

Федосова Алина Васильевна

**ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ В РОССИИ**

Специальность: 08.00.05 –

Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление
предприятиями, отраслями, комплексами (промышленность))

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена на кафедре энергетических и сырьевых рынков факультета мировой экономики и мировой политики учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

Научный руководитель:

Волкова Ирина Олеговна

доктор экономических наук, доцент
Национального исследовательского
университета «Высшая школа экономики»

Официальные оппоненты:

Окороков Василий Романович,

заслуженный деятель науки РФ, доктор
экономических наук, профессор ФГБОУ
ВПО «Санкт-Петербургский
государственный политехнический
университет»

Фомина Валентина Николаевна,

кандидат экономических наук, профессор
кафедры экономики и управления в
энергетике ФГБОУ ВПО «Государственный
университет управления»

Ведущая организация:

Национальный исследовательский
университет «Московский энергетический
институт»

Защита состоится «19» декабря 2013 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.229.23 при Санкт-Петербургском государственном политехническом университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, III учебный корпус, ауд.506.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан ноября 2013 г. и размещен на сайте ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургского государственного политехнического университета»:

http://www.spbstu.ru/science/council_defends.html

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.229.23
доктор экономических наук, профессор

Сулоева С.Б.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Электроэнергетика, являясь базовой инфраструктурной отраслью экономики, во многом определяет конкурентоспособность страны на международном рынке. Требования повышения надежности и эффективности функционирования отрасли, а также ее соответствия новым технологическим вызовам побудили большинство развитых стран выбрать в качестве основы своей стратегии в сфере электроэнергетики концепцию интеллектуальной энергетики (Smart Grid*), представляющую собой фундамент инновационного развития отрасли.

Одним из наиболее сложных вопросов разработки и реализации концепции интеллектуальных энергосистем (ИЭС) в разных странах является выбор технологического базиса энергосистемы**. Данный выбор обуславливается широким спектром факторов, формализовать учет которых при разработке архитектуры будущей энергосистемы крайне трудно, поэтому в международной практике все чаще обращаются к требованиям, предъявляемым к будущей интеллектуальной энергосистеме ее участниками и сторонами, чьи интересы затрагиваются в процессе развития ИЭС - «стейкхолдерами».

Одним из важнейших сдерживающих факторов практической реализации интеллектуальной энергосистемы являются трудности оценки вариантов ее развития, которые индивидуальны для разных стран и учитывают целый спектр факторов, определенных стратегическими документами развития отрасли. В России в качестве такого документа выступает «Концепция ИЭС ААС», и направление развития отрасли, заданное ей, до сих пор не согласовано со всеми вовлеченными сторонами. Кроме необходимости индивидуальных оценок для разных стран, трудности обусловлены необходимостью учитывать широкий спектр эффектов и затрат, характеризующихся высокой степенью неопределенности, а также интересов вовлеченных сторон. Для российской интеллектуальной энергетической системы до сих пор отсутствует методологический подход к оценке, преодолевающий указанные ограничения.

Все это определяет актуальность разработки нового методологического подхода к оценке вариантов развития интеллектуальной энергосистемы в России, его ориентацию на выбор наиболее результативного варианта реализации ИЭС на основе требований стейкхолдеров, а также учет параметров будущей энергосистемы, соответствующих отраслевой стратегии.

Степень научной разработанности проблемы

* Согласно определению Института инженеров электротехники и энергетики Европейского союза (IEEE), «умная сеть» (Smart Grid) – это концепция полностью интегрированной, саморегулирующейся и самовосстанавливающейся электроэнергетической системы, имеющей сетевую топологию и включающей в себя все генерирующие источники, магистральные сети (в том числе межгосударственные системообразующие ЛЭП), местные распределительные сети и все виды потребителей электрической энергии, управляемые единой сетью информационно-управляющих устройств и систем в режиме реального времени. (Smart Power Grids — Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology Portal, 2009)

** Под технологическим базисом понимается совокупность технологий, позволяющих сохранять согласованную структуру промежуточных и конечных продуктов и услуг на определенном этапе развития отрасли.

Исследования в сфере инновационных процессов базируются на теории инновационного развития экономики, впервые предложенной Й.Шумпетером [Shumpeter, 1961], и получившей свое развитие в работах многих российских и зарубежных авторов [Landes, 1969, 1998; Lange, 1943; Nelson, 1993; Ruttan, 1959; Агарков С. и др., 2011, Корчагин Ю., 2012, Яковец Ю., 1984].

Существующие подходы к анализу экономической эффективности отраслевых инновационных преобразований, к которым относится развитие интеллектуальной энергетической системы, базируются на анализе «затрат и выгод» (англ. - cost-benefit) [David et al., 2006; Hammond, 1958; Prest, Turvey, 1965; Яacobсон Л., 1996], дополняя при необходимости вследствие ряда его ограничений разработками в рамках теории общественного благосостояния [Дорофеев В., Дресвянников В., 2003; Little, 1950, 2002]. В частности, при оценке масштабных инновационных преобразований особую роль играет теория экстерналий [Arrow, 1970; Coase, 1960; Owen, 2006; Pigou, 1912, 1920; Tian, Yang, 2009; Witt, 1996].

Оценка вариантов развития интеллектуальной энергетики – новое направление исследований, поэтому к настоящему времени представлено крайне мало работ, содержащих количественные результаты в этой сфере. В проанализированных работах, исследующих варианты развития интеллектуальных энергосистем, в основе оценки находится заданный набор технологий, калькулируются эффекты/выгоды, которые он принесет, и сопряженные с ним затраты. [EPRI, 2003, 2010, 2011; VW SGIP, 2009; Дорофеев В.В., Макаров А.А., 2009; Веселов Ф., 2011]

Все представленные методологические подходы характеризуются ограничениями, в первую очередь, связанными с требованием заданного набора технологий ИЭ и неразвитостью инструментов его формирования, а также с трудностями оценки всего спектра эффектов/выгод, которые обеспечивает развитие ИЭС. Это предопределяет необходимость дальнейшего расширения методологии оценки развития интеллектуальных энергосистем.

Целью диссертационного исследования является теоретическое обоснование и разработка принципов, методов и инструментов оценки вариантов развития интеллектуальной энергосистемы России.

Для достижения этой цели были поставлены следующие *задачи*:

1. На основе анализа существующих теоретических и методических основ экономической оценки инноваций и интеграции требований стейкхолдеров сформировать требования к методологии оценки вариантов развития интеллектуальной энергосистемы;
2. Выявить и систематизировать технологические, экономические и иные эффекты/выгоды от развития интеллектуальной энергосистемы России;
3. Разработать методические положения согласования интересов стейкхолдеров при развитии интеллектуальной энергосистемы России;
4. Разработать методологический подход к оценке вариантов развития интеллектуальной энергосистемы, основанный на интеграции функциональных требований вовлеченных сторон, учитывающий полный спектр эффектов и

синергию технологий, провести его эмпирическую апробацию на примере электроэнергетической системы России.

