

Центр энергетических систем Сколтеха

*2-я международная конференция
Центра Сколтеха по Энергетическим Системам совместно с
Международным Институтом Интеграции Энергетических Систем
(International Institute for Energy Systems Integration, iiESI)*

Перспективы интеграции тепловой, газовой и электрической энергосистем

Гостиница «Хилтон Ленинградская», Москва, 30–31 мая 2016 г.

**ИНТЕГРАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ОХЛАЖДАЮЩИХ,
НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ И ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК: ОТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДО ГОДОВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ**

Альдо Биски (Aldo Bischi), Центр Сколтеха по энергетическим системам (Россия)

Представленная работа была проведена автором совместно с Группой по преобразованию энергии и технологическим исследованиям Миланского технического университета (GECOS).

Планирование оптимальных графиков нагрузки комбинированных охлаждающих, нагревательных и генераторных установок (система тригенерации) обеспечивает рациональное использование первичных энергоресурсов с одновременной выработкой тепловой и электрической/механической энергии и охлаждающим эффектом. Для должного функционирования системы тригенерации можно использовать различные типы первичных источников энергии, начиная от микротурбин и заканчивая парогазовыми турбинами комбинированного цикла. Они могут быть выражены сильно нелинейными кривыми рабочих характеристик, описывающих их нештатное поведение, и наличием более чем одной независимой оперативной переменной, так называемой “степенью свободы”; их производительность также зависит от температуры окружающей среды. Возможна интеграция первичных источников энергии со вспомогательными котлами, тепловыми насосами и возобновляемыми источниками энергии. Кроме того, свою роль играют такие факторы как длительность работы/отключения, аккумулярование тепловой и/или электрической энергии, а также национальная политика стимулирования; это означает, что каждый временной шаг невозможно оптимизировать отдельно, при этом расчет следует выполнять на более длительный период времени — вплоть до года.

В связи с большим числом искомых переменных и необходимостью определения компромиссных вариантов, этапы проектирования предприятий тригенерации с несколькими технологическими блоками требуют разработки специальных средств оптимизации. Эти цели были достигнуты посредством разработки смешанной модели частично-целочисленного линейного программирования (MILP) путем линеаризации нелинейных задач. Для выполнения задачи был использован комплексный подход, исследованы способы уменьшения числа целочисленных переменных, например, по принципу суперпозиции, а предложенная модель была расширена с помощью эвристического алгоритма планирования по скользящим показателям на весь год.

Центр энергетических систем Сколтеха

ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Риохи Йокойама (Ryohei Yokoyama), кафедра машиностроения Университета префектуры Осака (Япония); **Юджи Синано (Yuji Shinano)**, кафедра математической оптимизации Института Цузе в Берлине (Германия)

Для достижения высоких уровней производительности распределенных энергетических систем важно рационально определить технические характеристики их конструкции с учетом действующих стратегий, соответствующих колебаниям спроса на энергоносители. Первый автор продолжил разработку подходов к оптимальному проектированию распределенных энергетических систем, используя частично-целочисленное линейное программирование (MILP). Тем не менее, подобные вопросы оптимизации приобретают крупные масштабы по мере усложнения конфигураций системы, а также увеличения числа периодов, что затрудняет рассмотрение колебаний спроса на энергоносители. Таким образом, эти вопросы не всегда могут быть решены в рамках приемлемого времени расчета даже при использовании всех доступных в настоящее время программ решения MILP. За последнее время совместные попытки специалистов различных областей решить данную задачу увенчались некоторыми плодотворными результатами.

Самое важное — это решить вышеупомянутые задачи оптимизации в течение приемлемого времени расчета. Во-первых, авторы разработали способ эффективного решения задач оптимизации с учетом иерархической взаимосвязи конструктивных и эксплуатационных переменных. Однако этот способ позволяет получить не более чем оптимальное решение, которое минимизирует значение целевой функции аналогично большинству остальных способов оптимизации. В отношении конструктивного исполнения важно получить не только одно оптимальное решение, но еще и решения, приближенные к нему без каких-либо упущений (так называемые *K-best solutions*). Во-вторых, авторам удалось расширить упомянутый способ с тем, чтобы можно было получить решения, приближенные к оптимальному (*K-best solutions*). Тем не менее, эти способы можно применить с целью оптимизации конструкции распределенных энергетических систем при определенных условиях. С учетом того, что на стадии проектирования некоторые условия неоднозначные и неопределенные, особенно энергетические потребности, важно получить надежное решение, применимое в неопределенных условиях. В-третьих, авторы применили этот способ для получения оптимальной надежной конструкции при неопределенных потребностях в энергии исходя из критерия минимаксного сожаления. Авторы расскажут о результатах таких исследовательских работ, направленных на оптимизацию конструкции распределенных энергетических систем.

СВЯЗАННЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И УСЛОВИЯ СНАБЖЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Пол Альберг Остергаард (Poul Alberg Østergaard), кафедра развития и планирования Ольбургского университета (Дания)

Центр энергетических систем Сколтеха

Энергетические системы будущего должны функционировать на основе возобновляемых источников энергии с их обязательным комбинированием с целью обеспечения взаимодействия между традиционно разделяемыми подсекторами энергетики, а также они должны быть гибкими, чтобы реагировать на изменения спроса и предложения различных неустойчивых возобновляемых источников энергии. Анализы продемонстрировали, как такие «умные» энергетические системы могут покрыть потребности в электроэнергии, а также потребности в энергии в сфере перевозок и услуг теплоснабжения (охлаждение/нагрев), которые предоставляются в Дании. Балансировка энергетической системы с высоким временным разрешением остается проблемой, особенно когда энергетические системы разработаны для условий сильно ограниченной доступности биомассы. Гибкость спроса в секторе электроэнергетики имеет ограниченную выгоду для балансировки системы, однако сочетаемость с потребностями теплоснабжения и транспортировки позволяет добиться преимуществ в использовании недорогих накопителей энергии и гибкого спроса в этих секторах.

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ГАЗ ДЛЯ ЗАДАЧИ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Умберто Дезидери (Umberto Desideri), кафедра энергетики, систем, территориального планирования и гражданского строительства Пизанского университета (Италия)

Существует острая необходимость накопления энергии, получаемой от неустойчивых возобновляемых источников энергии в системах, способных обеспечить подачу этой энергии в разное время. Не существует универсальной конструкции накопителя энергии, которая подходила бы для всех вариантов продолжительности накопления энергии: короткой, средней и длительной. Некоторые готовые решения сводятся к использованию аккумуляторов, но использование их для ежедневного накопления энергии или на недельный срок будет неоправданно дорого.

В презентации основное внимание будет акцентировано на нескольких электрогазовых технологиях с высокой циклической эффективностью, которые позволяют накапливать энергию либо на недельный срок, либо для ее использования в получении топлива для транспортных средств.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ, ВКЛЮЧАЯ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Витторио Верда (Vittorio Verda), кафедра энергетики Туринского политехнического университета (Италия)

Центр энергетических систем Сколтеха

Сети централизованного теплоснабжения представляют собой важную инфраструктуру, необходимую для осуществления эффективного отопления и предоставления бытовых услуг горячего водоснабжения в зданиях, расположенных в городских районах. В современных сетях централизованного теплоснабжения используются отработанное тепло, возобновляемые источники энергии и тепло от когенерационных теплоаккумулирующих систем. Помимо этого, управление, осуществляемое за счет использования современных ИКТ-решений, способно свести к минимуму глобальное потребление первичной энергии и способствует повышению уровня информированности конечного потребителя.

Средства подробного динамического моделирования системы «термос-жидкость» могут быть чрезвычайно важными для оптимального управления современными системами централизованного теплоснабжения. К вопросам, решаемым с помощью средств моделирования, относятся следующие: снятие пиковых нагрузок, подбор рабочих температур, эксплуатация в случае возникновения неисправностей, управление накопителем. Важным требованием является возможность оперативно выполнять процедуры моделирования, даже в случае сложных сетей.

