УДК 620.9.001.12/.18

**В.В. Бушуев , А.С. Каменев , Б.Б. Кобец**

**ЭНЕРГЕТИКА КАК ИНФРАСТРУКТУРНАЯ «СИСТЕМА СИСТЕМ»**

Энергетика может рассматриваться как метасистема, интегрирующая различные сферы деятельности ТЭК. Она представляет собой единство экономической, силовой, информационной, технологической и других систем, составляющих не просто организационно-технологическое многообразие этой метасистемы, а новую системную интегрированную конструкцию, обеспечивающую сочетание определенной самостоятельности множества центров принятия решений и их скоординированное участие в решении главной задачи – обеспечить устойчивое жизнеобеспечение социума. Вработе в постановочном плане обосновывается целесообразность использования методологии «системы систем» для решения задач управления развитием и функционированием на примере инфраструктурных систем – энерго-, газо- и теплоснабжения городов и агломераций, а также на примере сложных, в т.ч. и межгосударственных объединений. Показано, что информационные сети, обеспечивающие единство этих задач, сами являются инфраструктурной основой энергетики.

*Ключевые слова: энергетика, метасистема, инфраструктура, информационная сеть.*

**Инфраструктурные метасистемы**

Инфраструктура – основа устойчивого развития и функционирования любого социума. Задачи поддержания, развития и рационального использования инфраструктуры есть жизненная необходимость и залог выживания государства и общества в условиях глобальной конкуренции. Инфраструктурные сферы общественной жизни (энергетика, транспорт, связь, ЖКХ и др.) представляют собой сложные метасистемы, состоящие из отдельных систем, имеющих свои целевые, структурные и функциональные особенности, но в конце концов объединенных конечным предназначением (обеспечение устойчивого развития социума). Метасистема, или получившее в современной зарубежной литературе по системологии понятие «система систем» (System of system, SoS), – это не только более высокий уровень объединения сложных систем, но и иной вид их интеграции, когда каждая из систем полностью самостоятельна и даже может конкурировать со смежными системами за исходные ресурсы, в т. ч. и финансовые средства общих потребителей (государства, населения) и банковских структур, но они взаимно дополняют друг друга в общей задаче жизнеобеспечения общества. Так, например, системы газоснабжения и электроснабжения конкуренты в системе ЖКХ, но они не только сосуществуют вместе, но и дополняют друг друга, обеспечивая в целом более широкий спектр энергетических услуг и более развитую инфраструктурную основу энергоснабжения потребителей. Тепловая, гидро-, атомная энергетика, а в последнее время и ВИЭ, составляют единый генерирующий комплекс, который только вместе с сетевым комплексом и потребительским сектором создает электрическую систему как единое целое. Территориальная интеграция этих систем образует энергообъединение, составные части которого могут конкурировать на общем оптовом рынке, но своим совместным существованием обеспечивают не только надежность и эффективность (за счет снижения общего резерва мощности, совместного регулирования пиковых нагрузок и взаимопомощи в аварийных условиях), но и живучесть Единой энергетической системы. В России инфраструктурные метасистемы вслед за общественно-политическим строем также испытали метание от одной крайности к другой и обратно. На примере электроэнергетики можно видеть, что переход от планово-директивной системы экономики к государственно-рыночной предопределяет необходимость трансформации идеологии системности к SoS-идеологии. Действительно, раньше ЕЭЭС страны была при всей ее сложности моносистемой, направленной на обеспечение баланса спроса (нагрузки) и предложения (генерации). Целевые задачи для энергетики были сформулированы директивными решениями партии и правительства, а межотраслевой и внутриотраслевые балансы спроса и предложений задавались установками Госплана СССР и транслировались вниз по иерархической лестнице вплоть до отдельных предприятий и регионов. Эти установки учитывали в общем ТЭБ страны возможность эффективного использования первичных ТЭР, неравномерно распределенных по территории. При этом на основе искусственного ценообразования на различные энергоресурсы заранее определялась целесообразность развития смежных топливных отраслей и размещение энергоемких потребителей. В рамках совместного управления Госплана и Минэнерго СССР формировалась структура энергетических мощностей, программа их ввода, обеспеченность ресурсами. Задачей управления самой электроэнергетикой оставалось выполнить эти программные установки, на что и были нацелены различные системы оперативно-диспетчерского управления, территориально и организационно повторяющие структуру ЕЭЭС (РЭУ, ОДУ, ЦДУ). Во все времена