

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Барыкин С.Е., к.э.н., доцент кафедры  
«Экономика и организация управления в энергетике»

*Петербургский энергетический институт повышения квалификации*

Одной из приоритетных задач электроэнергетического комплекса России является развитие распределительных электрических сетей. При этом решение об инвестициях в объекты электросетевого хозяйства распределительной сетевой компании (РСК) следует принимать с учетом всех аспектов деятельности электросетевого предприятия, важности направлений инвестирования, приоритетности уровней напряжения, экономической, технической и экологической стороны проектов. Предложена методика формирования инвестиционной программы РСК, которая позволяет осуществлять выбор вариантов капитальных вложений на основе многоцелевого анализа эффективности инвестиций в объекты электросетевого хозяйства РСК в условиях неопределенности. Внедрение в практику этой методики позволит повысить социальную направленность планирования инвестиционной программы РСК и, в целом, электроэнергетического комплекса.

### ВВЕДЕНИЕ

Связующим звеном между производителями и потребителями электроэнергии являются электрические сети, с помощью которых отдельные источники электроэнергии и потребители объединяются в электроэнергетическую систему. В соответствии с ГОСТ 19431–84 **электрическая сеть** представляет собой совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их электрических линий, размещенных на территории района, населенного пункта, или другого потребителя электрической энергии [1]. Электрическая линия, выходящая за пределы электростанции или подстанции и предназначенная для передачи электрической энергии на расстояние, называется линией электропередачи (ЛЭП). По функциональному назначению ЛЭП можно разделить на две большие группы: межсистемные (магистральные) и распределительные. Межсистемные (магистральные) ЛЭП выполняют функцию транспортировки энергии между энергосистемами. Это линии высокого напряжения – 750, 500, 330, 220 кВ, редко 110 кВ. Распределительные ЛЭП доводят энергию до потребителей. Это линии 1-20, 35, 110 кВ для электроснабжения предприятий промышленности, транспорта, сельского хозяйства и т. д. Для коммунально-бытовых потребителей используются распределительные линии напряжением 220, 380 В и 1-20 кВ.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. № 861 утверждены Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг [2]. Упомянутыми правилами вводится понятие «*территориальной распределительной сети*». *Территориальная распределительная сеть* представляет собой комплекс не входящих в состав единой национальной (общероссийской) электрической сети линий электропередачи и оборудования, используемых для предоставления услуг по передаче электрической энергии.

В ст. 3 Федерального закона «Об электроэнергетике» вводится понятие «*территориальных сетевых организаций*» [3].

*Территориальная сетевая организация* представляет собой коммерческую организацию, оказывающую услуги по передаче электрической энергии с использованием объектов электросетевого хозяйства, не относящихся к единой национальной (общероссийской) электрической сети.

Методическими указаниями по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке [4] региональная (территориальная) сетевая организация рассматривается как организация, осуществляющая регулируемую деятельность по передаче электрической или тепловой энергии по распределительным сетям. Следовательно, деятельность региональной (территориальной) электросетевой организации может рассматриваться как деятельность по передаче электрической энергии по распределительным электрическим сетям.

В Концепции стратегии ОАО РАО «ЕЭС России» на 2003-2008 г. в отношении коммерческих организаций, оказывающих услуги по передаче электрической энергии по распределительным сетям, используется термин – *распределительная сетевая компания* [5].

Распределительные сетевые компании (РСК) создаются в процессе реструктуризации АО-энерго на базе объектов электросетевого хозяйства, не относящихся к единой национальной (общероссийской) электрической сети. РСК войдут в состав 5 межрегиональных распределительных сетевых компаний (МРСК). Планируется, что каждая из МРСК перейдет на единую акцию, т. е. МРСК станут операционными компаниями. В отличие от холдинговых компаний, контролирующих значительную часть своих активов через пакеты акций других компаний, операционные компании полностью контролируют входящие в них предприятия [6].

В свою очередь все МРСК в 2006 г. войдут в состав объединенного холдинга межрегиональных распределительных сетевых компаний (ОХМРСК). При этом предполагается, что ОХМРСК будет владеть принадлежащими ОАО РАО «ЕЭС России» акциями всех МРСК. Государству будет принадлежать более 52% акций ОХМРСК.

23 апреля 2004 г. Совет директоров РАО «ЕЭС России» утвердил следующий состав МРСК [7, 8, 9]:

- МРСК № 1 – ОЭС Центра и ОЭС Северного Кавказа;
- МРСК № 2 – ОЭС Северо-Запада;
- МРСК № 3 – ОЭС Урала и ОЭС Средней Волги;
- МРСК № 4 – ОЭС Сибири.

В соответствии с [10] по состоянию на 1 марта 2005 г. структура 4 МРСК представлена на рис. 1.

Состав МРСК № 5 на Дальнем Востоке будет определен в дальнейшем, с учетом выбора модели реформирования энергосистем Дальнего Востока: 1) Амурэнерго; 2) Дальэнерго; 3) Камчатэнерго; 4) Магаданэнерго; 5) Сахалин-энерго; 6) Хабаровскэнерго; 7) Якутскэнерго.

Следует отметить, что некоторые изолированные АО-энерго после реструктуризации электроэнергетической отрасли останутся вертикально-интегрированными компаниями. Согласно пункту 3 ст. 27 Федерального закона «Об электроэнергетике» требование о разделении видов деятельности не распространяется на технологически изолированные энергосистемы, в которых невоз-

можно развитие конкуренции по технологическим причинам [3].