Данная презентация имеет целью продемонстрировать детальную процедуру моделирования, которая может быть применена к крупным сетям централизованного теплоснабжения с учетом их различных аспектов, таких как водораспределение, организация производства, проектирование и управление накопителем, а также особенности здания. Вся сеть представлена в виде магистрального трубопровода с ответвлениями по форме дерева или циклической сети, а также различными подсетями, с помощью которых осуществляется подвод воды от главной сети к каждому отдельному зданию. Модель магистрального трубопровода выполнена с учетом потока жидкости и переходных процессов переноса тепла. Модели подсетей представляют собой уменьшенный вариант полноразмерной модели. Накопители моделируются на основании уменьшенных моделей, полученных из подробных расчетных динамических моделей жидкости. Для моделирования зданий используются компактные модели, данные для которых получены в результате измерений на тепловых подстанциях и проверены посредством измерений в помещениях и с помощью детализированных моделей.

Принцип моделирования применялся к анализу переходных процессов в сети централизованного теплоснабжения города Турина. Объем потребления тепловой энергии рассчитан исходя из измерений температуры и скорости массового расхода на тепловых подстанциях с интервалом шесть минут. Теплогидродинамическое моделирование позволяет получить соответствующие профили тепловых нагрузок различных тепловых электростанций. Результаты показывают, что пик потребления вызван снижением температуры во всей системе, вызванным уменьшением потребления в ночное время. По причине адвекции воды по сети и тепловых потерь, формы и амплитуды пика на станции полностью отличаются от таковых у конечного пользователя.

Сравнение выходных данных моделирования и экспериментальных результатов показывает, что модель способна предсказать работу теплосети с хорошей точностью. Таким образом, с помощью данного моделирования можно исследовать влияние вариаций, полученных за счет «ночного затухания» или с учетом работы локальных

Центр энергетических систем Сколтеха

накопителей, на глобальную тепловую нагрузку сети во время запуска переходного процесса на основании профилей потребления определенных групп пользователей.

Показано, что предлагаемый способ моделирования представляет собой универсальный и важный инструмент реализации расширенного управления системами централизованного теплоснабжения.

ГИБКОСТЬ СИСТЕМ В СВЯЗАННЫХ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОСИСТЕМАХ

Хенрик Мадсен (Henrik Madsen), кафедра прикладной математики и компьютерных наук Датского технического университета (Дания)

В докладе описаны способы увеличения гибкости за счет интеллектуальной интеграции систем генерации тепла и электроэнергии. Большинство примеров взяты из текущего исследовательского проекта CITIES (центр ИТ-интеллектуальных энергетических систем), реализуемого в Дании. В рамках данного проекта была разработана концепция под названием «Операционная Система Smart-Energy (SE-OS)», используемая для реализации большого количества решений по гибкости энергосистем. Эта концепция изложена в докладе, и показаны варианты обеспечения гибкости в случае прямого и непрямого (на основе цены) управления силовой нагрузкой. Будут использоваться примеры по системам охлаждения и обогрева.

МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ГАЗА

Сухарев М.Г., Косова К.О., Попов Р.В., Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (Россия)

Рассмотрена задача оптимального управления большими системами магистрального транспорта газа. Отмечена целесообразность учета аккумулирующей способности труб при моделировании крупномасштабных систем газоснабжения.

Для моделирования нестационарных режимов течения газа предложена модель с сосредоточенными параметрами. На базе этой модели сформирована система обыкновенных дифференциальных уравнений для имитации нестационарных течений по трубопроводной системе произвольной конфигурации.

Предложен метод интегрирования этой системы. Приведен пример закольцованной системы газоснабжения, иллюстрирующий адекватность предлагаемой модели.

Дана математическая формулировка проблемы диагностики технического состояния оборудования большой трубопроводной системы при нестационарном течении газа. Оценка технического состояния сведена к решению задачи условной оптимизации. На базе модели с сосредоточенными параметрами сформулирован метод решения оптимизационной задачи. Алгоритм применен к идентификации закольцованной

Центр энергетических систем Сколтеха

системы газоснабжения. Путем вычислительного эксперимента показана быстрая сходимость алгоритма.

Изложена концепция управления большой трубопроводной системой. Указано на возможность ее применения к исследованию процесса «развала» системы.