Объект исследования: электроэнергетический комплекс России.

Предмет исследования: система экономических и организационно-управленческих отношений в процессе инновационного развития электроэнергетической системы России на базе концепции интеллектуальной энергетики (Smart Grid).

Методологическую базу диссертационного исследования составляют разработки отечественных и зарубежных авторов в сфере развития интеллектуальной энергетики, методов экономической оценки инвестиций и инноваций, методов оценки неэкономических эффектов и экстерналий, теории стейкхолдеров, моделей стратегического менеджмента.

Диссертация по своему содержанию соответствует специальности 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами (промышленность)), в части пунктов:

1.1.4. Инструменты внутрифирменного и стратегического планирования на промышленных предприятиях, отраслях и комплексах.

1.1.15. Теоретические и методологические основы эффективности развития предприятий, отраслей и комплексов народного хозяйства.

1.1.19. Методологические и методические подходы к решению проблем в области экономики, организации управления отраслями и предприятиями топливно-энергетического комплекса.

В *информационную базу диссертационного исследования* входят: статистические данные; макроэкономические прогнозы Минэкономразвития России; годовая отчетность, инвестиционные и инновационные программы предприятий электроэнергетической отрасли России; материалы зарубежных и российских научных институтов, в том числе материалы проектов, реализованных с участием автора. Нормативно-правовую базу составляют стратегические и нормативные документы России и зарубежных стран, регулирующие вопросы внедрения интеллектуальной энергетики.

Научная новизна исследования состоит в разработке методологических положений экономической оценки вариантов развития интеллектуальной энергосистемы России, позволяющей, в отличие от существующих, определить наиболее результативный сценарий развития ИЭС на базе интегрированных функциональных требований вовлеченных сторон (стейкхолдеров), а также учета полного спектра эффектов/выгод и синергии технологий.

Наиболее существенные научные результаты, отражающие личный вклад автора:

1. Выявлены и систематизированы эффекты/выгоды от внедрения технологического базиса концепции интеллектуальной энергетики в электроэнергетической системе России, состав которых учитывает более полный их спектр, в первую очередь, за счет учета экстерналий и синергии технологий.
2. Разработаны принципы формирования и структура модели зрелости интеллектуальной энергетической системы России, на основе которых автором

сформулированы основные характеристики каждого из уровней и элементов, позволяющие сформировать и оценить варианты ее развития.

3. Разработана методика интеграции функциональных требований заинтересованных сторон при развитии интеллектуальной энергосистемы, базирующаяся на модели зрелости интеллектуальной энергосистемы России, и предложенных автором инструментах учета уровня вовлеченности стейкхолдеров.
4. Предложен методологический подход к экономической оценке вариантов развития интеллектуальной энергосистемы России на базе интегрированных посредством модели зрелости функциональных требований вовлеченных сторон (стейкхолдеров), и учитывающий полный спектр эффектов и синергию технологий.

Теоретическую значимость имеет совокупность методов, развивающих теорию заинтересованных сторон (стейкхолдеров) и экономической оценки отраслевых инновационных преобразований.

Практическая значимость результатов состоит в том, что разработанный и апробированный методологический подход позволяет получить более точную и детальную экономическую оценку вариантов реализации концепции ИЭС в России, и может применяться отраслевыми научными институтами, органами государственной власти, а также вовлеченными электроэнергетическими компаниями при разработке стратегий и обосновании программ развития отрасли.

Апробация результатов

Материалы диссертации внедрены в исследования отдела развития и реформирования электроэнергетики Института энергетических исследований Российской академии наук и использованы в программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 1 «Физико-технические принципы создания технологий и устройств для интеллектуальных активно-адаптивных электрических сетей» при выполнении проекта «Научные основы формирования интеллектуальных энергетических систем России» в 2012 году. Результаты исследования включены в итоговый отчет отдела за 2012 год.

Основные положения и результаты, представленные в работе, докладывались и обсуждались автором на следующих мероприятиях:

1. IX Московский международный энергетический форум «ТЭК России в XXI веке» (Москва, 2011)
2. IV Международный форум Political Economy of Energy in Europe and Russia “Sustainable Development in the Energy Sector” (Пермь, 2012)
3. III Международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодежи» (Екатеринбург, 2012)
4. II Российский экономический конгресс (Суздаль, 2013)
5. 1st Conference of the Research Centre for Energy Management, 51 Meeting of the Euro Working Group on Financial Modeling and the International Centre for Shipping, Trade and Finance (London, 2013)

Публикации

По результатам исследования автором опубликовано 9 работ общим объемом 4 п.л. (авт. 3 п.л.), в том числе 3 работы объемом 1,1 п.л. в рецензируемых изданиях,

рекомендованных ВАК: журналах «ЭТАП: Экономическая Теория, Анализ, Практика» (авт. 0,2 п.л.), «Вестник Тверского Государственного Университета. Серия: экономика и управление» (авт. 0,5 п.л.), «Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки» (авт. 0,4 п.л.).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 199 страницах печатного текста (в том числе 39 страницах приложений), включает 31 таблицу, 18 рисунков, и состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы из 149 использованных источников, в том числе 109 зарубежных, и 4 приложений.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

На основе анализа существующих теоретических и методических основ экономической оценки инновационных преобразований и интеграции требований стейкхолдеров сформированы требования к методологии оценки вариантов развития интеллектуальной энергосистемы:

1. Оценка должна охватывать весь спектр эффектов от развития ИЭС, включая экстерналии;
2. Методология должна позволять сформировать варианты развития (технологические наборы) ИЭС, соответствующие интегрированным функциональным требованиям стейкхолдеров;
3. При интеграции требований стейкхолдеров должна учитываться разница между ними с точки зрения их вовлеченности в реализацию данной концепции;
4. При оценке должна учитываться неопределенность, связанная с инновационным характером отраслевого преобразования;
5. Методология должна быть направлена на сопоставление эффектов и затрат разных вариантов развития ИЭС с учетом ограничений данного вида анализа для отраслевых инновационных преобразований.

В соответствии с этими требованиями сформирован методологический подход к экономической оценке вариантов развития интеллектуальной энергосистемы России на базе интегрированных посредством модели зрелости функциональных требований вовлеченных сторон (стейкхолдеров), и учитывающий полный спектр эффектов и синергию технологий.

1) Выявлены и систематизированы эффекты от внедрения технологического базиса концепции интеллектуальной энергетики в электроэнергетической системе России.

Существующие классификации эффектов от развития интеллектуальной энергосистемы строятся на двух основных принципах: деления эффектов на прямые и косвенные по отношению к реализации ИЭС [WV SGIP, 2009; Дорофеев В.В., Макаров А.А., 2009]; классификации эффектов по источнику происхождения и бенефициарам [EPRI 2010, 2011; Transpower, 2009; ENSG, 2009].