В соответствии с пунктом 64 Правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. № 854, территориальная электроэнергетическая система является технологически изолированной, если отсутствует технологическое соединение этой территориальной электроэнергетической системы с Единой энергетической системой России [11]. Указанным постановлением утвержден перечень технологически изолированных территориальных электроэнергетических систем, который включает семь изолированных энергосистем.

1. Электроэнергетическая система Камчатской области.
2. Электроэнергетическая система Магаданской области.
3. Западный район электроэнергетической системы Республики Саха (Якутия): Мирнинский и Ленский районы, Сунтарский, Нюрбинский, Вилюйский и Верхневилуйский улусы (районы).
4. Центральный район электроэнергетической системы Республики Саха (Якутия): Горный, Хангаласский, Мегино-Кангаласский, Амгинский, Чурапчинский, Усть-Алданский, Таттинский, Томпонский и Намский улусы (районы), г. Якутск.
5. Электроэнергетическая система Сахалинской области.
6. Электроэнергетическая система Чукотского автономного округа.
7. Электроэнергетическая система Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного округа.

Субъект оперативно-диспетчерского управления технологически изолированной территориальной электроэнергетической системы организует и осуществляет оперативно-диспетчерское управление в соответствующей энергосистеме самостоятельно, без участия системного оператора, в соответствии с Правилами оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике (пунктом 65 Правил).

Следует отметить, что помимо технологически изолированных территориальных электроэнергетических систем, некоторые энергосистемы функционируют в условиях «относительной изоляции». Межсистемные соединения таких энергосистем с Единой энергетической системой России обладают недостаточной пропускной способностью. Например, в отличие от перечисленных выше технологически изолированных энергосистем, энергосистема Калининградской области (Янтарьэнерго) связана с Единой энергетической системой России через магистральные сети соседних государств.

25 июня 2004 г. Совет директоров РАО «ЕЭС России» счел целесообразным принятие индивидуальных решений при рассмотрении возможности реформирования АО-энерго как с ограниченной конкуренцией, так и неустойчивым финансовым положением (в том числе ОАО «Ингушэнерго», ОАО «Каббалэнерго», ОАО «Калмэнерго», ОАО «Карачаево-Черкесскэнерго», ОАО «Кузбасэнерго», ОАО «Нурэнерго», ОАО «Севкавказэнерго», ОАО «Ульяновскэнерго»). На основании Информационного бюллетеня «О ходе реформирования ОАО РАО «ЕЭС России» № 24. Итоги: с 1 января по 28 февраля. Планы: с 1 марта по 31 марта.» [10] по состоянию на 1 марта 2005 г. утверждены проекты реформирования 54 АО-энерго, причем из них 49 проектов по «базовому» варианту и 5 – по «небазовому».

В [10] приведены определения терминов «базовый» и «небазовый вариант». «Базовый вариант» реформирования АО-энерго – это вариант реформирования АО-

энерго, предусматривающий реорганизацию АО-энерго с пропорциональным распределением акций среди акционеров реорганизуемого общества и созданием сетевого, генерирующего, сбытового и других обществ по видам деятельности.

«Небазовый вариант» реформирования АО-энерго является вариантом реформирования, отличным от базового, обеспечивающим разделение АО-энерго по видам деятельности, и применяемым в случаях, требующих индивидуальных решений (реформирование энергосистем Дальнего Востока, энергосистем с ограниченной конкуренцией, компаний с неустойчивым финансовым положением и т.п.). «Небазовые» варианты реформирования предусматривают реорганизацию следующих АО-энерго: ОАО «Калмэнерго», ОАО «Псковэнерго», ОАО «Самараэнерго», ОАО «Саратовэнерго», ОАО «Ульяновскэнерго».

Согласно [7] также будут отдельно рассмотрены проекты реформирования энергосистем, не входящих в холдинг РАО «ЕЭС России»: 1) Башкирэнерго; 2) Иркутскэнерго; 3) Новосибирскэнерго; 4) Татэнерго.

По состоянию на 1 августа 2005 г. процедуру государственной регистрации прошли четыре МРСК (табл. 1) [12].

В соответствии с пунктом 2 ст. 35 Федерального закона «Об электроэнергетике» территориальные сетевые организации получают статус субъектов оптового рынка (участников обращения электрической энергии на оптовом рынке) по оплате потерь, возникающих в своих сетях. Согласно ст. 37 этого закона территориальные сетевые организации являются субъектами розничного рынка электрической энергии. Следовательно, РСК будут являться субъектами как розничного, так и оптового рынка электрической энергии.

На оптовом рынке электрической энергии также будут функционировать около 20 территориальных генерирующих компаний, в состав которых будут включены генерирующие мощности соответствующих АО-энерго. Субъектами оптового рынка электроэнергии станут независимые генерирующие компании, созданные на базе независимых «независимых» АО-энерго (Иркутскэнерго, Башкирэнерго, Татэнерго, Новосибирскэнерго). Предполагается, что после реорганизации РАО «ЕЭС России» в 2006 г. будет создан холдинг, владеющий акциями изолированных АО-энерго и гарантирующих поставщиков [5].