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТРАНСПОРТНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ ВПРЫСКАХ ВОДОРОДА

Стефано Кампанари (Stefano Campanari), кафедра энергетики Миланского политехнического университета (Италия)

В ближайшем будущем сети снабжения природным газом столкнутся с увеличением доли альтернативных видов топлива (биогаз, водород), внедряемого в дополнение к традиционному природному газу. Действительно, такой вариант развития будет пользоваться успехом у конечного потребителя как тепловой, так и электрической энергии, особенно если учесть его положительное влияние на уменьшение выбросов CO₂ в атмосферу. Биогаз уже широко производится и может быть легко превращен в биогаз; водородные технологии все еще на стадии разработки, но они могут способствовать использованию возобновляемых источников энергии, которые становятся все более и более доступными. Перспективным решением проблемы, связанных с непрогнозируемыми колебаниями производства возобновляемых источников энергии (в частности, ветропарков) или выработкой энергии, превышающей нагрузку, является производство водорода путем электролиза и его последующая закачка в сети снабжения природным газом. При таком сценарии необходимо изучить воздействие на проектирование и управление транспортной инфраструктурой, а также необходимо выполнить анализ выполнения требований к составу и параметрам качества как в стационарном, так и в динамическом режимах с отслеживанием качества газа ниже по потоку точки впрыскивания альтернативных видов топлива. Разработана модель имитации условий эксплуатации участка газовой сети в неустановившемся режиме; разработан новый подход к выработке энергии на основе традиционного учета объема расхода, в том числе и переменного состава проходящего по трубам газа, что позволяет рассматривать постоянную подачу энергии потребителям как ограничение. После сверки с имеющимися оперативными данными выполняется моделирование конкретных случаев с учетом концентрированных реалистичных бытовых и промышленных отводных линий. Эффект впрыска водорода, который зачастую не учитывается при проектировании сети снабжения природным газом и в операционных анализах, исследуется с точки зрения состава, скорости потока и профилей давления путем сравнения с эталонными условиями подачи природного газа. Анализ показывает, насколько соблюдаются установленные пороги качества, не игнорируя влияние на теплотворную способность, индекс Воббе и плотность; результаты указывают на то, что разрешенные водородные фракции ограничены и очень чувствительны к профилю и размерам отводных линий, подключенных к трубопроводу. В ходе обсуждения приводятся свидетельства возможного влияния впрыска водорода на учет расхода газа и ошибки измерения.

Центр энергетических систем Сколтеха

**МНОГОУРОВНЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ
БОЛЬШИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ**

Алексеев А.В., Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И., Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) Сибирского отделения Российской академии наук (Россия)

В докладе на фоне краткой характеристики проблем и возможностей интеграции систем энергетики (электро-, тепло-, газо-, водоснабжения и др.) излагается разработанная в ИСЭМ СО РАН методика многоуровневого моделирования трубопроводных систем (ТПС). Методика предполагает применение этапов декомпозиции ТПС на подсистемы и координации решений, полученных для каждой из них. Эффективность методики иллюстрируется на примере систем теплоснабжения крупных городов, а ее универсальность на примере задач расчета режимов и их оптимального планирования. Обсуждаются возможности применения такого подхода для анализа и оптимизации режимов интегрированных систем, включающих системы разного типа и назначения.

**ОПТИМИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ —
ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОБЛЕМ В ЭЛЕКТРО-, ГАЗО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ**

Михаил Чертков, Центр Сколтеха по энергетическим системам (Россия)

Начну с краткого обзора трех на первый взгляд несвязанных между собой тем:

- (а) восстановление топологии в системах распределения электроэнергии (при помощи машинного обучения под руководством физиков);
- (б) моделирование распространения теплового фронта по теплофикационным магистралям (статистическая гидродинамика); и
- (в) динамическая оптимизация систем подачи природного газа, подверженных условиям неопределенности (исходя из монотонности газового потока).

Затем я выскажу предложения о том, как подключить эти три (или, по крайней мере, две из них) вышеупомянутые энергетические инфраструктуры в масштабах мегаполиса, например в Москве или Иркутске, и как извлечь выгоду из их комбинированного функционирования.

**ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖДУ ПРОЦЕССАМИ РЕГУЛЯЦИИ И ФИЗИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ**

Торстен Кох (Thorsten Koch), кафедра научной информации и математической оптимизации Института им. Цузе г. Берлин; Институт математики в Техническом университете Берлина (Германия)

Центр энергетических систем Сколтеха

Природным газом покрывается приблизительно 25% энергетических потребностей Европы.

