

УДК 621.316.722.076.12; 504.05; 504

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ПОЛИТИКЕ НА ЭТАПЕ СОЗДАНИЯ В РОССИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ С АКТИВНО-АДАПТИВНОЙ СЕТЬЮ

**Балабанов Михаил Станиславович,**

главный инженер ООО «Международная Энергосберегающая Корпорация»,  
Россия, 199178, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 5-я Линия В.О., 68, корп. 4,  
лит. Д., пом. 4Н. E-mail: balabanovms@mail.ru

**Бабошкина Светлана Вадимовна,**

канд. биол. наук, старший науч. сотр. лаборатории биогеохимии Института  
водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 656011, г. Барнаул,  
ул. Молодежная, 1. E-mail: svetlana@iwep.ru

**Хамитов Рустам Нуриманович,**

д-р тех. наук, доцент, профессор кафедры электрической техники Омского  
государственного технического университета, Россия, 644050, г. Омск,  
пр. Мира, 11. E-mail: apple\_27@mail.ru

**Актуальность.** В настоящее время в России создается интеллектуальная энергосистема с активно-адаптивной сетью – ИЭС ААС (за рубежом – Smart Grid). Сложность проектирования элементов архитектуры ИЭС ААС диктует необходимость создания PLM-системы для их реализации, способной прогнозировать улучшение в ходе НИОКР электрических и экологических показателей предприятия.

**Цель работы.** Обсуждение опыта реализации на промышленно опасных объектах элемента ИЭС ААС – более частной САУ НРМ (системы автоматического управления напряжением и реактивной мощностью), базовым кластером которой являются FACTS-устройства. Обоснование необходимости междисциплинарного подхода при решении задач энергосбережения и экологической безопасности.

**Методы.** Имитационное моделирование внедрения FACTS-устройств на промышленные предприятия было выполнено в специализированных ПО: RastrWin (Россия), DigSILENT (Германия), EasyPower (США). Результаты сопоставлялись с известными научными разработками в данной области.

**Результаты.** В ходе обсуждения экономических преимуществ реализации НИОКР по внедрению FACTS-устройств на металлургических предприятиях и возможности параллельного решения экологических проблем производства удалось показать важность и актуальность междисциплинарного подхода при построении архитектуры ИЭС ААС. Доказано, что внедрение FACTS-устройств действительно обеспечивает значительный положительный технико-экономический эффект. Однако экологический эффект от их использования необходимо подтверждать с помощью специальных программ и баз данных, в частности разработанных авторами.

**Выводы.** Авторы полагают, что основой создаваемой в ходе построения в России архитектуры Smart Grid системы САУ НРМ обязательно должен стать процесс интеграции экологических и электросберегающих направлений. В работе показано, что разрабатываемый ООО «МЭК» программно-технический комплекс способен облегчить техническим специалистам решение следующих задач: выполнение комплексного предпроектного обследования (экологического и энергетического аудита); имитационное моделирование энергорайонов; выбор FACTS-устройств и определение их характеристик; оценку совместной работы технологического оборудования предприятия и FACTS-устройств (формирование базы данных). После изготовления и поставки ООО «МЭК» осуществляет удаленный контроль эффективности введенных в эксплуатацию энергосберегающих технологий, мониторинг изменения показателей выбросов и сбросов предприятием, анализ уровня заболеваемости населения.

### **Ключевые слова:**

Экологический аудит, энергоаудит, интеллектуальные энергосистемы с активно-адаптивной сетью, системы автоматического управления напряжением и реактивной мощностью, FACTS-устройства, программно-технический комплекс «МЭК», выбросы, сбросы.

### **Введение**

Богатая трехсотлетняя история промышленности России всемирно известна своими действующими до сих пор гигантами – Адмиралтейские верфи (Санкт-Петербург, 1704 г.), Нижне-Тагильские металлургический и машиностроительный заводы (1725 г.), Выксунский металлургический завод (1757 г.), Ижевский металлургический и оружейный заводы (1760 г.), Путиловский (Кировский) завод (Санкт-Петербург, 1801 г.), Обуховский завод (Санкт-Петербург, 1863 г.) и многие другие. Внедрение в производство научно-техниче-

ских открытий в России непосредственно было связано с обострением внешнеполитической ситуации, поэтому строительство новых промышленных объектов в нашей стране, как правило, велось в экстремальных условиях.

Современное промышленное развитие России в период с 1917 г. можно разделить на три крупных этапа: 20–30-е гг. индустриализации – восстановление после Первой мировой и Гражданской войн разрушенных предприятий, строительство промышленных гигантов; 40-е гг. – эвакуация большого количества предприятий и наращивание объемов

продукции военно-промышленного комплекса; 50–60-е гг. – период создания ракетно-ядерного щита страны, с освоением необходимых научно-исследовательских и промышленных мощностей. Указанные этапы отличают отсутствие междисциплинарной проработки проектов и четкой оценки природно-климатических особенностей районов, а также несоблюдение санитарно-гигиенических и градостроительных требований, недоучет метеорологических факторов, отсутствие поиска наилучшей существующей технологии (НСТ). В этот период не прорабатывались вопросы полного использования сырья и утилизации отходов, не учитывались последствия техногенных преобразований среды и многое другое.

Рассматривание окружающей среды в течение десятилетий как площадки для размещения производства или ресурсной базы, эксплуатация которой происходила без учета интересов природы, к 1970-м гг. привела к комплексу экологических проблем: к деградации земельных ресурсов и лесов, загрязнению воздуха, почв, природных поверхностных и подземных вод вредными веществами и, как следствие, к ухудшению здоровья населения [1].

Несмотря на постановления Совета Министров РСФСР и меры, предпринимаемые местными советами народных депутатов в последующий период времени (до 1990-х гг.), существенных положительных изменений в экологической обстановке урбанизированных территорий страны не происходило, т. к. для этого необходимо было пересматривать всю концепцию строительства промышленных и энергорайонов. Следует отметить, что первый научный совет экологического профиля при АН СССР был открыт только в 1964 г., в номенклатуре ВАК специальность «экология» появилась в середине 80-х гг., а Министерство по охране окружающей среды и сеть комитетов во всех субъектах Российской Федерации (в настоящее время – Государственный комитет РФ по охране окружающей среды) впервые созданы в 1988 г., из чего следует, что профессионально вопросы экологической безопасности промышленных объектов в России начали решаться только с 90-х годов [2].

#### Интеллектуализация электроэнергетики

В текущий «кластер»/«волну инноваций» (термин, предложенный Joseph Alois Schumpeter для отрезка времени, отражающего период научно-технического прогресса [3]) в России реализуется этап создания интеллектуальных энергосистем с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). Данные технические системы отличает большое количество датчиков сбора информации и элементов ее обработки, что позволяет вести оценку текущей и прогнозирование будущей ситуации. Особенностью «умной сети» является резервирование структур, позволяющее избегать «узких мест» и опасных неустойчивых режимов работы. Таким образом, ИЭС ААС – это IT-сеть, обеспечивающая:

поток электричества и информации от электростанции до потребителей; контроль и мониторинг; значительно более высокую производительность энергосети (за счет информационных технологий и средств коммуникации); энергию с более высокими показателями качества в режиме экономичной работы сети [4–6].