Согласно пункту 1 ст. 35 Федерального закона «Об электроэнергетике» для получения статуса субъекта оптового рынка юридическому лицу необходимо выполнить установленные требования, в том числе:

- провести мероприятия технического характера и мероприятия, предусмотренные основными положениями и правилами функционирования оптового рынка;
- вступить в члены администратора торговой системы оптового рынка или подписать договор о присоединении к торговой системе оптового рынка.

В соответствии с пунктом 2 ст. 35 рассматриваемого закона поставщик электроэнергии, присоединенный к электрическим сетям, может получить статус субъекта оптового рынка электроэнергии, если установленная генерирующая мощность его оборудования превышает минимально допустимое значение, указанное в основных положениях функционирования оптового рынка. Потребитель электроэнергии, присоединенный к электрическим сетям, может получить статус субъекта оптового рынка электроэнергии, если количественные характеристики заявленного потребления электроэнергии превышают минимально допустимые значения, уста-

навливаемые основными положениями функционирования оптового рынка. Это требование относится к крупным потребителям электрической энергии.

Производители и потребители электроэнергии, не имеющие права на участие в оптовом рынке, становятся субъектами розничного рынка электрической энергии.

Структура оптового и розничного рынков в соответствии с [3, 5] показана (рис. 2). Компания ЗАО «Интер РАО ЕЭС» включена в состав как продавцов, так и покупателей оптового рынка электроэнергии и выполняет функции экспортно-импортного оператора Холдинга РАО

«ЕЭС России» и концерна «Росэнергоатом». РАО «ЕЭС России» владеет 60%, а концерн «Росэнергоатом» – 40% доли от уставного капитала ЗАО «Интер РАО ЕЭС».

В соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 сентября 2003 г. № 1254-р [13] субъектами оптового рынка электрической энергии являются 6 оптовых генерирующих компаний на базе крупных тепловых электростанций (установленной мощностью свыше 1000 МВт) и «Федеральная гидрогенерирующая компания» ОАО «ГидроОГК», в состав которой вошли крупные гидравлические электростанции установленной мощностью свыше 300 МВт.

Таблица 1

ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ МРСК

№	ОАО	Регистрация	
		дата	место
1	ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Центра и Северного Кавказа» (ОАО «МРСК Центра и Северного Кавказа»)	17 декабря 2004 г.	Межрегиональная инспекция Министерства РФ по налогам и сборам №1 по Тверской области
2	ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Урала и Волги» (ОАО «МРСК Урала и Волги»)	2 марта 2005 г.	Инспекция Федеральной налоговой службы России по Ленинскому району г. Екатеринбурга
3	ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Северо-Запада» (ОАО «МРСК Северо-Запада»)	2 марта 2005 г.	Межрайонная инспекция Министерства РФ по налогам и сборам № 15 по г. Санкт-Петербургу
4	ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» (ОАО «МРСК Сибири»)	4 июля 2005 г.	Инспекция Федеральной налоговой службы России по Железнодорожному району г. Красноярск