С целью усиления конкуренции Европейский Союз внедрил сложную систему регулирования на рынке газа. В этих условиях Германия решила положить конец использованию ядерной энергетики и осуществить энергетический поворот.

В то время как на возобновляемые источники энергии приходится львиная доля всей поставляемой электроэнергии, разработан план, который предусматривает поглощение пиковых нагрузок от электрической сети газовыми электростанциями.

За счет диверсификации транспортировки газа и торговли газом в ЕС, операторам транспортной системы сейчас требуется обеспечивать постоянные большие объемы газа для новых электростанций в очень короткий срок. Расширение сети стоит около 1 млн евро за километр. С этой ситуацией можно гораздо более эффективно справиться, не выходя за рамки законодательства, если использовать существующие возможности для разработки функционально нового контракта.

Но это также означает, что необходимо найти надежное решение задачи масштабной стохастической частично-целочисленной нелинейной оптимизации на каждый день. В докладе мы опишем некоторые из физико-технических фундаментальных принципов газовых сетей, учитывая требования законодательства и коммерческое потребление, для описания возможных решений.

МЕТАМОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ГАЗОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Ричард Картер (Richard Carter), DNV GL (США)

Проектирование и эксплуатация нефте-и газопроводов сопряжены с бесчисленным множеством задач моделирования и оптимизации, многие из которых остаются неразрешимыми.

Различными авторами применяется широкий выбор упрощений с целью сведения частных вопросов к формам, решаемым при помощи современных методологий и оборудования. Такие упрощения иногда полезны и даже необходимы, но в других конкретных случаях они могут отдалить решение задачи оптимизации, что по сути неприемлемо. Например, у общих теоретических моделей компрессорных станций зачастую мало общего с моделями, разработанными на основании фактической производительности устройства. Если ограничения компрессорной станции являются обязательными ограничениями в задаче оптимизации, то серьезные ошибки в представлении этих ограничений непосредственно повлекут за собой еще большие ошибки при расчете достижимых пределов эксплуатации трубопровода.

Детальное моделирование работы станции требует дорогостоящих расчетов и зачастую его структура трудно вписывается в задачи оптимизации. Рассматриваются пути метамоделирования компрессорных станций путем замены расчетной модели по всей оперативной области, представление которой строго ограничивается *границами* работы станции. Использование только граничной модели в пределах оперативной области

Центр энергетических систем Сколтеха

позволяет устранить некоторые проблемы, связанные с общим моделированием. Более того, такая задача легко решается путем вычислений, особенно при сравнении с параллельной установкой. Тем не менее, есть риск возникновения новых проблем. Плюсы и минусы такого подхода обсуждаются.

ИНТЕГРИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ СПРОСОМ НА ЭНЕРГИЮ ИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ, ПОДКЛЮЧЕННЫХ К СИСТЕМАМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Дитер Патью*; **Кеннет Брунинкс***; **Алессиа Артеconi+**; **Эрик Деларю***; **Вильям Д'Аеслир***; **Лив Хельсен*** (**Dieter Patteeuw***; **Kenneth Bruninx***; **Alessia Arteconi+**; **Erik Delarue***; **William D'haeseleer***; **Lieve Helsen***)

* **Левенский католический университет (Бельгия)**

+ **Университет eCampus (Италия)**

Управление активным спросом (ADR) может способствовать более экономичной эксплуатации и инвестициям в электроэнергетическую систему, обеспечивая гибкость, достаточную для сглаживания прерывистого характера некоторых форм возобновляемых источников энергии, таких как ветер. К одной из перспективных групп спроса в свете управления активным спросом (ADR) из области технологий относятся системы электроотопления. Эти системы способны изменить собственную картину электрических нагрузок, не затрагивая услугу предоставления конечной тепловой энергии, которую они предоставляют благодаря тепловой инерции в системе. Одним из основных остающихся препятствий на пути масштабного внедрения схем ADR является отсутствие полного понимания взаимодействия между спросом и предложением электроэнергетической системы и ее возможных преимуществ для потребителей и производителей. Таким образом, в данной презентации объясняется интегрированная модель электроэнергетической системы, включающая в себя электрические системы отопления (тепловые насосы и вспомогательные резистивные нагреватели), с учетом ADR. При этом учитывается динамика и ограничения как спроса, так и предложения электроэнергетической системы. Эта презентация покажет, что только такие интегрированные модели системы способны одновременно учитывать все технические ограничения и ограничения удобств, присутствующих в общей системе. Это позволяет точно оценить преимущества и принципы взаимодействия спроса и предложения по схемам ADR. Далее мы проиллюстрируем эффекты, не охватываемые при помощи традиционных упрощенных подходов к отображению спроса (например, модели ценовой эластичности и модели виртуальных генераторов), и предложения (например, профили цен на электроэнергию и модели порядка ранжирования). На основании полученных результатов мы сформулируем некоторые выводы, которые могут помочь разработчикам моделей в выборе подхода, который лучше всего подходит для задачи, которую они хотят изучить, в оценке сложности и детализации модели.