существования СССР (а во многом и до сих пор) считалось, что непрерывный рост электропотребления (а, следовательно, и производства) есть непременное условие развития экономики страны. Для СССР – с его планово-директивной системой организации экономики и всей социальной сферы наличие отраслевого управления было совершенно естественным и обеспечивало реализацию общего принципа, сформулированного еще в плане ГОЭЛРО: «Коммунизм – это есть советская власть плюс электрификация всей страны». Именно такая система организации электроэнергетики позволила стране стать одной из ведущих индустриально развитых стран мира, а советский опыт работы ЕЭЭС был примером не только для стран социалистического лагеря, но и для США, Франции, других стран Европы, Азии и Южной Америки. После развала СССР доминирующим стало представление, что централизованное управление – это анахронизм, и электроэнергетика нуждается не в государственном управлении и развитии, а в приватизации, либерализации, свободном ценообразовании и доминанте рыночных отношений. В результате проведенной реформы были созданы различные ТГК, ОГК, сетевые и сервисные компании, которые не столько конкурируют между собой в борьбе за потребителя, сколько отражают частные интересы собственников и менеджеров компаний в использовании финансовых ресурсов инвесторов, государства и потребителей. Реформа не привела к ожидаемым результатам массового привлечения частного капитала инвесторов и снижению цен за счет конкуренции поставщиков. А введение различных модификаций оптового и розничных рынков с их многочисленными регуляторами привели к организационному и финансовому противостоянию поставщиков- монополистов и потребителей. Регулирование цен со стороны государства, с одной стороны, из опасений социального недовольства большинства потребителей тормозило этот рост цен, при том, что доля затрат на электроснабжение неуклонно снижалась и составляет сегодня всего 3% в себестоимости промышленной продукции. И это несмотря на то, что динамика российских цен действительно опережала рост цен в промышленности и превысила уровень цен в США. С другой стороны, искусственное сдерживание цен по сравнению с их объявленной либерализацией отпугнуло инвесторов своей непоследовательностью. И это сдерживает не только развитие, но и необходимую модернизацию устаревших фондов в электроэнергетике, что грозит стране потерей ее энергетической безопасности. Налицо явное противоречие между производительными и потребительскими секторами единой электроэнергетики. По сути, эти сектора стали в новых условиях самостоятельными организационно-технологическими системами, которые нуждаются в новой SoS-интеграции, тем более, что во все большей степени проявляется конкуренция между централизованными и самостоятельно создаваемыми потребителями децентрализованными системами энергоснабжения. Их противоречие проявляется в том, что централизация экономически более выгодна, а децентрализация в ряде случаев – более надежна, удобна и эффективна. Поэтому и необходим поиск новых условий их SoS-интеграции. Констатация этого факта не означает призыва к немедленному возврату к старой централизации. Смотреть вперед можно и нужно только на основе непредвзятого анализа того, что мы имеем сегодня и осознания того, какие новые требования предъявляются обществом к многоликой электроэнергетике и по какому пути она должна развиваться, чтобы обеспечить свою роль в жизни страны.  
Сверхцель для современной электроэнергетики – инфраструктурное обеспечение социально-экономического развития страны и обеспечение должного уровня комфорта для населения [1].

**ТЭК агломерации как пример инфраструктурной метасистемы**

ТЭК агломерации представляет собой метасистему, состоящую из нескольких взаимосвязанных и конкурирующих сложных комплексных систем:

* газовой;
* теплоснабжение (в т. ч. снабжение горячей водой);
* электроэнергетической;
* снабжение нефтепродуктами.

Точкой соприкосновения всех систем является конечный продукт/услуга потребителю, который должен быть предоставлен на требуемом уровне комфорта (доступность, надежность, качество и т.д.). Глобальной целью метасистемы топливно-энергетического комплекса агломерации является поддержание и улучшение стандартов обслуживания в условиях изменения внешних факторов (демографические, экономические, научно-технические, экологические). Из этой глобальной цели формируются уже цели рангом ниже, но остающиеся в рамках метасистемы. Например:

* обеспечение энергетического баланса;
* разработка средне- и долгосрочной стратегии развития;
* надежность и доступность продукта;
* предоставление выбора потребителю;
* разработка нормативной базы и осуществление арбитража;
* снижение себестоимости услуг за счет более рационального использования имеющейся инфраструктуры.