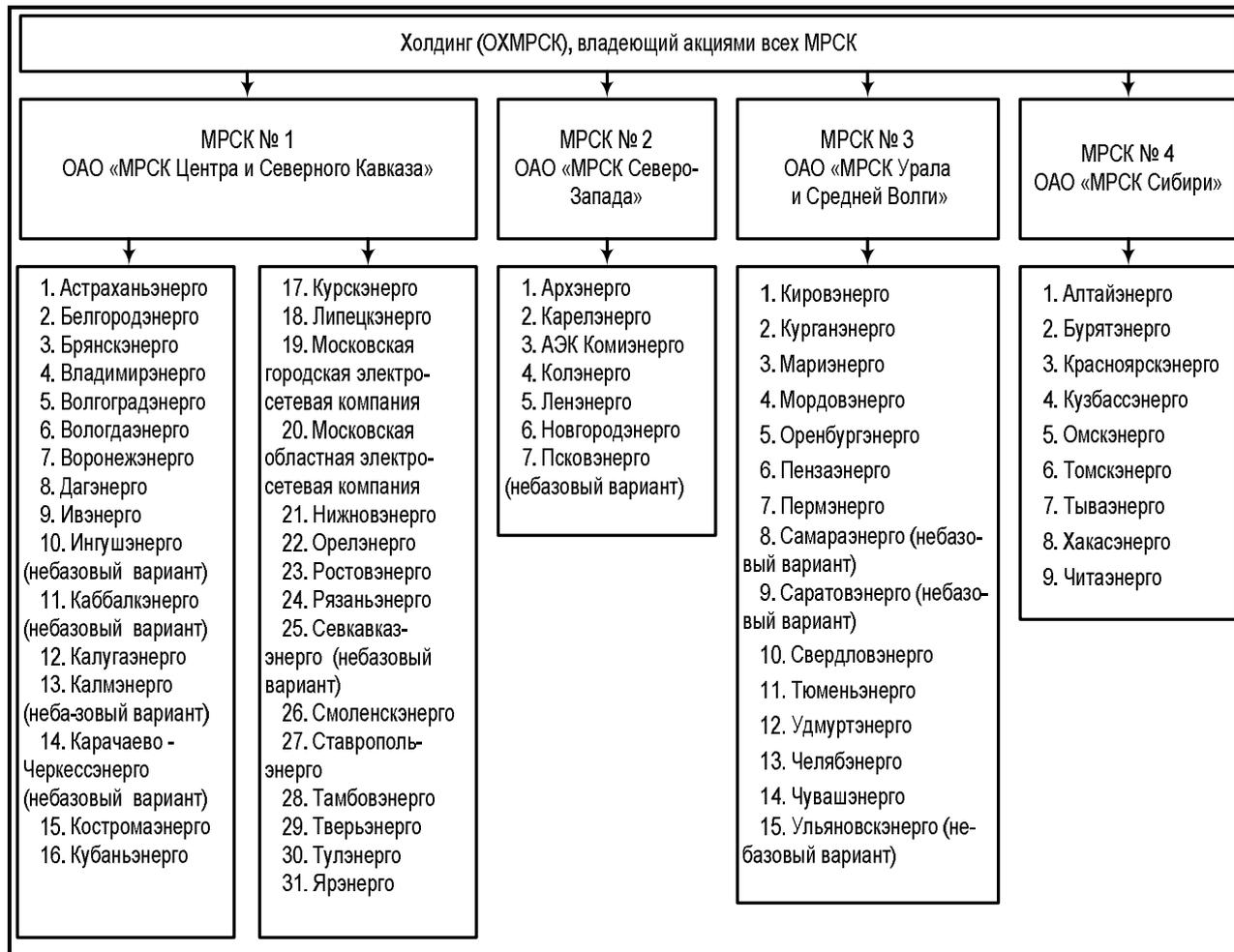


Рис. 1. Структура ОХМРСК в области управления РСК (62 РСК без учета МРСК № 5 – ОАО «МРСК Дальнего Востока»)

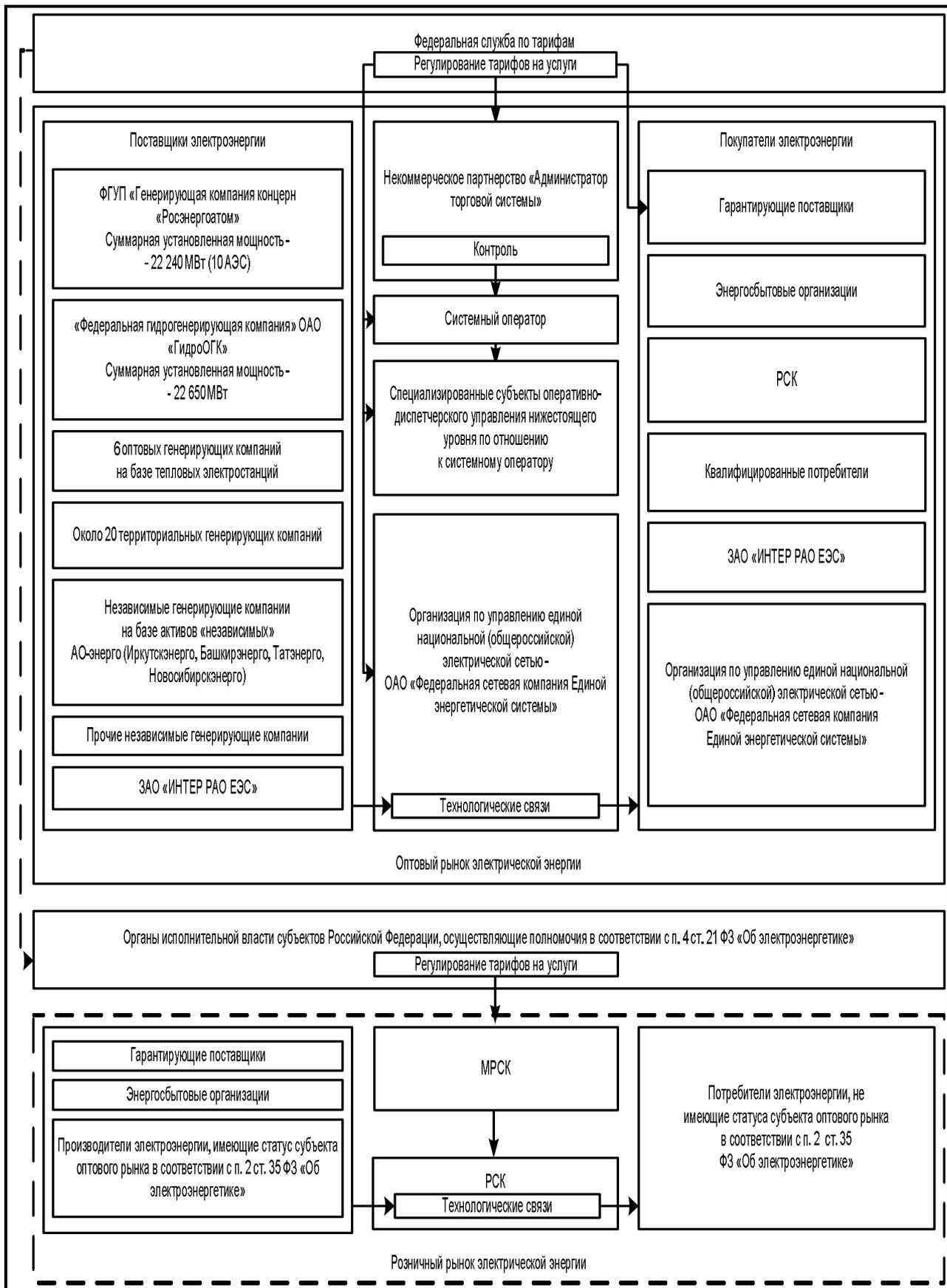


Рис. 2. Структура оптового и розничного рынка электроэнергии РФ после реструктуризации

## 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ РСК

Инвестиционная программа РСК представляет собой совокупность инвестиционных мероприятий для достижения целей, поставленных выбранной стратегией развития РСК.

