

## РОЛЬ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ SMART GRID

К. А. Сотников, Р. И. Ивановский, А. Н. Беляев, Ю. Г. Карпов  
(Санкт-Петербург)

### Введение

Реализация принципов Smart Grid – это процесс внедрения современных инновационных технологий, в том числе информационных и телекоммуникационных, в электроэнергетические системы для повышения их эффективности, экономичности и надежности. Инициатива создания и внедрения Smart Grid получает все более широкое распространение во всем мире: давно назрела необходимость кардинального решения проблем, связанных с крупномасштабными авариями электросетей, огромными потерями в линиях электропередач, архаичными технологиями диспетчирования и управления энергосетями, трудностями включения в энергосистему новых потребителей и альтернативных источников энергии. В России такие системы называются “интеллектуальными энергосистемами”, “умными сетями”, “активно-адаптивными энергосистемами” и т.п. Предпосылками развития электрических сетей подобного рода являются развитие распределенной генерации, появление «гибких» элементов, новые возможности аккумулирования энергии, появление новых технологии измерений, развитие информационных технологий.

Пилотные проекты по развитию интеллектуальных сетей уже появились в США, Китае, нескольких странах Европы. В России в феврале 2010 г. премьер-министр В.В.Путин поставил перед председателем правления ОАО «ФСК ЕЭС» О.Бударгиным задачу создания новой технологической платформы всей российской единой энергосистемы на базе интеллектуальных сетей. ФСК была разработана пятилетняя программа внедрения «умных» сетей [1, 2] на период 2010–2014 гг., на реализацию первого этапа которой предусмотрены инвестиции в размере 519 млрд. рублей.

*Разработка технологий Smart Grid в России – это одна из немногих технологических революций, где Россия имеет шанс идти в ногу с наиболее передовыми развитыми странами.*

Внедрение инновационных технологий в электроэнергетику отличается от подобных процессов в других сферах огромным возможным выигрышем в эффективности, но и огромными материальными потерями при внедрении неверных решений, например, в управлении электроэнергетическими системами (ЭЭС). Эти отличительные черты определяются самим объектом: его масштабностью и взаимозависимостью фактически всех параметров и характеристик единой электроэнергетической системы огромной страны. На таком объекте невозможно ставить натурные эксперименты по проверке тех или иных решений: развал электроэнергетической системы при таких экспериментах приведет к коллапсу целых районов страны. Единственным выходом в решении проблем инновационного обновления управления энергосистемой является имитационное моделирование.

### Постановка проблемы

Можно рассматривать реализацию Smart Grid как бесконечный процесс внедрения в электроэнергетические системы современных инновационных технологий. Этот процесс начался давно и будет продолжаться долго, полностью аналогично тому, как внедрение инновационных технологий происходит в автомобилестроении, телевидении, коммуникации, спорте и во множестве других сфер нашей жизни.

Такой взгляд на развитие Smart Grid накладывает определенные требования на внедрение инновационных технологий или устройств в энергосистему, он ограничивает выбор решений, которые принимаются при выполнении проектов построения или модернизации сети. Все внедряемые в электроэнергетические системы технологии и устройства должны быть согласованными и не противоречащими друг другу. Согласованность должна достигаться путем повсеместного использования четких стандартов на аппаратные и программные средства, как существующих, так и новых, разрабатываемых в процессе внедрения новых технологий.

Невозможно только локально, в одном доме или районе, внедрить, например, противоаварийное управление энергосистемой: такая инновация затронет все уровни энергосистемы: генерация, транспорт, распределение и потребление энергии. Указанная выше концепция развития четко определяет, что не существует финальной конфигурации Smart Grid, достижение которой поставит точку в ее развитии – в процессе внедрения технологии могут претерпевать изменение и модификации, ранее внедренные в ЭЭС средства будут устаревать и подвергаться модернизации.

Учитывая постоянную итеративную изменяемость Smart Grid, неотъемлемой характеристикой результатов внедрения новых технологий и элементов должно стать обеспечение целостности, надежности функционирования ЭЭС в целом, преемственности, что может быть достигнуто путем четкого задания следующих требований ко всем внедряемым решениям:

◆ *Комплексность* – каждый отдельный проект в рамках Smart Grid должен являться внедрением технологического решения «под ключ» с полным решением задач, возникающих при использовании новой технологии.