Процесс построения модели для любой метасистемы, в т. ч. данной, осложнен тем, что для одного и того же продукта (функции) системы выступают и как конкуренты, и как партнеры. Так, например, газоснабжение может быть конечным вариантом обеспечения приготовления пищи и отопления в коммунально-бытовом секторе, и в тоже время использоваться на ТЭЦ и в котельных как промежуточное использование энергоносителя для производства электроэнергии – конечного потребительского продукта, используемого, в т. ч. и для целей электро- теплоснабжения. Газ может быть заменителем моторного топлива для автомобилей, а также ресурсом для производства электрической энергии при зарядке электромобилей. Выбор того или иного варианта сочетания промежуточных и конечных энергопродуктов не может быть осуществлен только по экономическим условиям. Социальная эффективность потребительской энергетики определяется и удобством, и надежностью, и комфортом предоставляемых энергетических услуг. Немаловажную роль при принятии инфраструктурных решений играют задачи управляемости систем энергоснабжения.

**«Система систем» в разрезе дихотомии централизации**

На протяжении всей человеческой истории можно проследить борьбу двух подходов централизации и децентрализации. Каждый из этих подходов обладает своими достоинствами и недостатками, которые российское общество смогло эмпирически ощутить в процессе своего исторического развития в XX веке. Как командно-административная, так и свободно-рыночная модель раз за разом доказывали свою неэффективность и несостоятельность. С одной стороны, управление сложными, комплексными системами невозможно при построении жестко иерархической структуры вследствие фундаментального принципа: чем больший[[1]](#footnote-1) путь проходит управляющий сигнал, тем более вероятна ошибка при его передаче, следствием чего являются потребности в карикатурном «ручном» управлении и набившие всем оскомину выражения «руководителям надо знать ситуацию на местах». Помимо этого, в таких структурах падает как скорость принятия решения, так и отказоустойчивость: при отказе одного из центральных узлов нарушается работа всей системы в целом. Из-за высокой нагрузки возрастают и требования к центральным узлам, которые зачастую невозможно удовлетворить в полном объеме. С другой стороны, децентрализация ведет к нерациональному использованию ресурсов вследствие конфликтов и конкуренции между составляющими системами и их частями. Принятие решения происходит в условиях явной информационной неосведомленности, отсутствие единого центра, в конечном счете приводит к ослаблению и деградации всей метасистемы в целом вследствие отсутствия внятной стратегии развития и траты существующих ресурсов и возможностей для обслуживания сиюминутных интересов и потребностей многочисленных самостоятельных центров принятий решений. Примеров несостоятельности децентрализованных систем предостаточно. Феномен «фиаско рынка», когда «невидимая рука» рынка не в состоянии обеспечить равновесие и требуется вмешательство государства, сопровождает уже не первый экономический кризис. Так, например, одной из основных задач развития энергетической инфраструктуры является поиск такой интеграции централизованных и децентрализованных систем энергоснабжения на уровне региона, которая бы обеспечила, с одной стороны – интересы всех заинтересованных сторон, а с другой – устойчивое и гарантированное развитие и функционирование. Именно подобные задачи и являются предметом использования SoS-проектирования при создании метасистемных структур.

**Несколько слов о SoS-проектировании**

Наиболее широкое распространение понятие «система систем» получило как набор или компоновка систем, в результате которого независимые и полностью функциональные системы объединены в более крупную систему, что приводит к появлению уникальных возможностей[[2]](#footnote-2) [3].

Другими словами, SoS – это объединение нескольких систем для решения задач, которые ни одна из объединенных систем не в состоянии выполнить самостоятельно. При этом каждая система сохраняет свое собственное управление, цели и ресурсы, находясь в условиях координации с другими системами SoS и адаптации к целям SoS. Принципиальная разница системы и «системы систем» представлена в табл. 1.

**Таблица 1. Принципиальные различия системы и «системы систем»**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Свойства | Система | «Система систем» |
| 1. Сфера деятельности | Единственная | Множество |
| 2. Структура | Радикально-иерархическая | Ячеисто-сетевая |
| 3. Индикаторы | Интегральный | Многофакторный |
| 4. Управление | Иерархическое | Мультиагентное |
| 5. Интерфейс | Общесистемный | Сетевой |
| 6. Целеположение | Программное | Адаптивное |

В зависимости от степени централизации SoS подразделяют на следующие категории [4]:

• *Виртуальная.* В SoS отсутствуют централизованное управление и главные цели.