Можно выделить основные принципы разработки инвестиционной программы РСК.

1. Принцип системности. Этот принцип подразумевает рассмотрение функционирования и развития РСК как подсистемы сложной системы регионального электро-энергетического комплекса. С позиции теории системных исследований в следует в полной мере учитывать особенности функционирования систем энергетики, в том числе требования бесперебойного и надежного энергоснабжения потребителя энергией, энергетической и экологической безопасности региона. В соответствии с этим принципом инвестиционную программу РСК следует рассматривать в совокупности инвестиционных программ предприятий электроэнергетического комплекса региона, страны.
2. Принцип учета риска и неопределенности функционирования РСК. В соответствии с [14] для систем энергетики характерна ситуация неопределенности, связанная с особенностями их развития и функционирования. Поэтому при формировании инвестиционной программы следует разрабатывать критерии оценки риска вложения инвестиционных средств в объекты электросетевого хозяйства РСК.
3. Принцип многоцелевой оптимизации при планировании инвестиционной программы РСК. Этот принцип позволяет учитывать свойство многокритериальности, которое является одним из свойств, характеризующих управляемость системы энергетики [15]. Целесообразность принятия определенного мероприятия в инвестиционную программу может заключаться в наиболее эффективном выполнении целей, поставленных стратегией развития РСК. Однако поставленные цели обычно невозможно выразить с помощью единого критерия [16]. В этом случае возникает вопрос о постановке задачи многокритериальной оптимизации.

## 2. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ РСК

Решение об инвестициях всегда относится к выбору альтернатив действия. Принятие решения об инвестициях всегда представляет собой осуществление оценки инвестиционных действий. Однако такая оценка связана не с оценкой объектов имущества, а с полезностью приобретаемых объектов.

Инвестиционные расчеты являются методами, применяя которые, можно оценить ожидаемые последствия инвестиций, касающихся квантифицируемых интересов. Мы можем осуществить инвестиционные расчеты, используя только цифры. Инвестиционные расчеты являются лишь частью процесса принятия инвестиционных решений. [17]

Принятие решения об инвестициях является стратегической, одной из наиболее важных и сложных задач управления. При этом в сфере интересов инвестора оказываются практически все аспекты экономической деятельности пред-

приятия, начиная от окружающей социально-экономической среды, показателей инфляции, налоговых отчислений, состояния и перспектив развития рынка, наличия производственных мощностей, материальных ресурсов и заканчивая стратегией финансирования проекта. Таким образом, при принятии управленческих решений и прогнозировании возможных результатов реального инвестирования лицо, принимающее решение, обычно сталкивается со сложной системой взаимосвязанных элементов, которую нужно проанализировать (ресурсы, желаемые исходы или цели, лица или группа лиц и т. д.).

Планирование инвестиционной деятельности следует рассматривать как систему. Согласно [14] система является множеством элементов, находящихся в таких отношениях и связях между собой, которые создают определенную целостность и единство.

Естественным ходом человеческого мышления является объединение рассматриваемых элементов в группы в соответствии с распределением некоторых свойств между элементами. Можно повторять данный процесс таким образом, что группы, а именно определяющие их свойства, рассматриваются в качестве следующего уровня системы, и так до тех пор, пока не будет достигнут единственный элемент – вершина, т.е. цель процесса принятия решений. Такая система настраиваемых уровней называется иерархией.

Иерархия – это некоторая абстракция структуры системы, предназначенная для изучения функциональных взаимодействий ее компонентов и их воздействий на систему в целом [18].

Можно предложить методику формирования инвестиционной программы РСК, разработанную на основе метода анализа иерархий как системного подхода к решению сложных проблем. Основные понятия метода анализа иерархий, или метода анализа иерархических структур, изложены в [19].

Методика формирования инвестиционной программы РСК разработана в соответствии с принципами, изложенными в пункте 1, и включает семь этапов:

1. Поиск вариантов реальных инвестиционных проектов для возможной реализации;
2. Рассмотрение бизнес-планов инвестиционных проектов и формирование исходного множества инвестиционных проектов, рассматриваемых для включения в инвестиционную программу РСК:

2.1. Анализ источников финансирования инвестиционных проектов и проверка на выполнение следующего ограничения: сальдо накопленных реальных денег  $C(t)$  (последняя строка «Отчета о движении денежных средств») в любом временном интервале реализации проекта должно быть неотрицательным:

$$C(t) \geq 0,$$

где

$C(t)$  – свободные денежные средства на  $t$ -ом шаге реализации инвестиционного проекта.

В случае

$$C(t) < 0$$

следует пересмотреть источники финансирования проекта.

2.2. Отбор инвестиционных проектов, удовлетворяющих ограничению, в исходное множество реальных проектов.

3. Декомпозиция проблемы формирования инвестиционной программы РСК в полную или неполную доминантную иерархию.