Предложенные принципы классификации характеризуются следующими недостатками, делающими корректную экономическую оценку затруднительной, и требуют развития:

- Ограничения: классификации не охватывают ряд эффектов, в том числе, экстернатальных;
- Пересечения в формулируемых эффектах и их категориях;
- Отсутствие обозначенной связи между технологическими компонентами ИЭС и эффектами.

В диссертации были выявлены и систематизированы эффекты, возникающие при развитии интеллектуальной энергосистемы, на основе взаимосвязи между установкой отдельного технологического компонента интеллектуальной энергетики, функциональными изменениями в технологической подсистеме, к которой он принадлежит, и технологическими эффектами в данной подсистеме и электроэнергетической системе в целом (рис. 1, табл. 1). Экономические эффекты оцениваются на базе технологических по предложенным в диссертации формулам.

Предлагаемая система эффектов/выгод устраняет ряд недостатков существующих классификаций:

- избегает двойного учета;
- позволяет дать однозначную финансовую оценку эффектов;
- позволяет перевести требуемые стейкхолдерами функциональные изменения в экономические показатели.

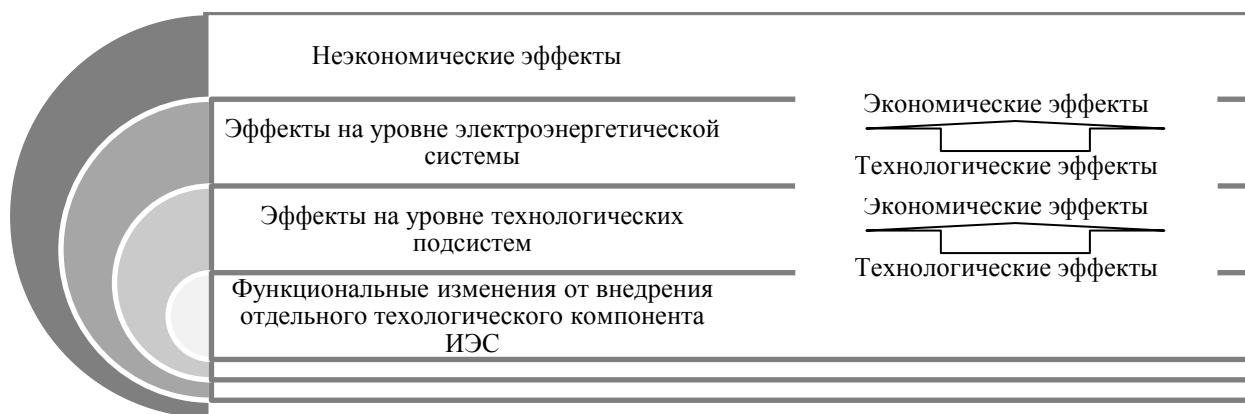


Рисунок 1 – Взаимосвязь эффектов от внедрения технологического базиса ИЭС

Таблица 1 – Взаимосвязь функциональных изменений и эффектов от внедрения технологического базиса ИЭС

Эффекты:	Функциональные изменения в ТП потребителей	Функциональные изменения в ТП сетей	Функциональные изменения в ТП генерации
Технологическая подсистема потребителей			
Технологические на уровне технологической подсистемы	<i>Определяются функциональными изменениями по принципу соответствия*</i>		
Экономические на уровне технологической подсистемы	<i>Рассчитываются по формулам на базе технологических эффектов на уровне технологической подсистемы</i>		
Технологические на уровне энергосистемы	<i>Определяются функциональными изменениями по принципу соответствия</i>		
Экономические на уровне энергосистемы	<i>Рассчитываются по формулам на базе технологических эффектов на уровне энергосистемы</i>		
Технологическая подсистема сетей			

* Функциональным изменениям в технологических подсистемах поставлены в соответствие определенные технологические выгоды.

Технологические на уровне технологической подсистемы	<i>Определяются функциональными изменениями по принципу соответствия</i>
Экономические на уровне технологической подсистемы	<i>Рассчитываются по формулам на базе технологических эффектов на уровне технологической подсистемы</i>
Технологические на уровне энергосистемы	<i>Определяются функциональными изменениями по принципу соответствия</i>
Экономические на уровне энергосистемы	<i>Рассчитываются по формулам на базе технологических эффектов на уровне энергосистемы</i>
Технологическая подсистема генерации	
Технологические на уровне технологической подсистемы	<i>Определяются функциональными изменениями по принципу соответствия</i>
Экономические на уровне технологической подсистемы	<i>Рассчитываются по формулам на базе технологических эффектов на уровне технологической подсистемы</i>

Изменения функциональности в электроэнергетической отрасли при развитии ИЭС выделены в диссертационной работе на основе анализа функциональных свойств технологических компонентов интеллектуальной энергетики и соотнесены с технологическими эффектами на уровне технологических подсистем и энергосистемы в целом.

2) Разработаны принципы формирования и структура модели зрелости интеллектуальной энергетической системы России, а также ее содержательные характеристики.

В последнее время для оценки прогресса компаний в сфере интеллектуальной энергетики начали применяться модели зрелости (maturity models) [Carnegie Mellon University 2009, 2010], которые представляют однозначное стадийное описание появления функциональных изменений в электроэнергетической системе при развитии ИЭС.

В диссертации обосновано использование этого инструмента для интеграции требований вовлеченных сторон интеллектуальной энергосистемы как единственного, позволяющего осуществить однозначный переход от обобщенных функциональных требований стейкхолдеров к экономической оценке соответствующих эффектов.

Автором разработана модель зрелости для интеллектуальной энергосистемы России (табл. 2), построенная на следующих принципах:

1. В качестве уровней зрелости модели приняты этапы развития ИЭС в соответствии с «Концепцией ИЭС ААС» (далее - Концепцией).
2. Отслеживаемыми параметрами модели зрелости являются технологические подсистемы ИЭС, также в соответствии с Концепцией.
3. Содержанием модели зрелости является изменение функциональности энергосистемы по технологическим подсистемам, проходящее четыре этапа развития (уровней зрелости), при этом на первом проявляющееся в наименьшей степени, а на четвертом достигающее максимума. Каждый уровень зрелости оценивается количеством баллов, отражающим силу изменения по сравнению с нулевым уровнем: уровню концепта соответствует 1, а реализации ИЭС ААС нового поколения – 4. Изменения функциональности соответствуют дорожной карте Концепции и позволят перейти в оценках к технологическим и экономическим эффектам, согласно предложенной в диссертации системе эффектов от развития ИЭС России.