• *Коллаборативная* (мягкая). Системы в SoS взаимодействуют более или менее добровольно для удовлетворения согласованных главных целей.

• *Согласованная* (смешанная). Цели SoS признаются основными, в то время как компоненты сохраняют свои собственные задачи, финансирование и подходы к развитию.

• *Директивная* (жесткая). SoS создана и управляется для выполнения конкретных задач. Компоненты работают независимо друг от друга, но их режим работы находится в подчинении целям SoS. С точки зрения проектировщика от обычной системы SoS имеет следующие основные отличия:

• *Участие заинтересованных сторон*. Заинтересованные стороны присутствуют со своими, зачастую конкурирующими между собой интересами и приоритетами одновременно на уровне отдельно взятой системы и SoS в целом. Иногда участники какой-либо системы не заинтересованы в SoS. Интересы не всех участников могут быть приняты во внимание.

• *Управление*. Управление и финансирование осуществляется независимо как для SoS, так и для отдельных систем. Как правило, SoS не имеет полной власти над всеми системами.

• *Функционирование*. SoS должна выполнять свои оперативные задачи, используя системы, чьи цели могут не совпадать с целями SoS.

• *Границы и интерфейсы*. Обычная система не распространяется дальше своих границ и сфокусирована на своих интерфейсах. В свою очередь, SoS должна уметь определять системы, которые способствуют достижению ее целей и без потери функциональности связывать их с другими включенными системами посредством своей информационной составляющей, то есть SoS должна иметь соответствующую этим задачам информационную систему, способную адаптироваться к изменению состава обслуживаемых систем.

• *Производительность и поведение*. Система функционирует для выполнения своих собственных целей. Производительность SoS должна удовлетворять как нужды пользователей SoS, так и нужды включенных систем. Более подробное сравнение представлено в табл. 2 [5]. Таким образом, «систему систем» можно представить как динамический набор систем для реализации поставленных задач. В зависимости от поставленной задачи формируется «система систем » (см. рис. 1).

**Таблица 2. Сравнительная оценка системы и «системы систем»**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сравнительные характеристики | Система | «Система систем» |
| *Управление и контроль* | | |
| Участие заинтересованных сторон | Полностью определенный круг заинтересованных сторон | Два уровня заинтересованных сторон в условиях смешения зачастую конкурирующих интересов |
| Управление | Унифицированное управление и финансирование | Увеличение уровней сложности в связи с необходимостью в управлении и финансировании как SoS, так и отдельно взятых систем |
| *Оперативная деятельность* | | |
| Функционирование | Разработана для удовлетворения конкретных оперативных целей | Призвана удовлетворять оперативные цели, используя включенные системы, чьи цели могут не совпадать с целями SoS |
| *Внедрение* | | |
| Тестирование и оценка | Тестирование и оценка системы принципиально возможны | Тестирование и оценка представляют сложную задачу, зачастую невозможную из-за разных жизненных циклов используемых систем и постоянно меняющейся конфигурации |
| *Проектирование* | | |
| Границы и интерфейсы | Акцент на границах и интерфейсах | Акцент на определении систем, способствующих выполнению целей SoS, а также на обеспечении соответствующего уровня развития информационной составляющей |
| Производительность и поведение | Система функционирует для выполнения своих собственных целей | Производительность SoS должна удовлетворять нужды пользователей SoS и соблюдать баланс между потребностями систем |



*Источник: авторы статьи.*

***Рис. 1. Архитектура SoS***

Основным вызовом при проектировании метасистем является поиск сбалансированного решения в условиях связи типа «многие к многим». Это вызвано следующими факторами:

• поставленная цель может требовать разнообразных возможностей и свойств;

• свойство какой-либо системы может быть задействовано для достижения нескольких целей;

• система может обладать множеством свойств и быть задействована для достижения нескольких целей;

• многие системы обладают одинаковыми (в свете достижения цели) возможностями;

• некоторые возможности появляются вследствие эмерджентности объединения нескольких систем;

• системы могут управляться из множества центров приятия решений. Итак, идеология «система систем» применима для решения вопросов проектирования и моделирования сложных составных систем с множеством центров принятия решений. В таких системах наблюдаются четыре основные проблемы управления (см. рис. 2):

• централизованного управления;

• разработки и реализации стратегии;

• координации;

• арбитража.