3.1. Проблема формирования инвестиционной программы как совокупности инвестиционных проектов, распределенных по направлениям инвестирования РСК, может быть структурирована в иерархию (рис. 3):

3.1.1. Определение общей цели проблемы – распределение инвестиционных проектов в соответствии с важностью.

3.1.2. Формирование уровня направлений инвестирования РСК:

- 1) новое строительство;
- 2) расширение действующих предприятий;
- 3) реконструкция;
- 4) техническое перевооружение.

3.1.3. Определение элементов уровня диапазонов напряжения электрических сетей.

3.1.4. Определение элементов уровня наиболее важных критериев в соответствии с правилом семи (если объектов управления больше семи, то человек теряет контроль над ними [20]). Следует выбрать критерии, оценивающие инвестиционный проект с экономической, технической и экологической стороны с учетом неопределенности. В качестве критериев не рассматриваются показатели, для которых определены ограничения, так как в случае ввода ограничений все объекты, не удовлетворяющие ограничениям, из дальнейшего анализа исключаются.

3.1.5. Включение в нижний уровень иерархии реальных инвестиционных проектов, рассматриваемых в качестве альтернатив для отбора в инвестиционную программу РСК. В случае большого количества инвестиционных проектов (более 7) рекомендуется группировка альтернатив в группы в соответствии с их относительной важностью по рассматриваемому критерию. Можно сформировать первую группу инвестиционных проектов, обладающих высокой степенью превосходства, вторую группу проектов умеренной важности и третью группу проектов малой важности относительно рассматриваемого критерия.

4. Вычисление приоритетов, оценивающих эффективность инвестиционных проектов для РСК с экономической, технической стороны, с точки зрения социального эффекта, экологической безопасности и с учетом неопределенности. Приоритеты каждого альтернативного проекта рассчитываются на основании метода анализа иерархических структур и являются решением модели, рассмотренной в пункте 3.

5. Определение согласованности каждой матрицы суждений и всей иерархии. В случае, если отношение согласованности превышает величину 10%, качество суждений при проведении парных сравнений может быть улучшено.

6. Реализация одной из следующих моделей в зависимости от проблемы распределения инвестиционных ресурсов РСК:

6.1. Выбрать оптимальный относительно рассматриваемых критериев инвестиционный проект (проект, имеющий наибольший приоритет):

$$w_i = \max \{w_1, w_2, \dots, w_n\},$$

где

$i = 1, 2, \dots, n$  – порядковый номер инвестиционного проекта, обладающего максимальным приоритетом;  $w_1, w_2, \dots, w_n$  – приоритеты сравниваемых инвестиционных проектов.

В случае решения проблемы целесообразности размещения инвестиционных ресурсов в определенный инвестиционный проект можно выбрать из двух вариантов альтернативу, обладающую большим приоритетом:

$$w_i = \max \{w_1, w_2\},$$

где

$i = 1, 2$  – порядковый номер варианта, обладающего максимальным приоритетом;

$w_1, w_2$  – приоритеты вариантов размещения инвестиционных ресурсов.

6.2. Вычислить отношения приоритетов инвестиционных проектов к капиталовложениям на реализацию этих проектов и распределить инвестиционные ресурсы в порядке убывания этих соотношений:

$$\text{где } w_i^p = \frac{w_i}{I_i},$$

$i = 1, 2, \dots, n$  – порядковый номер инвестиционного проекта;

$w_1, w_2, \dots, w_n$  – приоритеты сравниваемых инвестиционных проектов;

$I_i$  – дисконтированные к текущему моменту времени инвестиции, направляемые на реализацию  $i$ -го инвестиционного проекта;

$w_1^p, w_2^p, \dots, w_n^p$  – приоритеты реализации инвестиционных проектов.

6.3. Выбрать для финансирования инвестиционные проекты, которые являются решением следующей модели:

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i \rightarrow \max,$$

при ограничениях по периодам реализации инвестиционных проектов:

$$\sum_{i=1}^n K_{it} x_i \leq B_t,$$

где

$x_i$  – переменная Буля:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й инвестиционный} \\ & \text{проект принят;} \\ 0, & \text{если } i\text{-й инвестиционный} \\ & \text{проект не принят.} \end{cases}$$

$t = 1, 2, \dots, t$  – порядковый номер периода реализации  $i$  инвестиционного проекта;  $K$  – капиталовложения, направляемые в  $i$ -й инвестиционный проект;  $B$  – бюджетные ограничения, накладываемые на капиталовложения в периоде  $t$ .

Рассматриваемая модель представляет собой частный случай задачи линейного целочисленного программирования – задачу выбора вариантов. Можно бюджетные ограничения в модели детализировать по периодам реализации инвестиционных проектов, каждый из которых не превышает год (например, по полугодиям, поквартально или помесечно).

7. Формирование инвестиционной программы РСК методом отбора инвестиционных проектов в соответ-

ствии с решением одной из моделей, рассмотренных выше.