Таблица 2 – Модель зрелости для интеграции функциональных требований сторон, несущих эффекты от интеллектуальной энергетики в России

	1 Концепт. <i>Формирование перспективного видения интеллектуальной энергосистемы, функциональных и технических требований</i>	2 Интеллектуальная инфраструктура. <i>Начало внедрения инновационных средств интеллектуального учета, НИОКР ключевых технологий.</i>	3 ААС с элементами «прорывных» технологий. <i>Старт пилотных проектов «прорывных» технологий, развитие систем интеллектуального управления и формирование нормативно-правовой базы ИЭС ААС.</i>	4 ИЭС ААС нового поколения. <i>Тиражирование типовых значений ААС, интеграция всех субъектов сети, запуск новой модели рынка с активным потребителем.</i>
Технологическая подсистема				
Потребители	Отсутствие или неэффективное управление э/потреблением; отсутствие возможности продавать электроэнергию в сеть; отсутствие возможности хранить э/э; высокий уровень потерь от перебоев и проблем с качеством э/э	Ручное управление э/потреблением на основе известной дифференциации тарифов по времени суток, пилотные проекты по установке «умных» счетчиков; отсутствие возможности продавать электроэнергию в сеть; отсутствие возможности хранить э/э; снижение уровня потерь от перебоев и проблем с качеством э/э	Активное управление нагрузкой с использованием интеллектуальной измерительной системы; появление первых устройств хранения э/э; отсутствие возможности продавать электроэнергию в сеть; пилотные проекты изолированных энергосистем с распределенной генерацией (microgrid)	Управление э/потреблением в режиме реального времени; введение дифференциации потребителей по надежности э/снабжения с возможностью выбора оптимального соотношения цена/надежность; хранение э/э; активное участие потребительской генерации на рынке электроэнергии
Сети	Недостаточная пропускная способность – некоторые линии перегружены; частые отказы оборудования и длительное обнаружение аварий и ремонт	Начало автоматизации функционирования и мониторинга состояния сетей; НИОКР новых сетевых технологий	Повышение пропускной способности «узких мест»; автоматизация функционирования и мониторинга состояния сетей	Полностью автоматизированная сеть с высокой устойчивостью к авариям и мониторингом в режиме реального времени; значительно более компактные технические решения
Генерация	Централизованная генерация; низкий уровень гибкости регулирования	Централизованная генерация; увеличение уровня гибкости регулирования и наблюдаемости оборудования	Использование систем интеллектуального управления; пилотные проекты кластеров распределенной генерации	Автоматический мониторинг и диагностика оборудования; увеличение диапазонов регулирования мощности электростанций; взаимодействие с активными элементами управления в сетях в реальном времени.

3) Предложена методика интеграции функциональных требований вовлеченных сторон при развитии интеллектуальной энергосистемы, базирующаяся на разработанной модели зрелости интеллектуальной энергосистемы России и предложенных механизмах учета уровня вовлеченности стейкхолдеров.

Многими исследователями отмечается важность учета различий между стейкхолдерами при выстраивании отношений с ними и балансировке их интересов. Однако четких подходов к приоритезации той или иной заинтересованной стороны не существует.

В диссертации разработана методика интеграции интересов стейкхолдеров при реализации концепции интеллектуальной энергосистемы, основанная на модели зрелости, в рамках которой следует выделить два параллельных процесса:

- 1) Разработка модели зрелости интеллектуальной энергосистемы, оценка по ней текущего и желаемого будущего состояния электроэнергетической системы представителями вовлеченных сторон;
- 2) Ранжирование стейкхолдеров по уровню вовлеченности в реализацию ИЭС, его учет при анализе результатов опроса по модели зрелости.

В соответствии с предложениями автора, эти процессы должны предваряться идентификацией стейкхолдеров. В качестве стейкхолдеров развития ИЭС России в диссертационной работе определяются стороны, несущие либо производящие эффекты/выгоды.

Более подробно разработанная методика описана блок-схемой на рисунке 2.

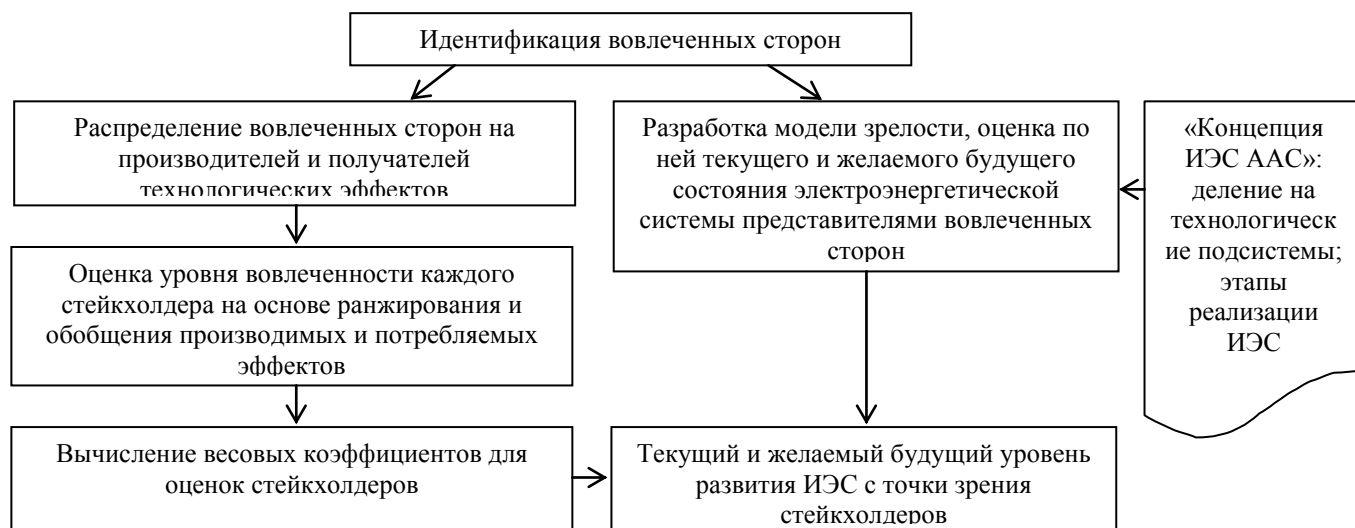


Рисунок 2 - Блок-схема интеграции функциональных требований вовлеченных сторон при развитии интеллектуальной энергосистемы

Для интеграции и согласования функциональных требований стейкхолдеров, выявленных в ходе опроса по модели зрелости, в диссертации на базе концепции Дж.Фрумена было предложено проведение ранжирования стейкхолдеров в зависимости от двух индикаторов:

- силы влияния стейкхолдера на развитие ИЭС России;
- уровня зависимости стейкхолдера от результатов развития ИЭС России.

На основе этих индикаторов путем их интеграции определяется индекс «вовлеченности» стейкхолдера в процесс развития ИЭС России. На основе уровня «вовлеченности» и принадлежности к рассматриваемой технологической подсистеме определяются весовые коэффициенты для ответов каждой из групп стейкхолдеров для анализа функциональности различных технологических подсистем матрицы зрелости.