Данные проблемы из-за чрезвычайно сложной структуры, конфликтов и конкуренции в метасистеме невозможно решить построением классической иерархической модели. В таких условиях следует применять идеологию «системы систем», одним из основных принципов которой является субсидиарность на уровне оперативного управления. Взаимосвязь между центрами принятия решений разных систем осуществляется посредством облака горизонтальных связей. Надсистемный центр занимается вопросами целеполагания, в соответствии с которым формирует облако горизонтальных связей (см. рис. 3), арбитража и оценки рисков в рамках метасистемных целей. Как видно из этого рисунка, эмерджентность построенной «системы систем» возникает за счет возможности координации и арбитража множества систем в оперативном режиме, в результате чего появляется способность выполнения задач, которые каждая система в отдельности решить не может. Отдельного рассмотрения при проектировании требует информационная система, являющаяся инфраструктурной по отношению ко всей метасистеме. Она делится на две неравнозначные части: подсистемы управляющих сигналов (иерархическая составляющая) и подсистему информационного поля принятия решений (облако горизонтальных связей).



*Источник: авторы статьи.*

***Рис. 2. Основные проблемы управления сложных составных систем***

******

*Источник: авторы статьи.*

***Рис. 3. Иерархическая структура в SoS***

**Информационная система – инфраструктурная основа метасистемы**

Как мы уже отмечали выше, информационная система является инфраструктурной по отношению ко всей метасистеме. Ее основная задача — информационное обеспечение управленческих функций участников метасистемы как на оперативном, так и на стратегическом уровнях. Без адекватного информационного обеспечения менеджмента принципиально невозможно создание новых и оптимизация существующих бизнес-процессов в метасистеме. Осведомленность, транспарентность, координация и, как результат, коллективная направленность на поддержание устойчивого развития являются продуктами развитой информационной системы. Для описанной выше инфраструктурной метасистемы «ТЭК агломерации» была разработана следующая концепция информационной системы (рис. 4)

******

*Источник: авторы статьи.*

***Рис. 4. Концепция информационной системы инфраструктурной метасистемы «ТЭК агломерации»***

**1. Цель:** информационное обеспечение управленческих функций участников метасистемы как на оперативном, так и стратегическом уровнях.

**2. Структура:**

• независимые участники и их информационные системы (ИС);

• информационные кластеры;

• экспертные системы;

• надзорный орган (в случае необходимости).

**3. Функционирование.**

***3.1. Сбор и хранение данных.*** На метасистемном уровне формируются стратегические цели.

Например:

* + надежность и доступность продукта;
  + устойчивое развитие всей метасистемы в целом;
  + разработка средне- и долгосрочной стратегии развития;
  + предоставление выбора потребителю;
  + снижение себестоимости услуг за счет более рационального использования имеющейся инфраструктуры.

В соответствии с этими целями и бизнес-процессами в метасистеме производится кластеризация и определяются:

• стандарты сбора информации (что собирать и каким образом);

• стандарты интерфейсов ИС.

Хотелось бы отметить, что информационные системы независимых участников могут быть различными, но обязаны иметь совместимые с кластером интерфейсы, по которым должны передавать определенную стандартом информацию о своем состоянии.

Кластеры выполняют следующие функции:

• хранение информации;

• обеспечение участникам, не включенным в кластер, доступа к кластерным данным;

• обеспечение участникам кластера доступа к данным других кластеров. Таким образом обеспечивается сбор и хранение данных для всей метасистемы.

***3.2. Информационное обеспечение***

Метасистемное информационное обеспечение принятия решения требуется как на оперативном, так и на стратегических уровнях управления. Доступ к огромным массивам данных, как внутрисистемных и метасистемных, скорее всего, приведет к информационной перегрузке лица принимающего решения. Поэтому необходимой составляющей должны стать интеллектуальные средства поддержки принятия решения (экспертные системы), работающие с массивом первичных данных. Например, такие интеллектуальные средства могут с учетом состояния других участников подсказать оператору последствия его решения. Надзорный орган, оценивающий состояние всей метасистемы в целом, благодаря экспертным системам может оценить риски и в случае выхода параметров метасистемы за определенные стандартом предельные значения, скоординировать работу независимых участников. Стоит отметить, что искусственные нейронные сети в виду их структуры (модель персептрона: много входов – один выход) представляются перспективными в качестве методологии при создании интеллектуальных средств принятия решения.