Практическое воплощение концепции Smart Grid в России в виде ИЭС ААС зависит от технических средств активно-адаптивной сети (в основном FACTS-устройств), обеспечивающих её управляемость и, как следствие, определяющих возможность «интеллектуализации» электроэнергетики [7–9].

В 2014 г. в Евросоюзе вступил в силу «Третий энергопакет» (the Third Energy Package consists of two Directives and three Regulations: Directive 2009/72/EC; Directive 2009/73/EC; Regulation (EC) № 714/2009; Regulation (EC) № 715/2009; Regulation (EC) № 713/2009). Его цель – объединить довольно разобщенный пока энергетический рынок ЕС и сформировать сквозной отраслевой баланс топливно-энергетических ресурсов (электроэнергии, газа, нефтепродуктов, угля и т. п.) с выходом на единый киловатт-час (кВт·ч) или гигакалорию (Гкал). Благодаря такому подходу интеллектуальные технологии в ЕС к 2020 г. должны пройти путь от Smart Metering («умного учета»), Smart Grid («умной сети») к Smart City – «умному городу» [4, 10].

Переход к «умному учету, сети и городу» требует от FACTS-устройств максимального быстродействия, которое обеспечивается силовой электроникой на базе различных модификаций преобразователей напряжения, использующих управляемые полупроводниковые вентили [7–9, 11, 12].

Один из элементов ИЭС ААС в России в настоящее время пытается реализовать монополичный оператор по управлению Единой национальной электрической сетью (ЕНЭС) – ОАО «ФСК ЕЭС». Компанией планируется создание иерархической системы автоматического управления режимом энергосистемы (энергорайонов) по напряжению и реактивной мощности (САУ НРМ). Проект отличает трехуровневая система управления: уровень энергосистемы, уровень энергорайона и уровень энергообъектов (подстанции, электростанции, крупные потребители электроэнергии) [13].

В условиях идущего объединения энергорынков (Россия–СНГ, Россия–Европа, Россия–Азия [14]) вопрос синхронизации и интеграции работы энергосетей как системной инфраструктуры энергетики чрезвычайно важен. Кто и откуда (из России или из-за рубежа) фактически станет управлять режимами энергоснабжения и перетоками электроэнергии в экономике нашей страны, будет зависеть от успешного создания данной инновационной энергосистемы – ИЭС ААС [15].

Зарубежные аналитики – ученики и последователи Н.Д. Кондратьева – сходятся во мнении, что при сохранении нынешних темпов технико-эконо-

мического развития шестой технологический уклад во всем мире начнёт оформляться уже в 2010–2020 гг. Для подобных прогнозов есть основания, т. к. в США доля производительных сил четвертого технологического уклада сейчас составляет 20 %, пятого – 60 % и 5 % уже приходится на шестой. В России более 50 % производительных сил относят лишь к четвертому техноукладу и только 10 % (в авиакосмической промышленности) – к пятому [16].

Как обоснованно считает академик РАН Е.Н. Каблов: «Вхождение России в шестой технологический уклад – не самоцель, а вопрос выживания, развития экономики, обеспечения безопасности и международного статуса страны, достижения высокого уровня благополучия граждан. Чтобы в течение ближайших 10 лет наша страна смогла войти в число государств с высоким уровнем технико-экономического развития, ей надо, образно говоря, перемахнуть через пятый уклад» [16].

Следует отметить, что Правительство РФ принимает определенные шаги для реализации поставленной задачи. Так, «энергоэффективность и ресурсосбережение» вошли в перечень приоритетных направлений модернизации экономики и инновационного развития России, утвержденный Советом при Президенте [17].

Таким образом, построение архитектуры Smart Grid и внедрение FACTS-устройств российской энергетикой является важным направлением решения «Задачи-25» [17] и соответствует поэтапному переходу российской экономики к шестому технологическому укладу, так как энергетика является базовой инфраструктурной отраслью, во многом определяющей эффективность и конкурентоспособность всех остальных отраслей.

Несмотря на то что «Энергетическая стратегия РФ» [18] закрепила в качестве приоритетных задач внедрение FACTS-устройств на промышленных и сетевых объектах, а также построение архитектуры Smart Grid в масштабах страны, ее реализация сдерживается отсутствием специальной современной литературы, в том числе методики выбора конкретного типа и характеристик оборудования. В связи с актуальностью данной темы авторами (М.С. Балабанов, Р.Н. Хамитов) разработана методология выбора FACTS-устройств из всего спектра оборудования по состоянию на 2015 г. (рассмотрены 24 основных типа и подтипы). Методология запатентована [19, 20], а суть ее подробно раскрыта в монографии [21].

#### Энерго-экологические мероприятия

Авторы считают, что с целью скорейшего перехода к шестому техноукладу в России в настоящее время следует изменить концептуальный подход к развитию промышленности и энергетики. Одной из важных задач является выполнение междисциплинарного анализа проектов на первом этапе, в ходе проектно-изыскательских работ, либо совместное выполнение экологических и энергетиче-

ских аудитов на действующих объектах. В настоящее время в научно-технической литературе встречается очень мало работ, освещающих вопросы совместного энерго-экологического аудита. Тем не менее, специалисты-практики обсуждают необходимость реализации данной концепции [22].

Целью настоящего исследования являлось подробное изучение опыта и определение сдерживающих факторов по созданию PLM-системы для построения архитектуры ИЭС ААС.

В настоящее время результаты аудитов (проводимых в соответствии с ФЗ № 28 «Об энергосбережении» и ГОСТ Р ИСО 14031–2001 «Управление окружающей средой») оформляются соответствующими паспортами (потребителя ТЭР – ГОСТ Р 51379–99 и природопользователя – ГОСТ Р 17.0.0.00–2000).

В согласии с другими авторами [22] считаем существенным недостатком нормативно-законодательной базы отсутствие взаимосвязи между уровнем электрических потерь, перерасхода топливно-энергетических ресурсов и уровнем вредных выбросов и сбросов предприятий, которые отдельно отражены в действующих нормативно-технических и руководящих документах (НТД и РД), но никак между собой не увязаны.

Опыт проведения энергетических обследований ООО «МЭК», как промышленных предприятий, так и объектов РАО ЕЭС, показывает, что стремление каждого предприятия самостоятельно решить означенные проблемы в целом снижает эффективность инвестиционных вложений в энерго-экологические мероприятия.

Проанализируем актуальность энерго-экологических мероприятий на примере городов Сибирского федерального округа с различным типом преобладающей экологической нагрузки: от объектов ОАО «РАО «ЕЭС России» (генерирующие устройства – ГУ) и от промышленных предприятий (объекты металлургии и машиностроения).

Так, например, в настоящее время главным стационарным антропогенным источником поступления тяжелых металлов в почвы, растения и другие компоненты экосистем различных зон г. Барнаула (Алтайский край) являются газопылевые выбросы теплоэлектростанций (ТЭЦ).

В 2008 г. учеными из Института водных и экологических проблем СО РАН [23] было установлено, что повышенные концентрации микроэлементов чаще встречались в растениях окрестностей ТЭЦ-2, тогда как растения в районе ТЭЦ-3 отличались меньшими концентрациями элементов, поскольку при ее строительстве использовалось более совершенное оборудование, была смонтирована система золоулавливания, а в 90-е гг. котлы ТЭЦ-3 перевели на более экономичный тип сжигания горючей смеси.