Весовые коэффициенты рассчитываются по формулам:

$$\mu_{nx} = \frac{(1 - \mu_{xx} - \mu_{gx}) * I_n}{\sum_{n=1}^i I_n - I_g - I_x} \quad (1)$$

$$\mu_{xx} = \mu_{gx} = \frac{I_g}{\sum_{n=1}^8 I_n} \quad (2)$$

где

μ_{nx} , μ_{xx} , μ_{gx} – весовые коэффициенты для ответов представителей группы заинтересованных сторон n относительно технологической подсистемы x , ответов представителей данной технологической подсистемы, ответов представителей сетевых компаний как наиболее вовлеченной заинтересованной стороны соответственно;

I – индекс вовлеченности стейкхолдера, пропорционален вероятности достижения производимых/потребляемых эффектов/выгод и оценке их влияния на энергосистему.

Обобщение оценок происходит с использованием следующих формул.

Для текущего состояния:

$$C_x = \sum(\sum_{n=1}^i \mu_{nx} * \overline{X_{Cnx}} + \mu_{xx} * \overline{X_{Cxx}} + \mu_{gx} * \overline{X_{Cgx}}); \quad (3)$$

где

C_x – обобщенная оценка текущего уровня зрелости технологической подсистемы x представителями стейкхолдеров;

$\overline{X_{Cnx}}$, $\overline{X_{Cxx}}$, $\overline{X_{Cgx}}$ - среднее арифметическое оценок текущего уровня зрелости данной технологической подсистемы представителями группы заинтересованных сторон n , представителями данной технологической подсистемы и представителями сетевых компаний соответственно..

Для будущего состояния:

$$F_x = \sum(\sum_{n=1}^i \mu_{nx} * \overline{X_{Fnx}} + \mu_{xx} * \overline{X_{Fxx}} + \mu_{gx} * \overline{X_{Fgx}}), \quad (4)$$

где

F_x – обобщенная оценка желаемого будущего уровня зрелости технологической подсистемы x представителями стейкхолдеров;

$\overline{X_{Fnx}}$, $\overline{X_{Fxx}}$, $\overline{X_{Fgx}}$ - среднее арифметическое оценок желаемого будущего уровня зрелости данной технологической подсистемы представителями группы заинтересованных сторон n , представителями данной технологической подсистемы и представителями сетевых компаний соответственно.

Итоговые оценки, таким образом, варьируются от 1 до 4 по трем технологическим подсистемам. Данная методика была апробирована для ИЭС России.

В таблице 3 приведено полученное в ходе исследования распределение сторон, вовлеченных в реализацию интеллектуальной энергосистемы в России, на производителей и получателей технологических эффектов, а также экспертные оценки вероятности достижения и возможного влияния эффектов на энергосистему.

Таблица 3 – Производители и получатели технологических эффектов от развития интеллектуальной энергосистемы в России

Эффекты / Заинтересованные стороны	Оценка вероятности достижения (0 – отсутствует, 10 – высокая)	Оценка возможного влияния на энергосистему (0 – отсутствует, 10 – ключевое)	Сетевые компании	Генерирующие компании	Потребители	Поставщики оборудования	Отраслевые регуляторы	Сбытовые компании	Государственные регуляторы	Научные институты
Снижение числа секундных, длительных и крупномасштабных отключений	10	7	Red	Red	Green	Diagonal	Red	Diagonal		
Изменение суточной неравномерности потребления	9	7	Green	Green	Red		Diagonal	Diagonal		
Изменение объемов и размещения резервов в энергосистеме	6	8	Green	Green	Red		Diagonal			
Снижение требований к внутрисуточной разгрузке генерирующего оборудования	5	5		Green	Red		Red			
Снижение объемов производства электроэнергии	4	9			Diagonal		Diagonal			
Инновационный импульс для экономики	6	7	Red	Red	Green	Diagonal	Red	Red	Red	Green
Снижение числа аварий и отказов оборудования	9	8	Diagonal	Diagonal		Diagonal	Diagonal			
Снижение времязатрат на ремонт	10	6	Diagonal	Diagonal	Green	Diagonal		Green		
Снижение количества персонала	5	2	Diagonal	Diagonal		Diagonal		Diagonal		
Снижение площадей землеотводов под сетевые объекты	10	4	Green			Diagonal				
Снижение максимума нагрузки энергосистемы	7	8	Green	Green	Red	Diagonal				
Оптимизация режимов загрузки мощностей	7	8	Diagonal	Diagonal	Red	Diagonal				
Снижение потерь э/э при передаче и распределении	9	9	Green		Red	Diagonal				
Увеличение разнообразия услуг	6	5	Red		Green		Diagonal	Red		
Увеличение предельных балансовых потоков мощности, снятие ограничений на выдачу мощности	8	8	Diagonal	Green		Diagonal	Green			
Усиление интеграции ценовых зон конкурентных рынков электроэнергии и мощности	7	7	Red	Green	Green		Red	Green	Red	
Снижение воздействия на окружающую среду	5	4	Diagonal	Red	Green	Diagonal			Green	
Повышение энергетической безопасности	6	9	Red	Red	Diagonal	Diagonal	Red	Red	Red	
Повышение автоматизации и безопасности труда	8	7	Diagonal	Diagonal		Diagonal				
	Получатель эффекта									
	Производитель эффекта									
	Частичный получатель эффекта									
	Частичный производитель эффекта									
	Получатель и производитель эффекта									

Сила влияния и зависимости стейкхолдеров оценивались по формулам:

$$P = \sum_{e=1}^k p_e * E_e * q; \quad (5)$$

$$D = \sum_{c=1}^m p_c * E_c * q, \quad (6)$$

где

P – сила влияния, p_e – оценка вероятности достижения производимого стейкхолдером эффекта e , E_e – оценка возможного влияния производимого стейкхолдером эффекта на энергосистему;

D – сила зависимости, p_c – оценка вероятности достижения потребляемого стейкхолдером эффекта c , E_c – оценка возможного влияния потребляемого стейкхолдером эффекта на энергосистему;

q – коэффициент, равный 1, если эффект полностью производится/потребляется стейкхолдером, и 0,5, если эффект частично производится/потребляется стейкхолдером.

Таблица 4 – Весовые коэффициенты для ответов представителей заинтересованных сторон по разделам модели зрелости

Стейкхолдеры	Сила влияния	Сила зависимости	Индекс вовлеченности	Весовые коэффициенты для разделов матрицы зрелости		
				Потребители	Генерация	Передача
Сетевые компании	41,4	44,7	86,1	0,23	0,23	0,23
Генерирующие компании	31,3	43,2	74,5	0,19	0,23	0,20
Потребители	37,4	31,6	69	0,23	0,18	0,19
Поставщики оборудования	34,05	2,1	36,15	0,09	0,09	0,10
Отраслевые регуляторы	31,05	17,35	48,4	0,12	0,12	0,13
Сбытовые компании	16,25	18,05	34,3	0,09	0,09	0,09
Государственные регуляторы	14,5	2	16,5	0,04	0,04	0,04
Научные институты	0	4,2	4,2	0,01	0,01	0,01

После проведения ранжирования стейкхолдеров был проведен их опрос с целью оценки ими уровня развития энергосистемы в соответствии с моделью зрелости в текущем периоде и на перспективу, с учетом желаемого будущего уровня функциональных изменений. Для исследования были отобраны 16 экспертов, по два представителя каждой выделенной заинтересованной стороны (табл.5).