Разработанная методика формирования инвестиционной программы РСК обладает некоторыми достоинствами, так как позволяет лицу, принимающему решение:

- оценивать приемлемость каждой альтернативы (рассматриваемого инвестиционного проекта) для включения в инвестиционную программу РСК по каждому направлению инвестирования в соответствии с весами выбранных критериев (с финансовой и технической стороны, с точки зрения риска, социального эффекта и экологической безопасности);
- сравнивать инвестиционные проекты в условиях риска и неопределенности, вне зависимости от качественно- или количественного выражения риска;
- ранжировать инвестиционные проекты в соответствии с их относительной важностью и, таким образом, опре-

делить наиболее выгодный для лица, принимающему решение инвестиционный проект;

- оценивать чувствительность структуры сформированной инвестиционной программы к изменению суждений лица, принимающего решение;
- анализировать инвестиционные возможности РСК, рассматривая конкретные инвестиционные проекты в совокупности, с учетом их взаимодействия и вклада в развитие энергосистемы.

Укрупненная блок-схема алгоритма формирования оптимальной инвестиционной программы РСК представлена на рис. 4.

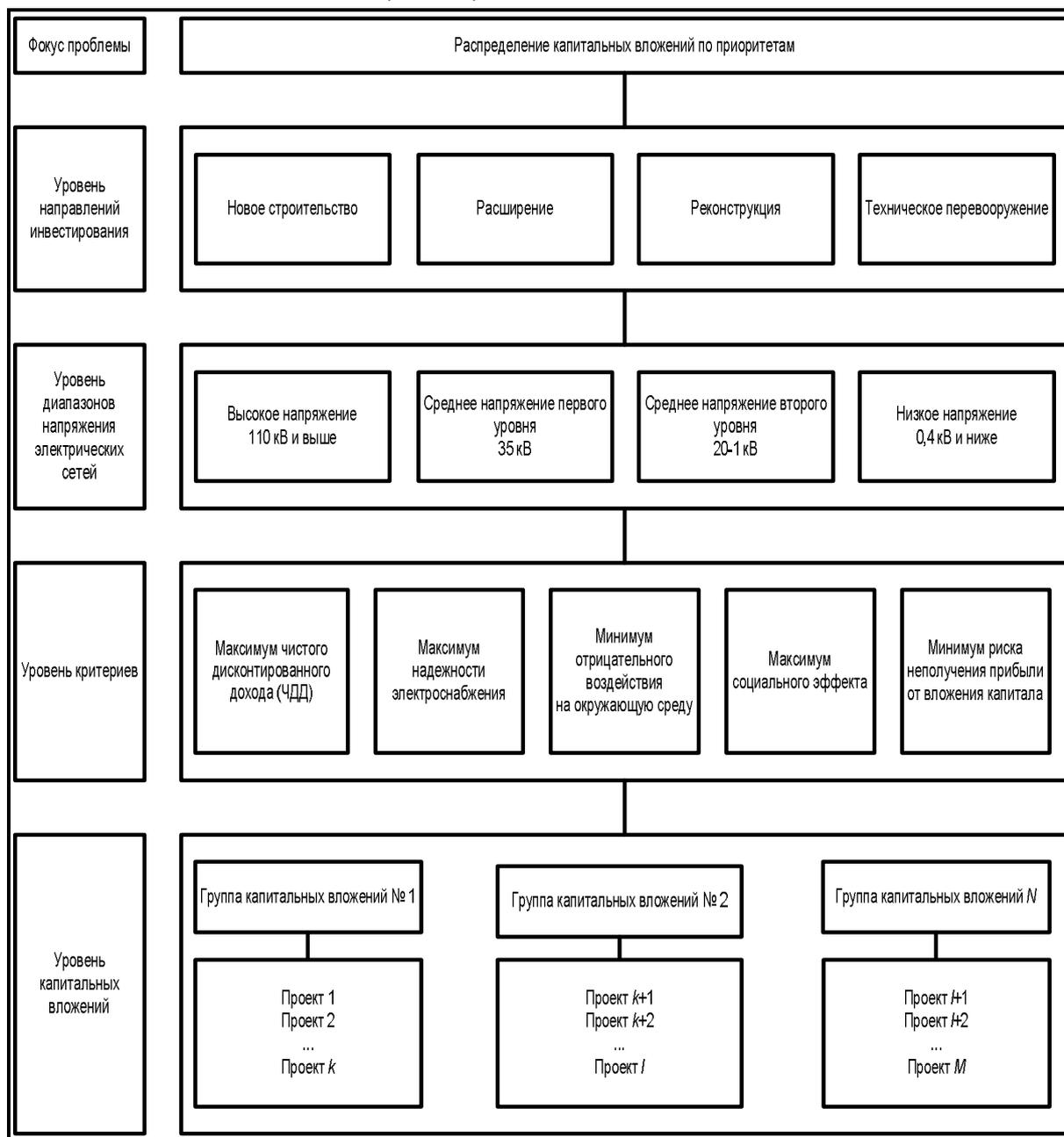


Рис. 3. Декомпозиция проблемы выявления приоритетов капитальных вложений в иерархию