◆ *Развиваемость* – каждый отдельный проект в рамках Smart Grid должен учитывать возможные перспективы развития соответствующих технологий.

◆ *Масштабируемость* – каждый проект должен обеспечивать возможность тиражирования, расширения, использования в широком спектре подобных и смежных систем, а также использования результатов проекта в других решениях.

◆ *Согласованность* – каждый проект должен быть максимально согласован с существующими решениями, четко следовать спецификациям и стандартам в соответствующей сфере.

◆ *Системность* – каждый проект должен учитывать и анализировать влияние его внедрения на всех уровнях функционирования ЭЭС: уровнях генерирования, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

Из представленной выше концепции можно сделать вывод о том, что к традиционным характеристикам сложности задач, решаемых в области электроэнергетических систем, таким как размерность и многосвязность, фактическая невозможность проведения натуральных экспериментов, Smart Grid системы добавляют новые уровни трудности реализации, среди них:

- необходимость комплексного, системного подхода к реализации задач любого уровня сложности;

- необходимость планирования и учета влияния каждого разрабатываемого решения, каждой проводимой работы на всех уровнях функционирования энергосистем;

- необходимость всестороннего учета существующих и разрабатываемых решений и связей с ними;

- полное соответствие стандартам и нормативным документам;

- необходимость соответствия требованиям комплексности, развиваемости, масштабируемости, согласованности, системности.

Органичным способом решения обозначенных проблем является использование имитационного моделирования на этапе проектирования и разработки приложений Smart Grid. Использование моделей позволяет заменить натурные эксперименты в электроэнергетических системах компьютерными исследованиями, снизить уровень неопределенности объектов, отработать комплексные связи и зависимости, проверить решения на соответствие требованиям и стандартам.

### **Имитационное моделирование в разработке приложений Smart Grid**

Для решения задач разработки приложений Smart Grid в Санкт-Петербургском политехническом университете была создана открытая расширяемая библиотека стандартных элементов электроэнергетических систем, включающая в себя подробные модели синхронных/асинхронных генераторов, двигателей на основе дифференциальных уравнений статорных и роторных контуров и электромеханических переходных процессов; модели линий электропередач, статических нагрузок, шунтирующих реакторов; статических тиристорных компенсаторов, шунтов коротких замыканий, автоматических регуляторов возбуждения (АРВ-СД) синхронных генераторов, автоматических регуляторов частоты и активной мощности (АРЧМ); системной автоматики и т.д. Дополнительно библиотека содержит средства моделирования аварийных ситуаций различного вида и уровня, ввода/вывода потребителей и источников энергии, интерфейсы подключения «умных» устройств, а также средства визуализации моделей и управления функционированием моделей в процессе выполнения (в режиме реального времени). Все эти модели элементов ЭЭС представлены графическими образами, поэтому создание модели сложной системы состоит из построения структуры модели методом “drag-and-drop”, и последующей настройки параметров элементов. С использованием библиотеки элементов были разработаны тестовые модели для проведения базовых исследований и экспериментов.

В процессе разработки библиотеки стандартных элементов решались следующие комплексы проблем:

- ✓ Определение, выбор и анализ математических моделей элементов ЭЭС, позволяющих представлять элементы с высокой степенью точности и достоверности, а также комплексные связи между ними.
- ✓ Выбор и анализ платформ компьютерного моделирования, позволяющих создавать модели ЭЭС большой размерности и высокой степени сложности.
- ✓ Разработка универсальной открытой библиотеки компьютерных моделей типовых элементов ЭЭС различной степени детализации, позволяющей в максимально короткие сроки и минимальными трудозатратами осуществлять реконфигурацию элементов, уточнение и корректировку их математического описания, ввод моделей новых современных элементов.
- ✓ Разработка пользовательских интерфейсов, средств сбора, обработки и представления данных.
- ✓ Разработка типовых моделей реально действующих региональных энергосистем.
- ✓ Проверка достоверности, калибровка разработанных элементов и моделей.

Разработанная архитектура библиотеки и ее элементов позволяет учитывать специфику конкретных прикладных задач на единой платформе, в рамках единой базы данных, а также анализировать процессы в конкретной системе с учетом ее реальных параметров и характеристик и проводить параметризованный анализ возможных сценариев изменения, развития, изменения параметров.