Кроме того, авторы [23] отметили, что виды растений с широкими листовыми пластинками (лопух, а также лебеда), а следовательно, с большими



возможностями для фолиарного поглощения аэрогенно переносимых поллютантов, содержащихся в газопылевых выбросах ТЭЦ, отличались более высокими концентрациями металлов.

На наш взгляд, перспективный экологический проект по сокращению выбросов Барнаульскими ТЭЦ в обязательном порядке должен включать имитационное моделирование электросетей всего энергорайона – от ГУ до потребителей. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) позволят определить индивидуальные характеристики необходимых FACTS-устройств. Исключительно индивидуальные технические решения (а не адаптация серийно выпускаемых образцов) позволяет сокращать сроки окупаемости проектов до минимальных (от 1 месяца до 3-х лет) [24].

Теоретически обосновано и практически доказано, что применение FACTS-устройств обеспечивает статическую устойчивость генераторов, приводит к уменьшению расхода топлива (до 8 %), повышает пропускную способность сетей, сокращает сетевые потери [25].

Если в Барнауле основным источником загрязнений являются ТЭЦ, то для промышленных центров соседней Кемеровской области – Новокузнецка и Юрги – основным очагом распространения поллютантов является ферросплавное производство [26].

В литературе встречаются сведения о загрязнении объектов окружающей среды Кемеровской области тяжелыми металлами, в том числе о превышении нормативов (ПДК и ОДК) содержания валового и подвижного цинка, а также валового содержания свинца (Pb), марганца (Mn) и мышьяка (As) в почвах г. Новокузнецка, особенно в заводском районе [27]. Авторы подчеркивают, что Mn и As накапливаются преимущественно в верхних горизонтах почв, что также свидетельствует об антропогенном источнике их поступления в объекты окружающей среды [27]. В атмосферном воздухе Новокузнецка обнаруживаются повышенные относительно предельно допустимых нормативов концентрации формальдегида, взвешенных частиц, диоксида азота и фтористого водорода. Степень загрязнения атмосферного воздуха г. Новокузнецка оценивается как опасная для здоровья населения. Наибольшей потенциальной угрозой для населения от стационарных источников являются выбросы взвешенных частиц и диоксида серы [26].

С 2010 г. ООО «МЭК», под руководством автора данной статьи, реализовало в данном регионе ряд НИОКР (расчет, изготовление, поставка, наладка FACTS-устройств) для нужд холдинга ОАО «ЧЭМК», в т. ч.: ОСП «Юргинский ферросплавный завод», ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (г. Юрга) – HF (harmonic filter), 15 МВАр, 10 кВ, 4 шт.; ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (г. Новокузнецк) – HF, 10 МВАр, 10 кВ, 16 шт.

Все перечисленные работы были направлены на компенсацию реактивной мощности при нали-

чий высших гармоник, которые вызывают потерю мощности печей и снижают энергоэффективность (надежность) в системе электроснабжения ферросплавных производств.

С целью выбора оптимального FACTS-устройства автором были проанализированы свойства и возможности всех существующих типов FACTS-устройств, а именно: SCB, Automatic capacitor banks, TSC, HF, Automatic harmonic filter, Synchronous compensator, TSR, Shunt reactor, Circuit breaker switched reactors, SVC, SVS, SVG, MCSR, STATCOM, ASC, SSSC, IPFC, TCSC, TCSR, TSSR, TSSC, TCPAR, PST, VFT, TCBR, Thyristor based DC link, STATCOM based DC link, Asynchronized synchronous electromechanical frequency converter, Series-parallel regulation devices, UPFC, Short-circuit currents limiting devices, Current limiting devices, TCVL и прочие нестандартные конфигурации. Далее были выполнены имитационные модели системы электроснабжения предприятия с FACTS-устройствами, вольт-амперная характеристика (ВАХ) которых отвечает особенностям ферросплавного производства. Произведено исследование нормальных и аварийных режимов работы системы электроснабжения ферросплавных производств (в т. ч. и при различных узлах подключения FACTS-устройств). Доказано, что оптимальный тип FACTS-устройства для использования в составе ферросплавных печей – HF. Подробно методология выбора FACTS-устройств для конкретных предприятий (промышленных/энергосетевых) изложена в монографии [21].

Опыт эксплуатации разработанного оборудования в течение последних трех лет привел к заметному улучшению технологического цикла предприятий (стабилизация режимов работы печей, сокращение времени плавок), повышению надежности системы электроснабжения предприятий, снижению потерь мощности и повышению энергоэффективности системы электроснабжения ферросплавных производств, обеспечению требований электроснабжающих организаций по качеству электроэнергии и компенсации реактивной мощности.

Основной показатель эффективности работы ферросплавных печей –  $\text{tg}\varphi$  – до внедрения HF составлял в среднем (по 29 печам холдинга «Челябинский электро-металлургический комбинат» («ЧЭМК»)) 0,75. По факту ввода в эксплуатацию HF значение  $\text{tg}\varphi$  в среднем по эксплуатируемым комплексам печь+HF составляет 0,1.

Ввод в эксплуатацию HF на Юргинском ферросплавном заводе («ЮФЗ») позволил стабилизировать режимы горения дуги, уменьшить износ футеровки и расход электродов, стабилизировать и поднять напряжение, повысить производительность печей. В проводимых холдингом «ЧЭМК» конкурсах среди ферросплавных печей предприятий Челябинска («ЧЭМК»), Новокузнецка («Кузнецкие ферросплавы» («КФ»)), Юрги («ЮФЗ») печи Юргинского завода в период работы с HF уве-

ренно показывают наилучшие результаты по производительности и расходу электроэнергии на тонну продукции, что является подтверждением положительного результата апробации методологии ООО «МЭК» по внедрению FACTS-устройств и построению САУ НРМ [21].

Однако с введением в эксплуатацию перечисленных высокотехнологичных инженерных решений уменьшение объемной составляющей элементов, загрязняющих атмосферный воздух, невозможно ни подтвердить, ни опровергнуть, т. к. ни ранее, ни в рамках выполненной модернизации в зоне печного зонта не устанавливались стационарные газоанализаторы и не проводилось сопоставление экологической нагрузки с технологическим процессом [28].

В связи с тем что в настоящее время на ферросплавных предприятиях отсутствуют данные по основным показателям работы печи до ввода FACTS-устройств и по факту работы комплекса печь+FACTS-устройство, было рекомендовано завести с 2014 г. на каждую печь «Таблицы экологического мониторинга» (см. таблицу).

Предполагается, что пункты 1–6 таблицы заполняются на каждую плавку в течение 24 часов. Их количество в течение суток и продолжительность определяются службой главного технолога предприятия в соответствии с планом выпуска продукции.

Необходимо учитывать и заносить во II раздел таблицы показатели содержания в воздухе таких загрязняющих веществ, как марганец, формальдегид, свинец, бенз(а)пирен, (содержание мг/м<sup>3</sup> и в % от ПДК), а также Индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) в городе и на территории предприятия. Замеры выполняются в нескольких точках: у печи, в цехе, на территории предприятия, на выходе из системы воздухоочистки, в границах санитарно-защитной зоны, на территории города. Время замеров и их количество в течение суток должно совпадать с количеством плавков (пункты 1–6).