Таблица 5 – Обобщение экспертных оценок текущего и желаемого будущего уровня зрелости электроэнергетической системы России

Заинтересованные стороны	Взвешенные оценки текущего состояния энергосистемы России			Взвешенные оценки будущего состояния энергосистемы России		
	ТП потребителей	ТП генерации	ТП сетей	ТП потребителей	ТП генерации	ТП сетей
Сетевые компании	0,47	0,47	0,47	0,93	0,93	0,93
Генерирующие компании	0,37	0,47	0,20	0,74	0,93	0,81
Потребители	0,41	0,26	0,23	0,93	0,71	0,75
Поставщики оборудования	0,18	0,18	0,29	0,36	0,37	0,39
Отраслевые регуляторы	0,12	0,12	0,13	0,48	0,50	0,52
Сбытовые компании	0,09	0,09	0,19	0,34	0,35	0,37
Государственные регуляторы	0,06	0,08	0,09	0,16	0,17	0,18

Заинтересованные стороны	Взвешенные оценки текущего состояния энергосистемы России			Взвешенные оценки будущего состояния энергосистемы России		
	ТП потребителей	ТП генерации	ТП сетей	ТП потребителей	ТП генерации	ТП сетей
Научные институты	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,05
Итого	1,70	1,69	1,61	4,00	4,00	4,00

Поскольку текущий уровень зрелости оценен как близкий к «Интеллектуальной инфраструктуре», а желаемый будущий – «ИЭС ААС нового поколения», экономический анализ охватывает временной диапазон 2012 – 2020 годы, разбитый на три уровня зрелости в соответствии с Дорожной картой «Концепции ИЭС ААС».

4) Предложен методологический подход к экономической оценке вариантов развития интеллектуальной энергосистемы России, ориентированный на выбор наиболее результативного варианта развития ИЭС на базе интегрированных посредством модели зрелости функциональных требований вовлеченных сторон (стейкхолдеров), и учитывающий полный спектр эффектов и синергию технологий.

Ряд характеристик определяет принадлежность реализации интеллектуальной энергосистемы к отраслевым инновационным преобразованиям.

Проведенный анализ существующих подходов к оценке вариантов интеллектуальных энергосистем позволил выделить ряд их ключевых ограничений:

- требование заранее определенного набора технологий;
- количественная оценка неполного набора эффектов;
- отсутствие вовлечения стейкхолдеров.

Предлагаемый методологический подход к экономической оценке вариантов развития интеллектуальной энергосистемы России предполагает 3 основных этапа исследования, описанные блок-схемой на рисунке 3.

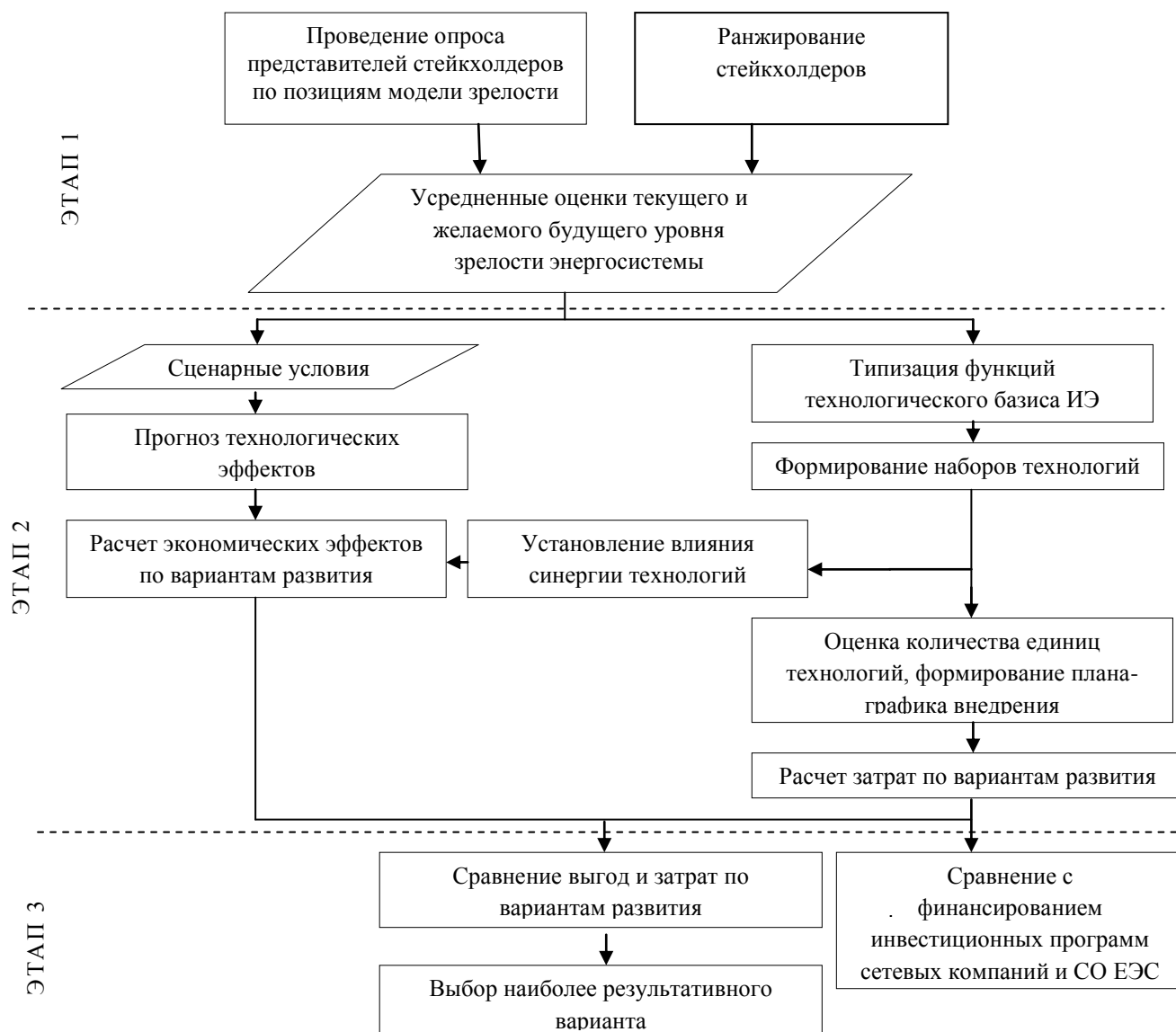


Рисунок 3 – Блок-схема этапов оценки вариантов развития интеллектуальной энергосистемы в рамках предлагаемого методологического подхода

Предлагаемый методологический подход имеет следующие характеристики:

1. Основан на реализации сформулированных методологических требований и интегрирует инструменты оценки инноваций, положения теории общественного благосостояния, а также выделенные в результате анализа литературы методические приемы существующих подходов к оценке интеллектуальных энергосистем, что позволяет повысить гибкость технологической реализации заданных функциональных требований и вовлечь заинтересованные стороны в формирование интеллектуальной энергосистемы с целью обеспечения ее долгосрочной устойчивости.

