.

37. Shornikov Yu.V., Bessonov A.V., Nasyrova M.S., Dostovalov D.N. Numerical Solution of Hybrid Systems with PDE in the ISMA Simulation Environment // СПбГПУ: Университетский научный журнал, №10 (2014). (Принята в печать)

Рассмотрены вопросы моделирования окружающей среды с применением идеологии гибридных систем. Математическая модель описывается уравнениями в частных производных.

38. Новиков А.Е. Неоднородный алгоритм четвертого порядка для решения жестких задач // XI Молодёжная международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука XXI века: новый подход». – 30-31 октября 2014. – Санкт-Петербург, Россия. (Принята в печать)

Построен алгоритм переменной структуры с применением L-устойчивого и явного метода четвертого порядка.

39. Shornikov Yu.V., Myssak M.S., Dostovalov D.N. Features of Parallel Implementation of Solver in ISMA Simulation Environment // The 9th International Forum on Strategic Technology 2014 (IFOST 2014). – October 21-23, 2014. Bangladesh. (Принята в печать)

Рассмотрены вопросы параллельной реализации алгоритмов интегрирования в инструментальной среде ИСМА.

40. Shornikov Yu.V., Myssak M.S., Dostovalov D.N. Computer Simulation of Hybrid Systems by ISMA Instrumental Facilities // Book of Abstract. - International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (MMMAS '14). Saint Petersburg, State Politechnical University, Russia, September 23-25, 2014. - P. 74.

41. Shornikov Yu.V., Bessonov A.V., Myssak M.S., Dostovalov D.N. Specification and Analysis of Hybrid Systems with PDE in ISMA Simulation Environment // Book of Abstract. - International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (MMMAS '14). - Saint Petersburg, State Politechnical University Russia, September 23-25, 2014. - P. 47.

42. Novikov E.A., Novikov A.E. Variable Structure Algorithm Using Explicit and L-Stable Methods // Book of Abstract. - International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences (MMMAS '14). - Saint Petersburg, State Politechnical University Russia, September 23-25, 2014. - P. 35.

43. Новиков А.Е. Разработка алгоритмов переменной структуры для решения жестких задач: дис. ... канд. физ.-мат. наук / Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН. – 123с.

44. Достовалов Д.Н. Спецификация и интерпретация моделей переходных процессов в системах электроэнергетики: дис. ... канд. техн. наук / Новосибирск: НГТУ, 2014. – 155 с.