В III разделе таблицы предлагается учитывать (кроме приведенных максимально разовых, связанных по времени к плавке) показатели среднего содержания PM10 и PM2,5 за 24 часа, за 7 календарных дней, за месяц, квартал, год (каждый показатель – в отдельной строке таблицы).

В IV раздел таблицы предполагается вносить величины основных показателей электростанции в зависимости от уровня реактивной мощности потребителей. Поэтому фиксация значений расхода топлива и выбросов должна коррелироваться с технологическим процессом предприятия.

Предлагается в разделе V фиксировать показатели метеорологической ситуации (кроме перечисленных в таблице: силу ветра, м/с; атмосферное давление, мм рт. ст.; влажность, %) как прогнозы на 1 день, 7 дней, и погоду по факту во время плавков.

Раз в год предлагается создавать сводную таблицу, в которую (наряду со средними показателями по выплавке и другими базовыми параметрами, содер-

жанию загрязняющих веществ в выбросах и в воздухе различных зон предприятия и города) будут занесены ведущие показатели общей заболеваемости населения различных возрастных категорий – дети, подростки, взрослые (по годам – данные за соответствующее количество лет до и после модернизации печей), а также (отдельно в каждой строке) онкозаболевания, занимающие ведущие позиции в структуре заболеваний населения злокачественными новообразованиями – рак кожи, молочной железы, рак органов дыхания, органов пищеварения.

Методология ведения базы данных подробно раскрыта в работе авторов [28]. Как правило, в городах с металлургическим производством функционируют несколько предприятий, оказывающих существенную техногенную нагрузку на окружающую среду. При этом в большинстве изученных «Концепций экологической безопасности промышленных городов» никак не отмечена необходимость разграничить принадлежность тех или иных выбросов (их качества и количества) конкретным предприятиям. Логично доработать Концепции введением разграничения реальных уровней экологического воздействия и дифференцировать степень ущерба, оказываемого различными предприятиями на окружающую среду.

Следует отметить еще один недочет большинства Концепций – отсутствие в них требований контроля частиц PM2,5 и PM10, в то время как обновленные рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по содержанию в воздухе твердых частиц, озона, диоксидов азота и серы были опубликованы еще в 2006 г. Они были разработаны специально для ужесточения контроля за состоянием качества атмосферного воздуха. В этих рекомендациях отмечается, что наиболее значимое негативное влияние на здоровье человека оказывает содержание в атмосферном воздухе твердых взвешенных частиц аэродинамическим диаметром меньше 10 мкм (PM10) и меньше 2,5 мкм (PM2,5) (для наглядности, диаметр человеческого волоса равен 50–90 мкм, что как минимум в 20 раз больше диаметра частицы PM2,5). Последнее учтено Роспотребнадзором при разработке методологии обоснования достаточности размеров санитарно-защитной зоны предприятиями [28].

Таким образом, для предприятий тепло- и электроэнергетики становятся актуальными вопросы, связанные с учётом выбросов мелкодисперсной пыли (PM2,5 и PM10) и их нормированием для обоснованного планирования мер по охране атмосферного воздуха и контроля их эффективности.

Фиксация параметров в соответствии с предложенной базой данных [28] позволит:

- построить модель влияния метеорологических условий на индекс загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) в городе;
- построить модель краткосрочного и долгосрочного прогнозирования превышения ПДК в зависимости от технологического цикла предприятия и метеословий;

**Таблица.** Фрагмент базы данных экологического мониторинга изменения состояния окружающей среды и здоровья населения под влиянием возможных сокращений выбросов (в результате проводимой модернизации) от печей ОАО «ЧЭМК»

**Table.** Fragment of a database of environmental monitoring of environmental change and human health under the impact of the emissions reduction of ChEMC furnaces

№ no.	Параметры Parameters	Печь № ___ /Furnace no. ___							
		Дата/Date							
		Работа без ФКУ Work without HF				Работа с ФКУ Work with HF			
		Марка сплава Alloy brand				Марка сплава Alloy brand			
		ФСХ40 FSH40	ФСХ48 FSH48	ФСХ40 FSH40	ФСХ48 FSH48	ФСХ40 FSH40	ФСХ48 FSH48	ФСХ40 FSH40	ФСХ48 FSH48
		Время Time		Время Time					
I. Технология Technology									
1	Вес закладки, т Weight of filling, t	13,5		12,2					
2	Выдача металла на плавку, т Delivery of metal to be smelted, t	5,1		4,3					
3	Удельное потребление энергии, кВт·ч/т Specific energy consumption, kW·h/t	4861,1		5833,3					
4	Коэффициент использования, о. е. The utilization factor, p. u.	0,9		0,9					
5	Длительность одной плавки, мин The duration of one smelting, min	102		102					
6	Активная мощность печи, МВт The active power of the furnace, MW	14,3		15					
II. Показатели загрязнения воздушной среды Air pollution index									
7	Гидроксibenзол, % ПДК Hydroxybenzene, % MPC	169		169					
8	Взвешенные вещества, % ПДК Suspended solids, % MPC	169		169					
III. Взвешенные вещества Suspended solids									
14	PM10 максимально разовые RM10 maximum single								
20	PM2,5 максимально разовые RM2,5 maximum single								
IV. Электростанция Power plant									
26	Выбросы мазутной золы, т The emission of fuel oil ash, t								
27	Энергоемкость, т у. т./кВт·ч ээ Energy consumption, tons of oil equivalent/kW·h								
V. Метеорологический прогноз и погода по факту Meteorology forecast and the weather									
40	Среднесуточная температура, °С The average daily temperature, °C								
41	Направление ветра, с.; ю.; з.; в. The direction of wind, North; South; West; East								
VI. Ежегодная медицинская статистика Annual medical statistics									
Параметры ведущих мест в структуре заболеваний населения The parameters of the leading places in the structure of diseases									
55	Болезни органов дыхания, % Diseases of the respiratory system, %	53,1							
56	Болезни органов пищеварения, % Diseases of digestive organs, %	6,6							
57	Болезни глаза и его придаточного аппарата, % Diseases of eyes and adnexa, %	4,2							
58	Болезни костно-мышечной системы, % Diseases of musculoskeletal system, %	4,0							

- построить модель влияния использования FACTS-устройств на процесс снижения поступления в атмосферу загрязняющих веществ;
- построить модель зависимости содержания загрязняющих веществ в воздушной среде от генерирующих электростанций, питающих предприятие (уменьшение выработки электроэнергии из-за уменьшения потребления активной энергии при работающих FACTS-устройствах), с технологическим циклом производства (объемом потребления активной энергии);
- построить модель зависимости заболеваемости населения от объемов вредных выбросов и метеорологических условий;
- разработать программный комплекс, позволяющий прогнозировать вредные выбросы;
- разработать методические рекомендации по тарифам на загрязнение атмосферы на базе вновь разработанного ПО;
- утвердить новые тарифы на законодательном уровне;
- внедрить аналогичные мероприятия на прочих предприятиях города;
- откорректировать санитарно-защитные зоны предприятий на основании данных по содержанию в выбросах PM10 и PM2,5.