Центр энергетических систем Сколтеха

ИНТЕГРАЦИЯ НЕУСТОЙЧИВЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ: ПРОБЛЕМЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ

**Марк О'Мейли (Mark O'Malley), Школа электрической и электронной инженерии
Дублинского университетского колледжа (Ирландия)**

Увеличение применения неустойчивых возобновляемых источников энергии в электросетях приводит к дополнительным изменениям инфраструктуры. В первую очередь изменения необходимы для инфраструктуры сетей передачи и распределения электрической энергии. При этом также затрагиваются и другие инфраструктуры, например, появляется необходимость более гибкой выработки энергии, подключение к другим энергетическим инфраструктурам, таким как системы теплоснабжения.

СВЯЗАННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ОТОПЛЕНИЕ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКА

**Филип Тейлор, Школа электрической и электронной инженерии Университета
Ньюкасла (Великобритания)**

Фил охарактеризует некоторые проекты, действующие в Великобритании, и коснется вопроса взаимодействий и взаимозависимостей систем отопления, энергетики и транспортировки, а также обоснует необходимость общего подхода ко всей совокупности систем. Энергетические системы имеют жизненно важное значение для будущего британской промышленности и общества. Тем не менее, трилемма энергетических систем ставит множество сложных взаимосвязанных задач. Способы моделирования и воссоздания современных интегрированных энергетических систем имеют ряд недостатков, которые подрывают их способность к разработке и формулировке решений по усовершенствованиям в политике и планировании, тем самым препятствуя получению Великобританией огромных потенциальных выгод. Существующий подход характеризуется высокостатическими моделями, которые дают ответы или прогнозы, чрезвычайно подверженные набору критических упрощающих допущений и по этой причине нельзя им приписывать высокую степень достоверности. Они неспособны обеспечить достаточно точные или детальные, комплексные представления из физики, инженерии, социальных, пространственно-временных или стохастических аспектов реальных энергетических систем. Также предпринимаются всевозможные попытки сформировать надежные долгосрочные планы в условиях неопределенности коммерческих и технологических разработок и последствий изменения климата, поведенческой динамики и технологических взаимозависимостей.

В ходе презентации будут обсуждаться следующие проекты полномасштабных многовекторных энергетических систем:

Научный центр: геотермальные скважины, ТЭЦ, сети отопления и охлаждения, заправки для электромобилей и моделирование аккумулирования энергии в масштабе электросетей на испытательном стенде

Центр энергетических систем Сколтеха

Многоэтажные сообщества: исследование вопроса газо- и энергопотребления в многоэтажных сообществах

Фермерское хозяйство Cockle Park (Кокл Парк): анаэробное дигерирование с комбинированным производством тепловой и электрической энергии, сдвоенные конвертеры и вторая жизнь аккумулятора для электромобиля.

ОЦЕНКА ДЕФИЦИТА ГАЗА В КОМБИНИРОВАННЫХ ГАЗО-ЭЛЕКТРО СЕТЯХ

Константин Турицин, кафедра инженерной механики Массачусетского технологического института (США)

В настоящее время множество энергетических систем во всем мире переживают одновременно увеличение доли газовых и возобновляемых источников энергии. В итоге усиливающаяся связанность энергетических систем и газораспределительных сетей через газовые генераторы представляет дополнительные риски для системы. В частности, чрезмерное использование топлива на газовых электростанциях может привести к превышению пределов давления газа и привести к дефициту поставок газа. Мы разрабатываем вычислительную структуру, характеризующую области решений по распределению работы генератора для поддержания целесообразности системы газоснабжения. Предлагаемая алгоритмическая структура имеет модульное исполнение — она реализуется путем координированного выполнения сценариев многократной выработки внутри модулей моделирования подачи электроэнергии и газа. Монотонная зависимость давления газопровода на скорость отбора газа позволяет установить и оформить регионы целесообразности/нецелесообразности подключения газопроводов.

ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ВЛИЯНИЕ НА ЦЕЛОСТНОСТЬ ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМ

Джеймс МакКалей (James McCalley), кафедра электротехники и вычислительной техники Университета штата Айова (США)

Традиционные тепловые электростанции в течение многих десятилетий успешно применяются для стабильно надежного и низкоч затратного получения электроэнергии, но некоторые типы электростанций, в частности, работающие на угле, заменяются нетепловыми возобновляемыми источниками энергии (ветер, солнечные фотоэлектрические панели и вода). Несмотря на то, что производство электроэнергии с помощью нетепловых возобновляемых источников энергии будет продолжать расти, сохраняется значительный потенциал задействования тепловых электростанций, использующих природный газ, биовозобновляемые источники энергии, геотермальную и концентрированную солнечную тепловую энергии, а потенциал гибридных энергосистем (HES) становится еще более привлекательным. Мы заинтересованы в разработке гибридных энергосистем (HES) в качестве технологий с разнообразием

Центр энергетических систем Сколтеха

опций ввода и выбора топлива, интегрированных с тепловыми накопителями для полигенерации тепла, электроэнергии и транспортировки топлива. В этом докладе мы опишем эти технологии с точки зрения их компонентов, потенциальных топологий, а также различных способов их развертывания. Мы также покажем насколько широкомасштабное развертывание HES может благотворно сказаться на четырех свойствах целостной системы: гибкость, надежность, устойчивость и адаптивность.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗАННОЙ РАБОТЫ ГАЗОСНАБЖАЮЩЕЙ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ РОССИИ

Сендеров С.М., Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) Сибирского отделения Российской академии наук (Россия)

В презентации рассматриваются особенности взаимосвязанной работы системы газоснабжения и электроэнергетической системы России при чрезвычайных ситуациях (ЧС) в газотранспортной сети. Приведены основные технологические характеристики обеих систем. Представлены тематические модели функционирования газовой отрасли, сформулированные с позиций требований минимизации дефицита ресурса у потребителей в различных условиях работы системы. Все исследования возможностей работы газотранспортной системы России в условиях ЧС проводились с использованием программно-вычислительного комплекса (ПВК) «Нефть и Газ России», разработанного в ИСЭМ СО РАН.

Газотранспортная система России характеризуется значительным числом крупных пересечений магистральных газопроводов. В качестве возможного варианта реализации ЧС избраны возможные нарушения работы отдельных крупнейших пересечений магистральных газопроводов. В результате модельных итерационных исследований были получены величины дефицита природного газа в некоторых регионах страны при усредненной аварии на крупнейших пересечениях магистральных газопроводов. Средствами экономико-математической модели ТЭК федеральных округов России, разработанной в ИСЭМ СО РАН, были оценены возможные объемы выработки электроэнергии по регионам страны и проведен анализ распределения возможных дефицитов электроэнергии. Показано, что дефицит электроэнергии может наблюдаться в регионах с существенной долей электроприводных компрессоров на компрессорных станциях (КС) магистральных газопроводов. Недопоставка электроэнергии на электроприводные КС региона влечет за собой снижение пропускной способности соответствующих магистральных газопроводов. Такое дополнительное негативное воздействие на газотранспортную систему способно увеличить дефициты газа в отдельных регионах. В работе сделан вывод о необходимости уменьшения зависимости работы газотранспортной сети России от систем электроэнергетики и необходимости уменьшения количества электроприводных компрессорных станций.