2. Для отражения поэтапных функциональных изменений в электроэнергетике, связанных с развитием интеллектуальной энергосистемы, предлагается использовать модель зрелости*. Выявленным функциональным изменениям соответствуют

* Представление процесса развития проекта или организации как прохождения ряда эволюционных этапов, называемых «уровнями зрелости», по соответствующим цели исследования параметрам.

технологические и экономические эффекты на уровне технологических подсистем и энергосистемы в целом, в соответствии с предложенной в диссертации системой эффектов от развития ИЭС.

3. Модель зрелости используется для оценки текущего и желаемого будущего уровня развития интеллектуальной энергосистемы посредством интеграции функциональных требований стейкхолдеров.

4. Для взаимосвязанной оценки соответствующих функциональных изменений, направленных на преодоление «разрывов» между текущим и желаемым будущим состоянием энергосистемы, посредством определенных технологий, должна быть проведена типизация функций технологических компонентов интеллектуальной энергетики, предусмотренных «Концепцией ИЭС ААС». На этой основе должны быть сформированы варианты развития ИЭС (технологические наборы), реализующие требуемые функциональные изменения. Разные технологические наборы характеризуются разной силой синергетического взаимодействия компонентов, что влияет на объем технологических эффектов.

5. Для оценки итоговых экономических эффектов от реализации разных вариантов развития ИЭС должна быть определена функциональная зависимость между экономическими и технологическими эффектами на базе экономических индикаторов. Варьирующийся для разных вариантов развития ИЭС объем технологических эффектов, соответственно, оказывает влияние на итоговые финансово выраженные экономические эффекты.

6. Оценку итоговых затрат на реализацию каждого варианта развития ИЭС предлагается проводить посредством суммирования издержек на установку и эксплуатацию соответствующих технологий интеллектуальной энергетики, модернизацию существующих активов отрасли и естественное расширение ЕНЭС для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию.

7. Итоговый выбор наилучшего варианта развития интеллектуальной энергосистемы проводится по следующим показателям: степень достижения требуемых функциональных изменений, уровень синергии технологий, показатели экономической эффективности.

В ходе апробации для реализации сопутствующих переходу от текущего к желаемому будущему уровню зрелости изменений сформированы технологические наборы, посредством типизации функций технологий интеллектуальной энергетики, предусмотренных «Концепцией ИЭС ААС».

В таблице 6 приведены значения технологических эффектов, которые варьируются между вариантами развития (технологическими наборами) вследствие влияния исключения технологических компонентов и снижения силы синергии.

Таблица 6 – Значения варьируемых технологических эффектов по вариантам развития ИЭС

Технологические эффекты	Максимальное значение эффекта
-------------------------	-------------------------------

	I (полный набор)	II (минимальный набор)	III (развитие традиционных компетенций)	IV (цифровые технологии)
	включает все группы технологических компонентов в ИЭС, предусмотренные «Концепцией ИЭС ААС»	отличается от полного набора отсутствием групп: - Элементы цифровой подстанции - Токоограничивающие реакторы - Технологии защиты от внешних воздействий - Технологии сверхпроводимости	отличается от полного набора отсутствием групп: - Элементы цифровой подстанции - Технологии защиты от внешних воздействий	отличается от полного набора отсутствием групп: - Токоограничивающие реакторы - Технологии сверхпроводимости
снижение конечного потребления, доля	8%	5%	5%	8%
снижение ущербов у потребителей (по типам отключений и категориям потребителей), доля	50%	30%	35%	40%
снижение максимума нагрузки энергосистемы, доля	10%	8%	8%	10%
снижение объемов резервов в энергосистеме, ГВт	34,00	25,00	27,00	30,00
снижение доли задействованных генерирующих и сетевых мощностей из-за оптимизации режимов загрузки электростанций и сети	5%	4%	4%	5%
увеличение предельных балансовых потоков мощности, доля	30%	20%	25%	25%
снижение количества отказов сетевого оборудования, доля	70%	50%	60%	60%
снижение потерь в сетях всех классов напряжения, доля потерянной э/э	5%	10%	8%	6%
новое фактическое значение ограничения потребителей относительно величины отпуска электроэнергии из сети, доля	0,000001	0,000002	0,0000015	0,0000015
темп снижения оптовой цены э/э из-за усиления интеграции ценовых зон конкурентных рынков энергии и мощности	0,042	0,03	0,042	0,03

Для каждого из вариантов развития был рассчитан временной денежный поток, состоящий из доходной и затратной частей. Были оценены два варианта затрат: для максимальной и минимальной стоимости технологий.

Технические и технико-экономические характеристики технологий интеллектуальной энергетики, а также число единиц каждой технологии, были собраны из широкого спектра источников, включающих российские и зарубежные пилотные проекты по отдельным технологиям, оценки ведущих научных институтов, данные инвестиционных программ и программ инновационного развития российских компаний отрасли.

Проведенные расчеты характеризуются рядом ограничений, связанных с доступностью данных. Для преодоления ограничений были использованы приближенные оценки по доступным данным и экспертные оценки, ориентированные на нижнюю границу значения параметра.

Таблица 7 – Результаты эмпирической апробации методологического подхода к экономической оценке вариантов развития интеллектуальной энергосистемы в ЕЭС России

Показатели	Варианты развития			
	I (развитие на основе полного набора технологий)	IV (развитие на основе цифровых технологий)	III (развитие традиционных компетенций)	II (развитие на основе минимального набора технологий)
Реализация функциональных изменений	100%	87%	83%	70%
Уровень синергии (число технологических компонентов, создающих ее во всех функциональных сферах)	18	15	14	11
Эффекты (дисконтированные доходы), млн.руб.	2224257	2189109	1588266	1524911
Минимальные затраты (дисконтированные), млн.руб.	1907585	1908541	1920921	1921877
Максимальные затраты (дисконтированные), млн.руб.	2200779	2201735	2213573	2214529
Индекс доходности минимальных затрат	1,17	1,15	0,83	0,79
Индекс доходности максимальных затрат	1,01	0,99	0,72	0,69
NPV при минимальной стоимости технологий, млн.руб.	316671	280568	-332655	-396966
NPV при максимальной стоимости технологий, млн.руб.	23478	-12625	-625307	-689617
IRR при минимальной стоимости технологий	31%	30%	-	-
IRR при максимальной стоимости технологий	18,4%	-	-	-

Наилучшими по всем показателям является вариант внедрения полного набора технологий.

В диссертации предложен подход к распределению эффектов и затрат между стейкхолдерами. Данный подход предполагает распределение экономических эффектов в соответствии с технологическими эффектами, потребителями которых являются стейкхолдеры.