Применительно к задачам разработки приложений Smart Grid имитационные модели электроэнергетических систем целесообразно использовать в качестве виртуальных объектов, способных предоставлять необходимые данные о специфических особенностях рассматриваемых систем в динамике (быстрые, медленные, переходные процессы, взаимное влияние технологий) и статике, а также проверять соответствие поведения отдельных элементов стандартам и нормативным актам. Далее в рамках настоящей публикации приведено описание двух проектов, разрабатываемых с непосредственным использованием имитационных моделей как виртуальных объектов.

### **Проект: внедрение интеллектуального управления в электроэнергетические системы (ЭЭС)**

Одним из проектов по разработке технологий Smart Grid в СПбГПУ является работа по внедрению интеллектуального управления в ЭЭС, проводимая в сотрудничестве двух кафедр различных факультетов: кафедры «Распределенные вычисления и компьютерные сети» и кафедры «Электрические системы и сети».

Цель проводимых – применение современных средств, теории и технологий моделирования, визуализации, компьютерной математики и численных методов к решению интегральных задач интеллектуального управления ЭЭС в рамках концепции Smart Grid. Эти технологии заключаются в использовании существующих и в разработке новых методов, алгоритмов и средств регулирования и противоаварийного управления в ЭЭС на основе исследований, проводимых коллективом разработчиков в течение последних 10 лет [3–7].

Используя имитационные модели (ИМ) ЭЭС в качестве виртуальных объектов, исследователь может проводить модельные эксперименты во всех режимах работы ЭЭС, без каких-либо ограничений на последствия таких экспериментов для исследуемой ЭЭС [1, 2]. Подобная свобода проведения компьютерных экспериментов обеспечивает уникальные возможности для снятия неопределенностей динамических свойств ЭЭС как объекта управления, что трудно переоценить применительно к решению широкого класса прикладных задач управления ЭЭС. Построенная библиотека имитационных моделей позволила нам решить широкий спектр задач, связанных с управлением устойчивостью ЭЭС в нормальных и аварийных режимах, а также восстановлением и самовосстановлением ЭЭС после системных аварий.

Причиной критических нарушений устойчивости в ЭЭС могут выступать как недопустимые колебания нагрузки в условиях дефицита генерируемой мощности, так и отключения (частичные или полные) линий электропередачи, например, в результате короткого замыкания. В качестве иллюстрации можно привести некоторые пути построения управлений с использованием имитационных моделей (ИМ).

Динамические характеристики операторов в основных каналах и в перекрестных связях многомерного объекта управления могут быть выявлены на ИМ ЭЭС путем реализации серии компьютерных экспериментов. В каждом эксперименте серии осуществляется возмущение  $i$ -го узла и анализируются реакции всех  $n$  узлов. Таким путем формируется  $(n \times n)$ -матрица динамики анализируемой ЭЭС,  $i$ -й столбец которой содержит реакции  $n$  узлов на возмущение в  $i$ -м узле. Существенно при этом отметить, что подобные компьютерные эксперименты должны учитывать тип задачи синтеза, которую предполагается решить, –полного или частичного синтеза. При полном синтезе моделируемый объект должен быть «очищен» от регуляторов в элементах, его составляющих. При частичном синтезе часть таких регуляторов или все регуляторы могут быть сохранены. Применительно к элементам ЭЭС целесообразно рассматривать задачи частичного синтеза, поскольку использование традиционных регуляторов (скорости вращения вала турбины, регуляторов возбуждения генераторов) является естественным.

Понятно, что задачи частичного синтеза связаны с коррекцией свойств существующих систем управления. Полученные в таких задачах регуляторы могут быть названы регуляторами-корректорами.

Анализ свойств многомерного объекта применительно к задаче частичного синтеза был проведен на основе разработанной библиотеки моделей типовых элементов ЭЭС. В процессе моделирования изменялась нагрузка на каждом из узлов, фиксировались реакции (изменения частоты и мощности) на эти возмущения. Типовая реакция (отклонение скольжения) одного из узлов ЭЭС на скачкообразное приращение нагрузки представлена на рис. 1.