Центр энергетических систем Сколтеха

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ЭНЕРГИИ****Пьерлуиджи Манкарелла (Pierluigi Mancarella), Школа электрической и
электронной инженерии Университета Манчестера (Великобритания)**

В то время как Smart Grid («умные сети») является ключевым понятием для перехода к устойчивой энергетической системе, декарбонизация всего энергетического сектора требует переосмысления роли электричества в более широком контексте. В частности, это относится к взаимодействию с системами отопления, охлаждения и транспорта (на долю которых приходится внушительная часть всех выбросов парниковых газов) с точки зрения конечного потребителя, а также с различными видами топлива (и природным газом, в частности) с точки зрения предложения. В этой связи, развивающаяся в настоящее время концепция мультиэнергетических систем (MES), к которым также относятся интеллектуальные здания, интеллектуальные сообщества и интеллектуальные города, способна высвободить в некоторой степени сокрытые возможности электроэнергии и участвовать в открытии новых форм гибкости, которые могут иметь важное значение в построении будущих сетей. С другой стороны, значительные проблемы возникают и в связи со сложностью моделирования, а затем в связи с эксплуатацией и планированием такой интегрированной системы.

Данный доклад нацелен на обзор некоторых научно-исследовательских работ, проводимых в Университете Манчестера по этой теме в течение нескольких лет, в частности, по вопросам распределенных мультиэнергетических систем. В презентации поднимаются следующие вопросы: моделирование нагрузки мультиэнергетических систем в жилых районах; интегрированный поток нагрузки и оптимальный анализ потока мощности электроэнергии, тепла и газовых сетей; мультисервисная совместная оптимизация распределенных мультиэнергетических систем (когенерация, тригенерация, накопление энергии, тепловые насосы и т.д.); и планирование гибкого расширения распределенных мультиэнергетических систем в условиях неопределенности. В географическом плане преимущественно будут охвачены районы и небольшие города с возможностями для моделирования на уровне большого города.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ****Н.И. Воропай, В.А. Стенников, Е.А. Барахтенко, О.Н. Войтов, Институт систем
энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) Сибирского отделения Российской
академии наук (Россия)**

Современные города и промышленные центры имеют развитую энергетическую инфраструктуру, включающую электроснабжающие, тепло/хладоснабжающие и газоснабжающие системы. Целью функционирования этих систем является обеспечение эффективного энергоснабжения потребителей с требуемым уровнем надежности и приемлемым качеством. Объединение разнотипных систем энергоснабжения в единый технологический комплекс обеспечивает реализацию

Центр энергетических систем Сколтеха

новых функциональных возможностей, применение более совершенных технологий в эксплуатации и создание интегрированных систем энергоснабжения с координированным управлением их режимами. В рамках доклада будет представлена технологическая архитектура интегрированных систем энергоснабжения. Рассмотрены проблемы и условия интеграции энергетических систем. Приведены результаты исследований интегрированных систем энергоснабжения. Определены наиболее слабые места при формировании интегрированных систем энергоснабжения и даны рекомендации по их устранению.

СМАРТ ЗАКУПКА ЕСТЕСТВЕННО ГЕНЕРИРУЕМОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (SPONGE FOR PHEV'S)

Роберт Шортен (Robert Shorten), Школа электрической и электронной инженерии Дублинского университетского колледжа (Ирландия)

Мы обсуждаем недавно представленную концепцию ЭКО-вождения, известную как SPONGE, в контексте гибридных автомобилей и электрических автобусов (PHEV). Приводятся примеры, демонстрирующие преимущества данного подхода ЭКО-вождения. К ним относятся финансовые, экологические выгоды, а также вопросы управления спросом. И, наконец, рассматриваются распределенные алгоритмы реализации SPONGE, обращая внимание на конфиденциальность при решении основных задач оптимизации.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЭЦ И ТЕПЛОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ — ОПЫТ КОМПАНИИ IREN

Энрико Почеттино (Enrico Pochettino), Группа компаний IREN (Италия)

Компания IREN представит свой опыт в организации сложной и гибкой сети централизованного теплоснабжения на севере Италии. Теплофикационные магистрали города Турина считаются крупнейшими в Италии и сочетают в себе 3 ТЭЦ с ПГУ электрической мощностью по 1200 МВт с комплексом теплоаккумуляторов высокого давления. Система позволяет получать тепловую энергию, не ограничиваясь только котлами, а также повысить приспособляемость электростанций в вопросе диспетчеризации электроэнергии.