Авторы считают, что формирование такой базы данных с одновременной разработкой программного комплекса позволит определить тонкую грань экологического эффекта при внедрении электроэкономизирующего оборудования (FACTS-устройств) и построении ИЭС ААС.

#### Целеполагание социально-экономического развития России

Важные векторы развития промышленности России – это модернизация энергетических (до ИЭС ААС) и промышленных объектов (до уровня шестого техноуклада). Как правило, работа на указанных объектах ведется точно (пилотные проекты), без моделирования всего энергорайона (от генерирующих устройств до потребителей) и в разрыве от решения экологических задач. В связи с чем, по мнению специалистов, актуально:

1. Одновременное проведение комплексного энерго-экологического обследования на предприятиях и энергетических объектах [22].
2. Организация постоянного энергетического мониторинга через действующую ежегодную процедуру нормирования удельных расходов топлива и технологических потерь электрической и тепловой энергии [22].
3. Приведение статей топливно-энергетического баланса к экологическим показателям (например, к уровням ПДК или фоновым содержаниям химических элементов в объектах окружающей среды). Алгоритм перевода (идентификации) энергетических и экологических единиц целесообразно реализовать через условные единицы – тонны условного топлива (т у. т.) [22].

4. Управление рисками по инвестированию в экологические и энергосберегающие программы предприятия, с учетом их взаимосвязей.

Еще раз отметим, что эффективное управление и оптимизация режимов в энергосистемах дает самый весомый эффект в энергосбережении. Как правило, для решения данных задач создаются специальные программные продукты (элементы АСУ ТП). В ходе экологического мониторинга и работы по экологической защите среды широко используются специализированные программы.

Заметим, что в настоящее время энергоаудиторы, как правило, не владеют «инструментами» оценки экологической экспертизы, а экологи-аудиторы не выполняют оценку взаимосвязи производственной деятельности предприятия с показателями энергетической эффективности и расчетом энергетических балансов.

Оценка значимости экологических и энергетических аспектов в общей процедуре установления приоритетности реализации эколого-энергетических решений должна реализовываться на базе методологии – управления рисками («методы бережливого производства» / lean production, «метод шести сигм» / six sigma).

Из-за большого массива данных, которые необходимо будет собирать (вносить) и обрабатывать специалистам, становится актуальной разработка специализированного единого ПО (PLM-системы), исключающего «человеческий фактор» в ходе реализации проектов.

В период технологической сингулярности, в связи с постоянным ростом вычислительных мощностей компьютеров становится возможным и доступным создание сложных моделей, учитывающих географические, климатические, метеорологические, технологические, энергетические, социальные и многие другие особенности объектов. Авторами реализуется работа по созданию программно-технического комплекса «МЭК» (ПТК «МЭК»), сочетающего оценку и решение множества рассмотренных задач, особенно задачи по совместной реализации энерго-экологических мероприятий.

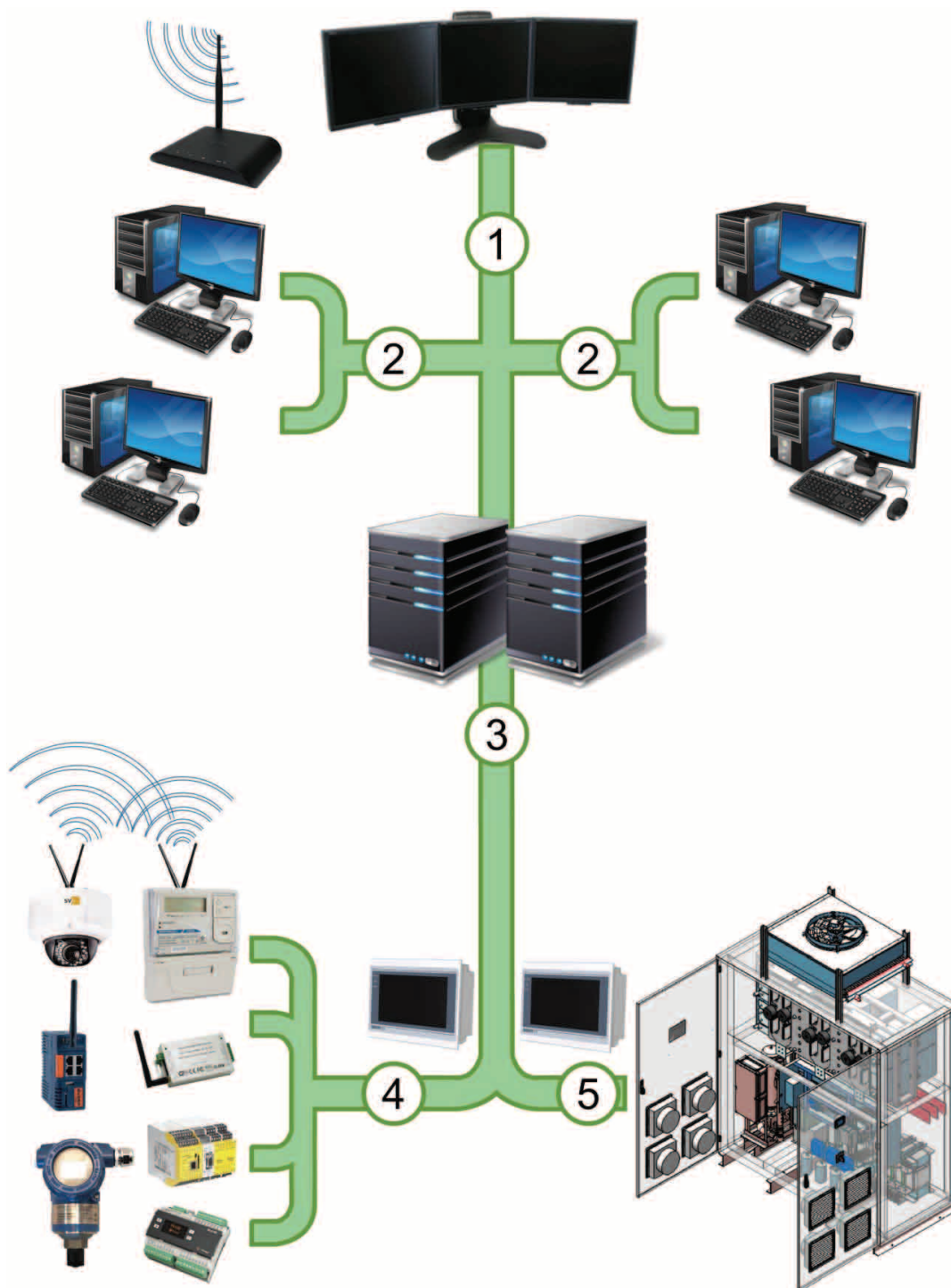
Схематичное изображение работы ПТК «МЭК» представлено на рисунке.

Программно-технический комплекс включает:

1. PLM-систему (в стадии разработки), включающую набор из программных комплексов (как коммерческих специальных программ, так и разрабатываемых силами ООО «МЭК»), позволяющую рассчитывать режимы сети предприятия, тип FACTS-устройств, место их установки, совместимость комплектующих для FACTS-устройства, экологические факторы и определять максимально эффективное решение для конкретного объекта.