**Искусственные нейронные сети как средство моделирования устойчивого поведения метасистем**

Энергетика сегодня находится на самом проблемном, а, следовательно, захватывающем и динамичном этапе своего развития, требующем новых подходов, идеологии и инфраструктуры, основными чертами которых должны стать: сетевая архитектура, мультиагентное управление, интеллектуальность, самоорганизация, отраслевая интеграция и удобство, как определяющий социально-психологический критерий. Авторы отмечают надвигающийся структурно-технологический кризис в энергетике, когда морально устаревшая инфраструктура и идеологические подходы в отрасли не соответствуют тем вызовам, которые перед ними ставят новые технологии. Отмечается, что одним из способов преодоления такого кризиса является построение взаимосвязанных самоорганизующихся интеллектуальных систем, предполагающих мультиагентное управление так называемых «интеллектуальных» сетей. Отметим, что «интеллектуальные» сети есть эволюционное продолжение «умных» сетей, для «интеллектуализации» последних можно предложить использование искусственных нейронных сетей (ИНС) [5]. В условиях рыночной нестационарности огромную ценность приобретают методы, способные моделировать процессы, в частности – прогнозировать цены на рынке, прибыль или убытки, получаемые в реальном процессе энергоперетоков. Для эффективного предсказания в таких условиях требуется использовать способные к обучению (адаптирующиеся) системы или искусственный интеллект. Самые известные и распространенные из них это нейронные сети. В случае нестационарного процесса могут возникнуть трудности с их обучением. Фактически эффективное обучение возможно только на интервале квазистацинарности, когда вероятностные характеристики процесса не сильно меняются. Это связано с тем, что в таких условиях отсутствуют сведения о законах развития анализируемого процесса, существуют только входные величины, предыдущие значения цены. Для решения данной проблемы используется системное моделирование, которое подразумевает наличие информации о структуре процесса, некоторую его модель. Для этого необходимо выбрать оптимальные параметры этой модели, полученные в процессе обучения. По результатам использования нейросетей в качестве средства моделирования поведения сложной системы как «системы систем» можно сделать следующие выводы:

1. Нейросети могут использоваться как эффективный инструмент краткосрочного и среднесрочного моделирования процессов как сложных временных рядов.

2. Для получения более точных результатов следует учитывать и практически применять этап оптимизации архитектуры сети. При этом повышается надежность настройки сети и качество прогнозирования.

3. Наряду с этим, успех использования аппарата нейросетей для решения задач прогнозирования зависит, прежде всего, от опыта экспертов, необходимого для выбора топологии сети, метода обучения и т.д.

Приведем также перечень основных задач, решаемых нейрокомпьютерами в современных энергетических системах.

1. Программирование, предсказание нагрузки.

2. Потокораспределение энергии.

3. Нейронные сети являются эффективным аппаратом диагностики энергетических систем.

4. Определение параметров стабилизации напряжения в энергосистемах с использованием нейронных сетей.

5. Размещение измерительных устройств на электростанциях с помощью нейронных сетей.

Использование нейротехнологий в энергетике позволяет также повысить эффективность решения следующих проблем: прогнозирования температуры окружающей среды с целью планирования нагрузки, диагностики энергосистем с целью определения неисправностей, мониторинга безопасности энергосистем, обеспечения устойчивости, оценки динамического состояния и диагностики генераторов.

**Использование метасистемного подхода в задачах энергетической интеграции межгосударственных объединений**

При объединении энергосистем различных стран возникает главная задача – как совместить национальные интересы энергетических компаний, действующих на территории суверенных государств и подчиняющихся своим интересам и законам с общей задачей интеграции, обеспечивающей эффективное использование коллективных ресурсных возможностей отдельных территорий (запасов топлива, гидроэнергии), развитую энергетическую инфраструктуру, надежный рынок энергопотребления, обеспечить коллективную энергетическую безопасность и эффективность энергетики. В частности, такие задачи возникают сейчас при создании Евро-азиатского экономического пространства и при интеграции энергосистем России, Казахстана и Центральной Азии. При использовании традиционного объединения с передачей части функций целеполагания и управления развитием энергосистем задача «разумной» интеграции не имеет удовлетворительного решения. В частности, не достигается компромисс между проблемами эффективного использования воды в интересах Узбекистана и строительством Рогунской и Нурекской ГЭС. В традиционные схемы выдачи мощности не вписывается развитие Экибастуза. Противоречия вызывают трассы предполагаемого энергомоста Сибирь – Урал (минуя Казахстан или с использованием его территории). Во всех этих случаях необходимо применение SoS-подхода, позволяющего выстраивать новую метасистему как объединение с множеством центров принятия решений, но работающих на высшую цель – обеспечение устойчивого развития Евразийского пространства за счет выбора необходимой инфраструктурной схемы интеграции. Одна из таких схем приведена на рис. 5.