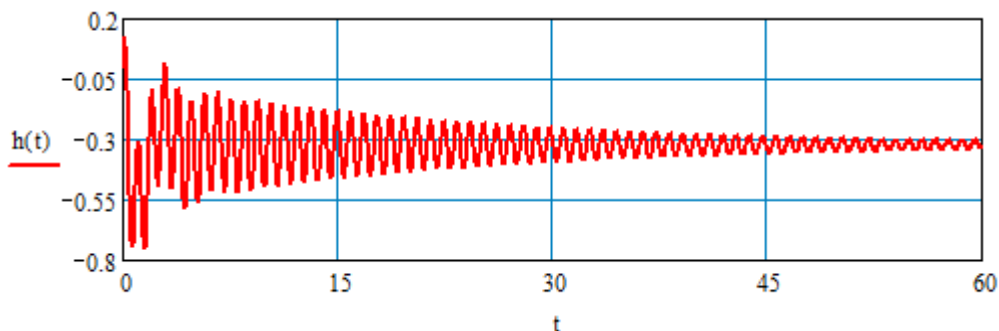


Рис. 1. Типовая реакция регулируемого узла на изменение нагрузки

Как следует из рис. 1, реакция представляет сложный колебательный процесс с амплитудой, медленно меняющейся по экспоненте. Затухание процесса происходит примерно за 60 с. Аппроксимация полученных в результате моделирования реакций звеньев многомерного объекта в основных каналах и перекрестных связях показывает, что процессы такого типа (см. рис.1) достаточно точно представляются переходными характеристиками суммы двух динамических звеньев второго порядка. Для приведенной на рис. 2 реакции подобная аппроксимация дает передаточную функцию вида

$$H(p) = \frac{-0.767p - 1.3}{p^2 + 1.028p + 3.475} + \frac{1.88p}{p^2 + 0.09p + 45.9} \quad (1)$$

Синтез управляющей части многомерной системы с объектом, передаточная матрица которого имеет элементы вида (1), представляет нетривиальную задачу. Такой синтез может быть осуществлен на основе подхода, изложенного в работе [8], основу которого составляет задание требуемой динамики замкнутой системы. Этот подход предполагает выполнение ряда последовательных этапов, среди которых:

- анализ свойств объекта управления, имеющего передаточную матрицу  $H(p)$ ;
- задание требуемых динамических свойств замкнутой системы в форме передаточной матрицы  $F(p)$ ;
- получение передаточной матрицы  $R(p)$  управляющей части;
- упрощение структуры и/или элементов матрицы  $R(p)$ ;
- анализ качества полученной системы при выбранном варианте  $R(p)$ .

Опуская детали синтеза, рассмотренные в [8], отметим обстоятельства, связанные с реализацией многомерного регулятора  $R(p)$  в структуре ЭЭС. Следует признать, что точная реализация структуры многомерного регулятора потребует организации  $(n - 1)n$  перекрестных связей между узлами ЭЭС. Подобное усложнение структуры для ЭЭС с большим числом генерирующих узлов является бесперспективным. В то же время упрощение структуры, полученной в результате синтеза передаточной матрицы  $R(p)$ , не гарантирует выполнения требований к замкнутой системе. Отсюда следует вывод о единственно приемлемом подходе, который связан с частичным (коррекционным) синтезом выбранного числа узлов ЭЭС. При этом синтез многомерного регулято-

ра распадается на  $k$  ( $k < n$ ) задач одномерного синтеза, для каждой из которых может быть применен тот же подход, опирающийся на предварительное задание требуемых свойств замкнутой системы.

Рассмотрим синтез корректора применительно к звену с передаточной функцией (1), переходная характеристика которого приведена на рис. 1. Отдельные этапы синтеза будем сопровождать копией фрагментов, полученных в среде Mathcad, интеграция ИМ с которой была осуществлена в процессе работы над проектом для осуществления символьных вычислений.