ПО ПТК «МЭК» позволяет объединять системы управления дорогостоящим технологическим оборудованием (критичным к качеству электроэнергии) с FACTS-устройствами. Специализированное ПО ПТК обеспечивает синхронизацию рабочих





**Рисунок.** Схема ПТК «МЭК»: 1 – диспетчерская служба; 2 – рабочие места операторов; 3 – сервер; 4 – полевые датчики; 5 – FACTS-устройства

**Figure.** Scheme of «IES» software and hardware: 1 – dispatch service; 2 – operators; 3 – host; 4 – sensors; 5 – FACTS-devices

мест операторов-технологов и операторов-диспетчеров (поз. 2). Базовая информация передается администрации предприятия и на верхний уровень диспетчерской службы энергорайона (поз. 1).

Программа реализует всесторонний анализ данных (электрических, технологических, эколо-

гических и прочих – поз. 3 (сервер)) с управлением в автоматическом и ручном режиме и передачу необходимых данных на верхний уровень «умных сетей».

2. Общее поле датчиков (поз. 4) для оптимизации финансовых затрат заказчика и предотвраще-



- ния дублирования систем (в т. ч. систем технического и коммерческого учета, технологического оборудования и т. д.).
3. Комплекс FACTS-устройств (поз. 5) – оборудование для компенсации реактивной мощности и приведения всех параметров качества электроэнергии к ГОСТу с целью построения в энергорайоне САУ НРМ.
  4. Необходимое сопутствующее оборудование для функционирования ПТК.

В рамках договора гранта № 162ГКС4/8805 от 12.02.2015 г. с ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) ООО «МЭК» реализует инновационный проект «Коммерциализация программно-технического комплекса «МЭК», обеспечивающего интеграцию FACTS-устройств, для построения архитектуры Smart Grid («умные сети») на промышленных предприятиях» по приоритетному направлению развития науки, технологии и техники в Российской Федерации (согласно Указу Президента Российской Федерации от 07.06.2011 № 899) «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика». В настоящее время ведется работа по защите авторских прав разработчиков инновационного продукта.

#### Обсуждение результатов

Следует отметить, что для успешного и оперативного внедрения совместных энерго-экологических проектов необходимо внесение изменений на законодательном уровне:

1. Энергетический паспорт как итоговый документ энергоаудита должен в обязательном порядке включать, помимо энергетических, экологические показатели функционирования предприятия.
2. Программа энергосбережения, разработанная предприятием в ходе энергообследования, должна учитывать и экологические аспекты с экономической оценкой НСТ.
3. Результаты ежегодного нормирования потерь, удельных расходов ТЭР должны отражаться в соответствующих разделах энергопаспорта и предоставляться специалистам в ходе проведения экологического аудита в совместимом формате через т. у. т.
4. Процедуры ежегодного нормирования удельных расходов и запасов топлива, а также технологических потерь тепловой и электрической энергии должны синтезироваться с процедурами выдачи разрешений на выбросы, сбросы и размещение отходов.

5. Энергоснабжающие организации (подразделения ОАО «РАО "ЕЭС России"») в обязательном порядке должны предоставлять исходные данные инжиниринговым компаниям, реализующим НИОКР по реализации САУ НРМ, для моделирования энергорайонов.

#### Выводы

1. Практическое воплощение концепции Smart Grid в России в виде ИЭС ААС зависит от технических средств активно-адаптивной сети (в основном FACTS-устройств), обеспечивающих её управляемость.
2. Ввод в эксплуатацию FACTS-устройств, работающих совместно с металлургическими печами (ЭДСП, РТП, ФСП), позволяет улучшить результаты по производительности на тонну продукции, что является подтверждением положительного результата апробации методологии ООО «МЭК» по внедрению FACTS-устройств и построению САУ НРМ.
3. В промышленных городах необходимо доработать Концепции экологической безопасности введением разграничения реальных уровней экологического воздействия и дифференцировать степень ущерба, оказываемого различными предприятиями на окружающую среду.
4. В настоящее время, время переходного этапа развития промышленности и энергетики в России, особое внимание следует уделять комплексному обследованию промышленно-опасных объектов для успешного и оперативного внедрения совместных энерго-экологических проектов, для чего необходимо внесение изменений на законодательном уровне.
5. Использование наилучших существующих междисциплинарных технологий в ходе модернизации и строительства промышленных/энергетических объектов является одним из наиболее перспективных подходов к защите окружающей среды.
6. Экологическая обстановка в крупных промышленных городах России сегодня является важнейшим аспектом, определяющим их будущее и будущее всей страны. Множество негативных социальных и экономических явлений в промышленных городах определяются именно тем, что они имеют имидж экологически неблагополучных в России. С целью создания благоприятных условий проживания горожан и изменения представлений о промышленных городах необходима доработка Концепций экологической безопасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмыглёва А.В. Экологические последствия индустриального освоения Кузбасса // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2015. – № 2 (12). – С. 80–84.
2. Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2000. – 396 с.
3. Shionoya Y. Shumpeter and his surroundings: on overview // Schumpeter and the Idea of Social Science: A Metatheoretical Study. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 354 p.
4. Ontology matching system for future energy Smart Grids / R. Santodomingo, S. Rohjans, M. Uslar, J.A. Rodríguez-Mondéjar, M.A. Sanz-Bobi // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2014. – V. 32. – P. 242–257.
5. Ситников В.Ф., Скопинцев В.А. Интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью // Электричество. – 2012. – № 3. – С. 2–7.
6. Желонкин А.В., Белявский А.В. Будущее – за интеллектуальными электросетями // Энергетика Татарстана. – 2010. – № 3. – С. 13–21.
7. Idris M.R., Khairuddin A., Mustafa M.W. Optimal allocation of FACTS devices for ATC enhancement using bees algorithm // International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering. – 2009. – V. 3. – № 6. – P. 1295–1302.
8. An overview of flexible AC transmission systems / P. Asare, T. Diez, A. Galli, E. O'Neill-Carillo, J. Robertson, R. Zhao // School of Electrical Engineering Purdue University West Lafayette. – 1990. – P. 90. URL: <http://docs.lib.purdue.edu/eestr/205/> (дата обращения: 17.11.2015).
9. Georgilakis P.S., Vornados P.G. Flexible AC transmission system controllers: an evaluation // Trans. Tech. Publications: Materials Science Forum. – 2011. – V. 670. – P. 399–406.
10. Умный учет – первый шаг к умным сетям: презентация ОАО «ФСК ЕЭС»: доклад (г. Санкт-Петербург, 17.06.2010 г.). URL: [http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution/innovations/Presentation/Doklad\\_Slobodin.pdf](http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution/innovations/Presentation/Doklad_Slobodin.pdf) (дата обращения: 01.11.2015 г.)
11. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ «Энергия», 2010. – 208 с.
12. Шакарян Ю.Г., Новиков Н.Л. Технологическая платформа Smart Grid (основные средства) // Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – С. 42–49.
13. Воротицкий В.Э., Рабинович М.А., Каковский С.К. Оптимизация режимов электрических сетей 220–750 кВ по реактивной мощности и напряжению // Энергия единой сети. – 2013. – № 3 (8). – С. 50–59.
14. Новиков С.В. Системы регулирования энергетики России и ЕС: опыт, уроки, эволюция и взаимодействие. URL: [http://www.fstrf.ru/about/activity/inter/meropr/6/Novikov\\_rus.pdf](http://www.fstrf.ru/about/activity/inter/meropr/6/Novikov_rus.pdf) (дата обращения: 01.11.2015 г.)
15. Иванов Т.В. Курс на Smart Grid. Интеллектуальная электроэнергетика как новый формат геознергетической суверенности России // Умные измерения. – 2011. – № 2. – С. 6–7.
16. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. – 2010. – № 4. – С. 2–7.
17. Балацкий Е.В., Екимов Н.А. Доктрина высокотехнологичных рабочих мест в российской экономике. – М.: Эдитус, 2013. – 124 с.
18. Об Энергетической стратегии РФ на период до 2030 г.: распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902187046> (дата обращения: 17.11.2015 г.)
19. Балабанов М.С. Определение типа FACTS-устройств: свидетельство РФ № 2014663236; заявл. 31.10.14, опубл. 23.12.14 г. URL: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet) (дата обращения: 17.11.2015 г.)
20. Балабанов М.С. Определение типа FACTS-устройств V 2.0: свидетельство РФ № 2015617896; заявл. 01.06.15, опубл. 24.07.15 г. URL: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet) (дата обращения: 17.11.2015 г.)
21. Балабанов М.С., Хамитов Р.Н. FACTS-устройства. Выбор при проектировании электрооборудования предприятий. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 184 с.
22. Завадский В.А., Кошелев А.В. Экологические аспекты в энергосберегающей политике сетевых предприятий // Энергоаудит. – 2007. – № 3. – С. 22–26.
23. Пузанов А.В., Бабошкина С.В. Химический состав почв и растений различных по антропогенной нагрузке территорий г. Барнаула // Мир науки, культуры, образования. – 2008. – № 3. – С. 14–18.
24. Балабанов М.С., Виноградов А.Л. Приведение параметров качества электроэнергии к требованиям ГОСТ в сети АО «Ковдорский ГОК» // Труды международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XVIII Бенардосовские чтения). Т. I. Энергетика: межвузовский сборник научных трудов. – Иванов: Изд-во ИГЭУ, 2015. – С. 144–148.
25. Балабанов М.С., Балабанов Г.С., Ощепков М.Б. Устройства компенсации реактивной мощности в сетях с автономными энергисточниками // Турбины и дизели. – 2012. – № 5 (44). – С. 64–69.
26. Оценка антропогенного загрязнения атмосферного воздуха г. Новокузнецка / П.В. Климов, В.Д. Суржилов, Д.В. Суржилов, В.В. Большаков // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2011. – № 2 (46). – С. 190–194.
27. Подурец О.И. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове г. Новокузнецка // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2014. – № 5–1. – С. 136–140.
28. Балабанов М.С., Бабошкина С.В. Мероприятия по реализации Концепции экологической безопасности города Челябинска до 2020 года на примере модернизации ферросплавного производства ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат» // Экология промышленного производства. – 2014. – № 4 (88) – С. 47–55.