*Источник: ИЭС.*

***Рис. 5. Гипотетическая модель транспортно-энергетической инфраструктуры Евразии***

Здесь приведена не схема возможных ВЛ и других транспортно-энергетических коммуникаций (трубопроводных, железнодорожных, водно-энергетических), а инфраструктурная схема, обеспечивающая различные энергетические потоки (углеводородов, воды, электроэнергии, энергоемких товаров – руды, металлов, продуктов переработки сырьевых ресурсов). Такой подход позволяет рассматривать инфраструктуру не как конечный результат энергетической интеграции, а как исходное условие для выбора и размещения основных производительных сил – центров энергопотребления и центров энерго-производства (добычи). При этом необходимо комплексно рассматривать поставленную проблему в свете не только экономических, технологических и управленческих, но и социально-психологических аспектов, обеспечивающих не просто развитие, но и эффективный устойчивый рост отрасли, экономики и общественного производства в целом. В этой связи проблема устойчивого развития является одной из самых актуальных задач современности на мировом уровне в связи с глобальным кризисом миросистемы (природа-общество-человек), а также на уровне региональных объединений (типа ЕврАзЭС), отдельных стран, отраслей и бизнес-структур. Ее решение требует не просто единого (экономического, экологического, энергетического) подхода, а новой методологии, основанной на общих принципах социоприродного и социотехнического развития. При этом базовыми принципами методологии устойчивого развития, реализация которых позволяет создавать метаситемы на принципе SoS-подхода, являются:

• комплексный анализ ресурсного потенциала такого развития (совокупности природных ресурсов всех видов, организационно-производственного, социального и человеческого капитала, составляющих национальное богатство (общее благо);

• анализ движущих сил (суммарного энергетического потенциала в виде исходных природных ресурсов и воспроизводимых в процессе социально-производственной деятельности человечества новых материальных активов и нематериальных возможностей);

• анализ процессов реализации этого потенциала (работы = энергии) для получения конечных продуктов и услуг, составляющих блага цивилизации (общества, хозяйственного объединения);

• выявление условий безопасности (устойчивости и живучести), эффективности и расширенного инновационного воспроизводства в системе, осуществляющей замкнутый энергетический процесс преобразования потенциала в действие;

• использование структурного подхода, позволяющего выявить внутренние силы самодвижения (саморазвития) системы за счет накопленной структурной энергии (в т. ч. синергетического эффекта гармонического энерго-эколого-экономического взаимодействия динамических элементов этой системы).

Методология живучести и устойчивого развития базируется на комплексном эргодинамическом подходе, основу которого составляет представление о том, что энергия является не просто движущей силой любых преобразований, а синонимом самих действий – полезной работы. В результате энергетических преобразований формируется новый структурный потенциал, который реализуется в виде дополнительной структурной энергии, что создает возможность самодвижения и саморазвития системы в направлении не «тепловой смерти», а ее живучести и устойчивого развития. При этом сохраняется главное свойство метасистемы – ее единство (жизнеспособность) и саморазвитие.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Бушуев В.В. Энергетика России. Т. 1. По- тенциал и стратегия реализации. М.: Энергия, 2012.*
2. *Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: Энергия, 2010.*
3. *A. Pyster, P. Gardner. Critical Success Factors in Systems of Systems Engineering // Tactical Systems & Solutions Business Unit, 2006*
4. *J. Dahmann, K. Baldwin. Understanding the Current State of US Defense Systems of Systems and the Implications for Systems Engineering // IEEE Systems Conference. Montreal, 2008.*
5. *Каменев А.С., Королев С.Ю., Сокотущенко В.Н. Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей / под ред. В.В. Бушуева. М.: Энергия, 2012.*
6. *Бушуев В.В. Единая национальная электрическая сеть как инфраструктурная основа ЕЭС России // Энергетическая политика. № 6. 2011.*

1. Величина пути определяется количеством узлов системы, участвующих в процессе. [↑](#footnote-ref-1)
2. An SoS is defined as a set or arrangement of systems that results when independent and useful systems are integrated into a larger system that delivers unique capabilities. [↑](#footnote-ref-2)