Для обеспечения астатизма процесса выработки частоты потребуем от замкнутой системы реакции  $f(t)$  на единичное воздействие (в относительных единицах), изображенной на рис. 2, а. Требуемый для этого корректор, в силу подхода, описанного в [8], будет иметь передаточную функцию вида

$$\left. \begin{array}{l} \text{convert, parfrac, p} \\ \text{float, 3} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{-.884}{p} - \frac{1.18}{p + 4.19} + \frac{14.2}{p + 2.01} - \frac{19.6}{p + 1.64} + \frac{7.41}{p + 1.06} \quad (2)$$

Переходная характеристика  $hR(t)$  такого корректора приведена на рис. 2, б (сплошная линия). Эта характеристика может быть успешно аппроксимирована. В качестве одного из приемлемых вариантов аппроксимации можно выбрать звено с передаточной функцией

$$\left. \begin{array}{l} \text{r float, 3} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{-.884}{p} + \frac{1.82}{1.2 \cdot p + 1} \quad (3)$$

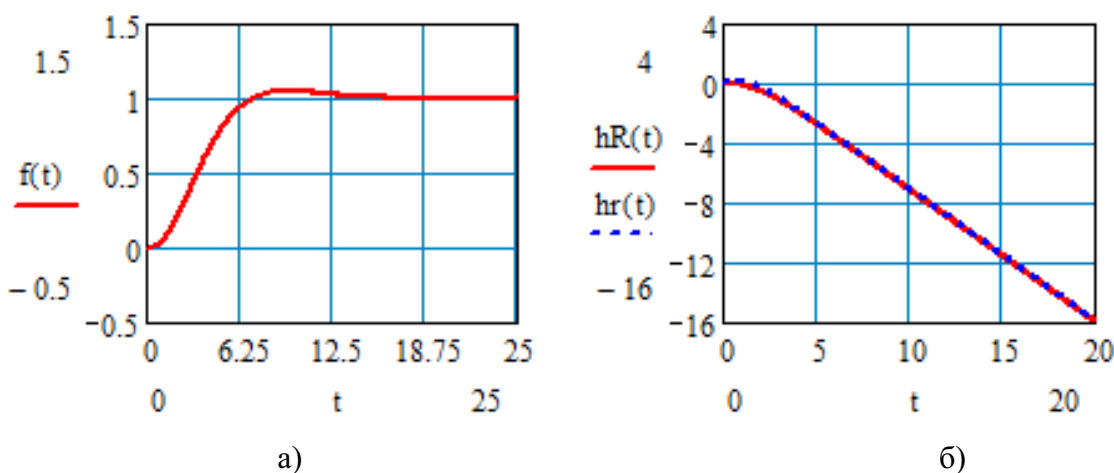
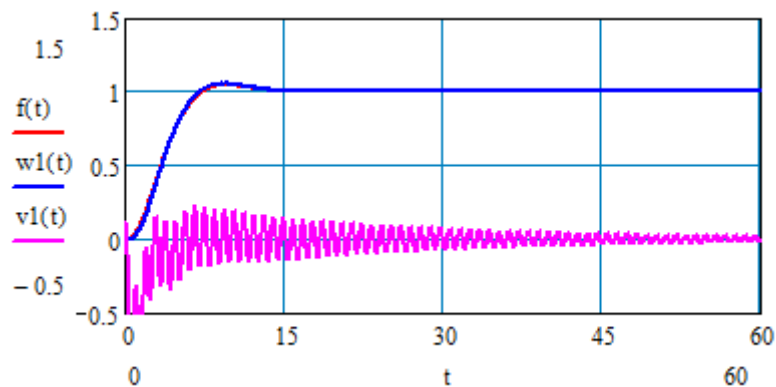
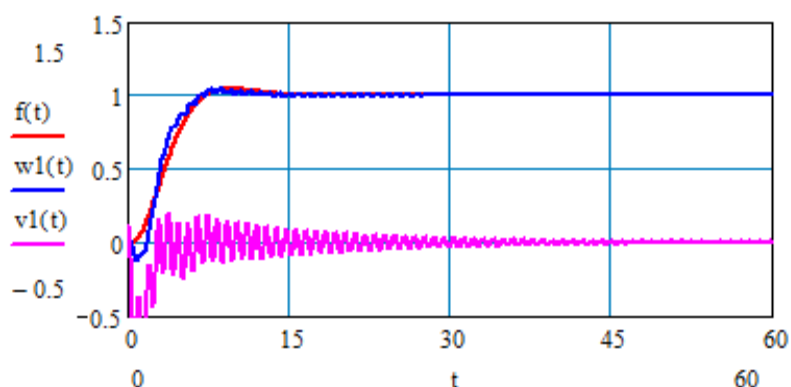


Рис. 2. Характеристика системы (слева) и корректора

Переходная характеристика  $hr(t)$  аппроксимированного корректора изображена на рис. 2, б пунктиром.