Распределение затрат производится пропорционально ожидаемому доходу стейкхолдера от реализации ИЭС: x_i – доля стейкхолдера i в общих затратах C , $i = 1, \dots, n$, где n - число стейкхолдеров, причем, $\sum x_i = C$. Предполагается, что затраты – функция дохода $C(Y)$, $x_i = \pi_i(y_i)$, $\sum y_i = Y$.

Полученное распределение доходов и затрат приведено на рис. 4.

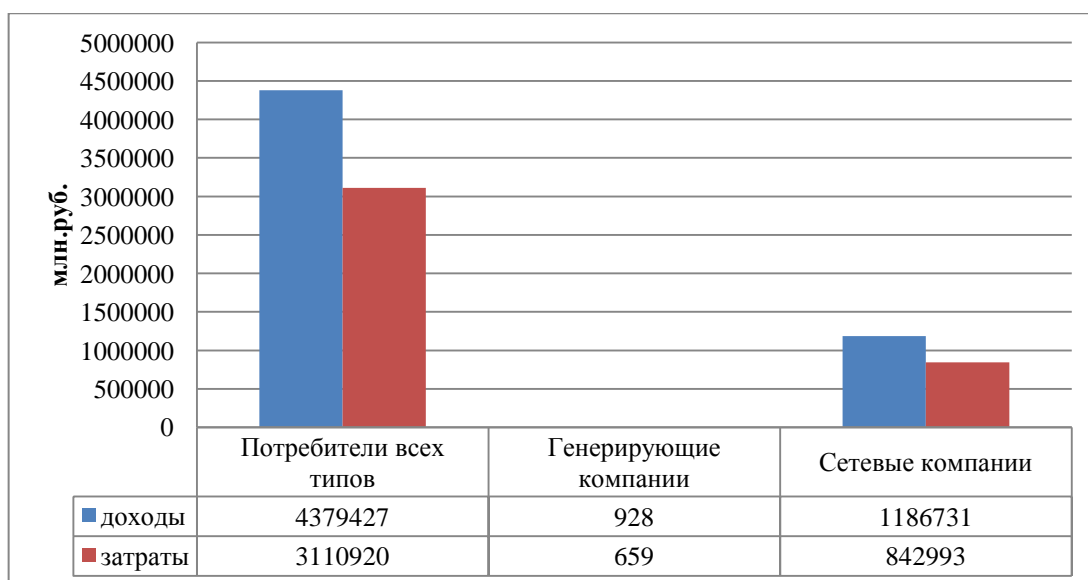


Рисунок 4 – Распределение доходов и затрат между стейкхолдерами ИЭС

При сопоставлении полученных объемов эффектов и затрат с существующими оценками для энергосистемы США и системных эффектов для России сделан вывод о валидности предложенного в диссертации методологического подхода.

3. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ РАБОТЫ

1. Анализ научной литературы позволил выделить ряд требований к методологии оценки вариантов развития интеллектуальной энергосистемы страны. Существующие подходы к оценке развития интеллектуальной энергосистемы характеризуются рядом ограничений, в том числе, все они направлены на анализ заданного набора технологий, не принимая во внимание требования стейкхолдеров.

2. Выявлены и систематизированы технологические, экономические и иные эффекты от внедрения технологического базиса концепции интеллектуальной энергетики в энергетической системе России. Проведенная систематизация позволила устранить недостатки существующих классификаций и осуществить переход от функциональных изменений, отраженных в модели зрелости, к технологическим и экономическим эффектам.

3. Анализ инструментов согласования интересов вовлеченных сторон позволил определить модель зрелости как единственный инструмент, соответствующий требованию обеспечения возможности перехода от обобщенных функциональных требований стейкхолдеров к соответствующим экономическим оценкам и технологическим наборам.

Разработаны методические положения согласования интересов вовлеченных сторон при развитии интеллектуальной энергосистемы России, основанные на модели зрелости и учитывающие разный уровень вовлеченности стейкхолдеров.

4. В диссертации предложен методологический подход к оценке вариантов развития ИЭС, основанный на интеграции функциональных требований стейкхолдеров. Данный методологический подход позволяет выбрать наиболее результативный вариант развития ИЭС, ориентированный на реализацию функциональных требований заинтересованных сторон. Выполнена его эмпирическая апробация на примере энергосистемы России.

Работы, опубликованные автором в ведущих рецензируемых научных журналах и журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки России:

1. Федосова А.В. Требования заинтересованных сторон как основа оценки вариантов развития интеллектуальной энергосистемы// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. № 6, 2013 (в соавторстве с Волковой И.О., авторский вклад 0,4 п.л.)
2. Федосова А.В. Методические основы систематизации эффектов от развития интеллектуальной энергосистемы в России// Вестник Тверского Государственного Университета. Серия: экономика и управление. № 9, 2013 с. 189 – 200, 0,5 п.л.
3. Федосова А.В. Изменение конъюнктуры рынка электроэнергии в связи с реализацией концепции интеллектуальной энергетики (Smart Grid)// ЭТАП: Экономическая Теория, Анализ, Практика. №3, 2012 с. 47 – 54, 0,4 п.л. (в соавторстве с Кириной М.А., авторский вклад 0,2 п.л.)

Другие работы, опубликованные автором по теме кандидатской диссертации:

1. Федосова А.В. Модель зрелости как инструмент управления проектами и интеграции интересов вовлеченных сторон в электроэнергетике России// Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды III международной научно-технической конференции: сборник статей. В 2 т. - Екатеринбург: УРФУ, 2012. Т.1 с. 707 – 711, 0,3 п.л.
2. Федосова А.В. Методологический подход к оценке экономической эффективности интеллектуальной энергетики// Сборник статей по материалам международной заочной научно-практической конференции 31 января 2012 г. «Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке». Часть 6. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2012, с. 142 – 143, 0,1 п.л.
3. Федосова А.В. Мировой опыт стимуляции инновационной активности в сфере интеллектуальной энергетики // Сборник статей по результатам Молодежной конференции в НИУ-ВШЭ «Современный российский менеджмент: проблемы, гипотезы, исследования». Раздел 1 Общий и стратегический менеджмент. с. 152 – 163, 0,5 п.л.
4. Федосова А.В. Ускоритель в режиме online// ТЭК. Стратегии развития. - №2. – март-апрель 2011, с. 56 – 59, 0,4 п.л.
5. Федосова А. В., Развитие Smart Grid в России — какого эффекта ждать от интеллекта. // Энергорынок. №7, 2011, с. 70 – 75, 0,5 п.л. (в соавторстве с Веселовым Ф.В., авторский вклад 0,3 п.л.)
6. Федосова А.В. Smart Grid - умный ответ на вызовы «умной» экономики// ЭнергоРынок. №5, 2011, с. 52 – 58, 0,6 п.л. (в соавторстве с Веселовым Ф.В., авторский вклад 0,3 п.л.)