Поступила 18.11.2015 г.

UDC 621.316.722.076.12; 504.05; 504

## ELECTRIC SAVING AND ENVIRONMENTAL ASPECTS IN POLICY AT THE STAGE OF SMART GRID CREATION IN RUSSIA

**Mikhail S. Balabanov,**

International Energy Saving Corporation LLC, 68, bldg. 4, Pyataya Liniya V.O.  
Street, Saint Petersburg, 199178, Russia. E-mail: balabanovms@mail.ru

**Svetlana V. Baboshkina,**

Institute for Water and Environmental Problems of Siberian  
Branch of the Russian Academy of Sciences, 1, Molodezhnaya Street, Barnaul,  
656038, Russia. E-mail: svetlana@iwep.ru

**Rustam N. Khamitov,**

Omsk State Technical University, 11, Mira Avenue, Omsk, 644050, Russia.  
E-mail: apple\_27@mail.ru

**Relevance.** Nowadays Russia is creating an intelligence power system with active-adaptive grid (Smart Grid). The complexity of the elements design of the Smart Grid architecture calls for the creation of PLM-system for their implementation. This PLM-system is supposed to predict the improvement in the R&D of electrical and environmental performance of the enterprise.

**Objective.** Discussion of the practical experience of the implementation of the Smart Grid element (system of voltage and reactive power automatic control) on the industrial dangerous objects; the FACTS-devices are the basic cluster of this system. The rationale for an interdisciplinary approach in solving problems of energy saving and environmental safety.

**Methods.** Simulation of FACTS-devices implementation at industrial enterprises was performed in specialized software: RastrWin (Russia), DigSILENT (Germany), EasyPower (USA). The results were compared with known scientific developments in this field.

**Results.** During the discussion of the economic benefits of the FACTS-devices implementation at the metallurgical enterprises and the ability at the same time to solve the environmental problems of a factory, the authors found a way to show the importance and relevance of an interdisciplinary approach in constructing the architecture of the Smart Grid. It is proved that the introduction of FACTS-devices does provide a significant positive technical and economic effect. However, the environmental effect of their using should be confirmed by means of special software and databases, in particular, developed by the authors.

**Conclusions.** The authors believe that the integration of environmental and electricity-saving ways has to become the foundation for the system of voltage and reactive power automatic control, as a part of Russian Smart Grid. It is shown that the software and hardware developed by International Energy Saving Corporation LLC help the technicians to solve the following problems: implementation of a comprehensive pre-examination (environmental and energy audits); simulation of power districts; selection of FACTS-devices and their specification determination; assessment of the collaborative work of the technological equipment of the enterprise and FACTS-devices (creation of databases). After manufacture and supply, International Energy Saving Corporation LLC controls the effectiveness of commissioned energy-saving technologies, monitors the changes in emissions and discharges of the enterprise, analyzes the level of morbidity.

### Key words:

Environmental audit, energy audit, Smart Grid, automatic voltage control and reactive power systems, FACTS-devices, software and hardware «International Energy Saving Corporation», emissions, discharges.