Результатирующее качество системы замкнутой системы регулирования частоты с корректорами полной  $R(p)$  и упрощенной структуры  $r(p)$  иллюстрируется рис. 3 и 4 соответственно. На графиках указанных рисунков обозначены:  $f(t)$  – заданная переходная характеристика замкнутой системы;  $wI(t)$  – переходной процесс отработки единичного задающего воздействия (уставка);  $vI(t)$  – переходной процесс отработки единичного воздействия на объект (100%-й набор нагрузки).

Рис. 3. Переходные характеристики системы с корректором  $R(p)$ Рис. 4. Переходные характеристики системы с корректором  $r(p)$ 

Сопоставительный анализ приведенных графиков иллюстрирует эффективность введения корректора в традиционную систему регулирования числа оборотов турбины. Полученные на основе описанного подхода варианты корректора обеспечивают простоту технической реализации и возможность варьирования параметров корректора в широких пределах.

Описанный подход в рамках работы над проектом был использован и для других постановок, например для синтеза системы регулирования при требованиях к реакциям системы на изменение нагрузки турбогенератора, что существенно для обеспечения высокого качества электроэнергии при суточном изменении графика нагрузок. Кроме того, для некоторых подзадач представленный подход использовался для решения проблемы построения математических и имитационных моделей элементов энергетических объектов по результатам их натурных испытаний.

В числе других проблем, решенных в рамках реализации проекта на примере реально действующих ЭЭС, были решены следующие задачи:

- создание математических моделей сложных гибридных систем электроэнергетики;
- разработка адекватных методов прогнозного моделирования;
- разработка алгоритмов управления устойчивостью;
- оптимизация уровней напряжения и потоков реактивной мощности;
- оценивание опасности «лавины напряжения»;
- выявление локальных аварийных ситуаций и самовосстановление;
- выявление колебаний и демпфирование;
- оптимизация потоков активной мощности;

- адаптация устройств релейной защиты;
- разработка алгоритмов динамической реконфигурации ЭЭС;
- разработка комплекса мероприятий по повышению устойчивости ЭЭС;
- разработка алгоритмов управления распределенными источниками и накопителями энергии;
- создание интеллектуальных тренажеров для оперативного персонала с применением имитационных моделей.

В рамках проекта были решены также многие задачи, решение которых было бы чрезвычайно осложнено без использования имитационных моделей:

- разработка систем глобального, локального регулирования и ситуационного управления;
- решение многокритериальных задач выбора местоположения и синтеза системных регуляторов, включающих в себя разработку дополнительной экспериментальной среды;
- выработки методики синтеза многомерных корректирующих устройств
- определение адекватных реакций на аварийные ситуации в целях обеспечения живучести и устойчивости системы;
- определение адекватных реакций на колебания режима нормального функционирования системы;
- выявление допустимых запаздываний в реагировании на поступившие возмущения;
- анализ вопросов «быстрого» включения и переключения элементов современных ЭЭС (балансирующие устройства, новые типы технологического оборудования).

Разработанная система имитационного моделирования динамики элементов и комплексов электроэнергетических систем позволяет учесть специфику конкретных прикладных задач на единой платформе, в рамках единой базы данных с применением средств визуализации и привязки к местности объектов ЭЭС на основе электронных карт и географических информационных систем (ГИС).

### **Проект: оценка и управление качеством предоставляемого сервиса в Smart Grid**

Данный проект направлен на разработку качественно нового подхода к оценке качества предоставляемого сервиса в ЭЭС и управления им. Использование имитационного моделирования, а конкретно так называемых «композиционных» моделей, интегрирующих в рамках единого решения различной природы, позволяет использовать применительно к ЭЭС нового поколения модифицированные алгоритмы управления качеством сервиса, широко применяемые в области управления IT-решениями, в частности при анализе и управлении качеством предоставляемого сервиса в компьютерных сетях.

В процессе работы над проектом ведется разработка методик и алгоритмов оценки и управления качеством сервиса в Smart Grid (Quality of Service, QoS) путём использования многокритериальных целевых функций, позволяющих интегрировать множество параметров энергоснабжения с учётом различных типов и категорий потребителей. Данная методика использует методики Service Level Agreements (SLA), Service Level Objectives (SLO), Balanced Scorecards (BS), алгоритмы многокритериального выбора и принятия решений на основе прогнозного моделирования. Так, использование SLA дает возможность обеспечить возможность учета универсальных метрик, позволяющих интегрировать в единую целевую функцию параметры и характеристики различной природы (например, критерии качества и параметры энергоснабжения, ценооб-



разование и взаиморасчеты, уровни потребления и генерации и пр.). Такая работа может быть выполнена только на основе имитационных моделей, использования стратегий “what-if” и встроенных в платформу имитационного моделирования методов оптимизации [8].

Внедрение представленных алгоритмов и методик, опирающихся на средства «композиционного» имитационного моделирования, позволяет решить проблемы:

- повышения эффективности ЭЭС;
- выбора и ранжирования вариантов модернизации ЭЭС в условиях ограниченных инвестиций;
- систематизации и упорядочивания взаимодействия участников энергетического рынка на всех уровнях;
- создания необходимых метрик качества энергоснабжения для участников электроэнергетического рынка в новых условиях;
- объективной оценки качества фрагментов Smart Grid на основе единых критериев;
- дополнения ЭЭС такими ключевыми характеристиками как безопасность (обеспечение устойчивости, качество регулирования и управления), эффективность (управление генерацией и нагрузкой, распределение потоков мощности и пр.) и выгода за счет появления структурированного и прозрачного договорного механизма, учитывающего весь спектр показателей качественного энергоснабжения.

Предлагаемый подход, основанный на сочетании метрик и алгоритмов оценки качества предоставляемого сервиса и «композиционного» имитационного моделирования позволяет получить качественно новое, интегрированное решение актуальных проблем оценки и управления качеством сервиса в сфере современной электроэнергетики.

### Заключение

Использование имитационного моделирования позволяет получить решение ключевых задач разработки и внедрения Smart Grid, связанных именно с проблемами “интеллектуального управления” ЭЭС. Безусловно, круг тех задач, которые могут быть решены в данной области с использованием имитационного моделирования, не ограничивается представленными в данной публикации. Имитационные модели могут и должны быть применены, в частности, в задачах планирования внедрения элементов, координации технологий на физическом и информационном уровне, проверки решений с точки зрения безопасности и устойчивости, тестирования интерфейсов взаимодействия и моделей информации и пр. Мы считаем, что внедрение технологий Smart Grid должно происходить в условиях тесного взаимодействия специалистов в области энергетики и информационных технологий с широким использованием имитационных моделей на разных уровнях планирования, разработки и внедрения.

### Литература

1. ФСК ЭЭС: новый вектор развития сетей // Энергоинфо. 2010. №11 (46).
2. **Бударгин О. М.** Умная сеть – платформа развития инновационной экономики // Корпоративный сайт ОАО «ФСК ЭЭС». 2010 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Microsoft PowerPoint. – URL: [http://www.fsk-ees.ru/media/File/press\\_centre/speeches/Presentation\\_budargin.pdf](http://www.fsk-ees.ru/media/File/press_centre/speeches/Presentation_budargin.pdf) (дата обращения: 10.09.2011).
3. **Беляев А. Н., Смолвик С. В.** Программирование на примере электротехнических и электроэнергетических задач: Учебное пособие. СПб: СПбГТУ, 2000. 74 с.

4. **Карпов У., Ivanovski R., Попов D., Voropai N.** Hierarchical Modeling of Electric Power System Expansion by AnyLogic Simulation Software // IEEE Conf on Electric Power Systems. St.Petersburg, 2005.
5. **Ивановский Р. И., Савков В. К.** Имитационное моделирование энергосистем. Проблемы и возможности // Электросистемы. 2005. № 2–3. С. 18–20.
6. **Ивановский Р. И., Нестеров А. В.** Синтез многомерных систем управления. Проблема устойчивости // Тр. Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2005). СПб: СПбГЭТУ. 2005. Т. 2. С. 62–66.
7. **Ивановский Р. И., Нестеров А. В., Сотников К. А.** Противоаварийное управление в электрических сетях на основе имитационных моделей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. СПб: СПбГПУ. 2008. № 2.
8. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 435 с.