### REFERENCES

1. Shmygleva A.V. Ekologicheskie posledstviya industrialnogo osvoeniya Kuzbassa [Ecological consequences of the industrial development of Kuzbass]. *Vestnik Sibirskogo Gosudarstvennogo Industrialnogo Universiteta*, 2015, no. 2 (12), pp. 80–84.
2. Rozenberg G.S., Mozgovoy D.P., Gelashvili D.B. *Ekologiya. Elementy teoreticheskikh konstruksiy sovremennoy ekologii* [Ecology. Elements of theoretical constructions of modern ecology]. Samara, Samara Scientific Center of RAS, 2000. 396 p.
3. Shionoya Y. *Shumpeter and his surroundings: on overview*. In: Schumpeter and the Idea of Social Science: A Metatheoretical Study. Cambridge, Cambridge University Press, 2007. 354 p.
4. Santodomingo R., Rohjans S., Uslar M., Rodríguez-Mondéjar J.A., Sanz-Bobi M.A. Ontology matching system for future energy Smart Grids. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2014, vol. 32, pp. 242–257.
5. Sitnikov V.F., Skopintsev V.A. Intellektualnaya elektroenergeticheskaya sistema s aktivno-adaptivnoy setyu [Intelligent power system with active-adaptive grid (Smart grid)]. *Elektrika*, 2012, no. 3, pp. 2–7.
6. Zhelonkin A.V., Belyavskiy A.V. Budushchee – za intellektualnyimi elektrosyemami [Future is in intellectual electric systems]. *Energetika Tatarstana*, 2010, no. 3, pp. 13–21.
7. Idris M.R., Khairuddin A., Mustafa M.W. Optimal allocation of FACTS devices for ATC enhancement using bees algorithm. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 2009, vol. 3, no. 6, pp. 1295–1302.
8. Asare P., Diez T., Galli A., O'Neill-Carillo E., Robertson J., Zhao R. An overview of flexible AC transmission systems. *School of Electrical Engineering Purdue University West Lafayette*, 1990. P. 90. Available at: <http://docs.lib.purdue.edu/ecetr/205/> (accessed 17 November 2015).
9. Georgilakis P.S., Vernados P.G. Flexible AC transmission system controllers: an evaluation. *Trans. Tech. Publications: Materials Science Forum*, 2011, vol. 670, pp. 399–406.
10. *Umnyy uchet – pervyy shag k umnym setyam: prezentatsiya OAO «FSK EES»* [Smart account – the first step towards smart grids. Presentation of JSC «FGC UES»]. Available at: [http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution/innovations/Presentation/Doklad\\_Slobodin.pdf](http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution/innovations/Presentation/Doklad_Slobodin.pdf) (accessed 1 November 2015).

11. Kobets B.B., Volkova I.O. *Innovatsionnoe razvitie elektroenergetiki na baze kontseptsii Smart Grid* [The innovative development of electric power industry on the basis of the Smart Grid concept]. Moscow, Energiya Publ., 2010. 208 p.
12. Shakaryan Yu.G., Novikov N.L. *Tekhnologicheskaya platforma Smart Grid (osnovnye sredstva)* [Technology platform Smart Grid (fixed assets)]. *Energoekspert*, 2009, no. 4, pp. 42–49.
13. Vorotnitskiy V.E., Rabinovich M.A., Kakovskiy S.K. *Optimizatsiya rezhimov elektricheskikh setey 220–750 kV po reaktivnoy moshchnosti i napryazheniyu* [Optimization of electric networks 220–750 kV for reactive power and voltage]. *Energiya edinoy seti*, 2013, no. 3 (8), pp. 50–59.
14. Novikov S.V. *Sistemy regulirovaniya energetiki Rossii i ES: opyt, uroki, evolyutsiya i vzaimodeystvie* [Energy regulation system of Russia and EU: experience, lessons, evolution and interaction]. Available at: [http://www.fstrf.ru/about/activity/inter/meropr/6/Novikov\\_rus.pdf](http://www.fstrf.ru/about/activity/inter/meropr/6/Novikov_rus.pdf). (accessed 1 November 2015).
15. Ivanov T.V. *Kurs na Smart Grid. Intellekturnaya elektroenergetika kak novyy format geoenergeticheskoy suverennosti Rossii* [The course on Smart Grid. Smart electric power industry as a new format geo sovereignty of Russia]. *Umnye izmereniya*, 2011, no. 2, pp. 6–7.
16. Kablov E.N. *Shestoy tekhnologicheskii ukhod* [Sixth technological structure]. *Nauka i zhizn*, 2010, no. 4, pp. 2–7.
17. Balatskiy E.V., Ekimov N.A. *Doktrina vysokotekhnologichnykh rabochikh mest v rossiyskoy ekonomike* [The doctrine of high-tech jobs in the Russian economy]. Moscow, Editus Publ., 2013. 124 p.
18. *Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 13 noyabrya 2009 g. № 1715-r «Ob energeticheskoy strategii RF na period do 2030 g.»* [The order of the Government of the Russian Federation no. 1715-r from 13 November 2009 «On energy strategy of the Russian Federation for the period till 2030»]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902187046> (accessed 17 November 2015).
19. Balabanov M.S. *Opreделение типа FACTS-ustroystv* [The type definition of FACTS devices]. Certif. RF, no. 2014663236, 2014. Available at: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet) (accessed 17 November 2015).
20. Balabanov M.S. *Opreделение типа FACTS-ustroystv V 2.0* [The type definition of FACTS devices V 2.0]. Certif. RF, no. 20156178966, 2015. Available at: [http://www1.fips.ru/fips\\_servl/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet) (accessed 17 November 2015).
21. Balabanov M.S., Khamitov R.N. *FACTS-ustroystva. Vybory pri proektirovaniy elektrooborudovaniya predpriyatiy* [Selecting of FACTS-devices in the electrical equipment design of the industrial enterprises]. Omsk, OmGTU Publ. house, 2015. 184 p.
22. Zavadskiy V.A., Koshelev A.V. *Ekologicheskie aspekty v energosberegayushchey politike setevykh predpriyatiy* [Environmental aspects of energy saving policy of the network enterprises]. *Energoaudit*, 2007, no. 3, pp. 22–26.
23. Puzanov A.V., Baboshkina S.V. *Khimicheskiy sostav pochvy i rasteniy razlichnykh po antropogennoy nagruzke territoriy g. Barnaula* [Chemical composition of soils and plants of the Barnaul city territories characterized by different anthropogenic load]. *Mir nauki, kultury, obrazovaniya*, 2008, no. 3, pp. 14–18.
24. Balabanov M.S., Vinogradov A.L. *Privedenie parametrov kachestva elektroenergii k trebovaniyam GOST v seti AO «Kovdorskiy GOK»* [Coordination of the power supply quality to the requirements of State Standard in network of «Kovdor GOK»]. *Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sostoyaniye i perspektivy razvitiya elektro- i teplotekhnologii»* [Proc. of Int. Conf. Development of electro and heat technology]. Ivanovo, IGEHU Press, 2015. pp. 144–148.
25. Balabanov M.S., Balabanov G.S., Oshchepkov M.B. *Ustroystva kompensatsii reaktivnoy moshchnosti v setyakh s avtonomnymi energoistochnikami* [Reactive power compensation in networks with autonomous energy sources]. *Turbiny i dizeli*, 2012, no. 5 (44), pp. 64–69.
26. Klimov P.V., Surzhikov V.D., Surzhikov D.V., Bolshakov V.V. *Otsenka antropogennogo zagryazneniya atmosfernogo vozdukh g. Novokuznetska* [Evaluation of anthropogenic air pollution in Novokuznetsk]. *Vestnik Kemerovskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2011, no. 2 (46), pp. 190–194.
27. Podurets O.I. *Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvennom pokrove g. Novokuznetska* [The content of heavy metals in the soil cover in Novokuznetsk]. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki*, 2014, no. 5–1, pp. 136–140.
28. Balabanov M.S., Baboshkina S.V. *Meropriyatiya po realizatsii Kontseptsii ekologicheskoy bezopasnosti goroda Chelyabinska do 2020 goda na primere modernizatsii ferrosplavnogo proizvodstva OAO «Chelyabinskiy elektrometallurgicheskiy kombinat»* [Activities on realization of the ecological safety Concept of Chelyabinsk city until 2020 on example of modernization of ferroalloy production «Chelyabinsk electrometallurgical industrial complex»]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2014, no. 4 (88), pp. 47–55.

Received: 18 November 2015.