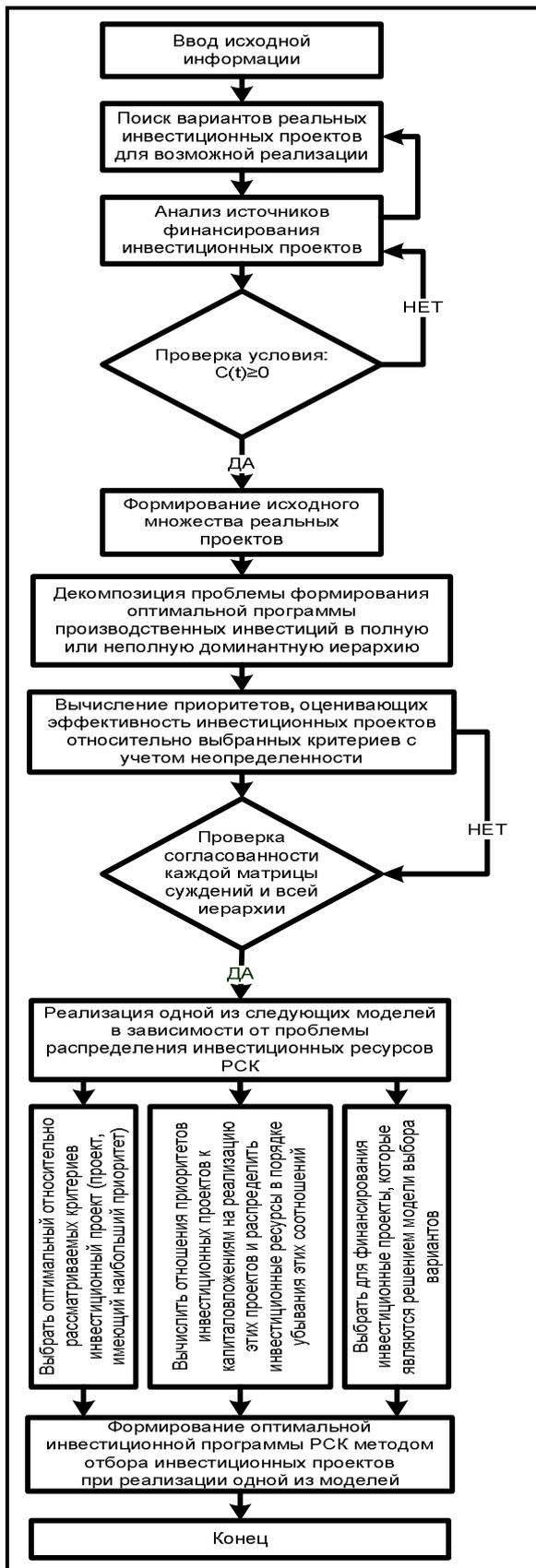


Рис. 4. Укрупненная блок-схема алгоритма формирования оптимальной инвестиционной программы РСК

### 3. МОДЕЛЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ РСК

Модель вычисления приоритетов принятых к рассмотрению инвестиционных проектов разработана на основании методики формирования оптимальной инвестиционной программы РСК (см. п. 2). Модель опирается на метод анализа иерархических структур: принципы дискриминации, сравнительного суждения и синтезирования. В качестве исследуемой системы принимается планируемая оптимальной инвестиционной программы РСК.

Алгоритм вычисления приоритетов инвестиционных проектов для иерархии, приведенной на рис. 3, включает шестнадцать этапов:

1. Устанавливается независимость по предпочтению элементов уровня направлений инвестирования РСК.
2. Устанавливается независимость по предпочтению элементов уровня напряжений электрических сетей РСК.
3. Устанавливается независимость по предпочтению элементов уровня критериев.
4. Подготавливаются матрицы сравнений направлений инвестирования относительно вклада в развитие РСК.
5. Заполняются элементы матрицы парных сравнений направлений инвестирования в результате сопоставления направлений инвестирования по их важности. Сравнения проводятся на основе экспертного анализа при фиксации экспертом своего предпочтения одного из объектов другому, определяемое по силе влияния направлений инвестирования на развитие РСК, используя шкалу выявления относительного превосходства сравниваемых элементов (см. табл. 2 п. 4). Поэтому степень превосходства принимает любые значения на отрезке [1; 9].
6. Подготавливаются матрицы парных сравнений диапазонов напряжения электрических сетей РСК по значимости относительно каждого направления инвестирования.
7. Направления последовательно фиксируются, и на основе экспертного анализа заполняются элементы матрицы парных сравнений диапазонов напряжения по каждому направлению вложения инвестиций. Эксперт определяет приоритетность развития каждого уровня напряжения по отношению к направлениям инвестирования РСК.

8. Подготавливаются матрицы парных сравнений критериев по значимости относительно каждого диапазона напряжения.

9. Направления последовательно фиксируются, и на основе экспертного анализа заполняются элементы матрицы парных сравнений критериев по каждому диапазону напряжения электрических сетей.

10. Подготавливаются матрицы парных сравнений инвестиционных проектов по каждому из рассматриваемых критериев.

11. Критерии фиксируются последовательно, и заполняются матрицы парных сравнений инвестиционных проектов относительно каждого критерия в соответствии со шкалой выявления относительной важности сравниваемых элементов.

12. Для каждой из полученных матриц парных сравнений элементов всех уровней иерархии находится решение уравнения:

$$A \times \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{pmatrix} = \lambda_{max} \times \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{pmatrix},$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_N$  – приоритеты сравниваемых элементов;  $\lambda_{max}$  – максимальное собственное значение матрицы парных сравнений;  $A$  – матрица парных сравнений с элементом  $a_{rs}$ , отражающим степень превосходства сравниваемого элемента  $r$  над элементом  $s$  в соответствии со шкалой сравнения элементов. Индексы  $r$  и  $s$  относятся к строке и столбцу соответственно. Причем должно выполняться условие:  $1 \leq a_{rs} \leq 9$ .

Количество составленных уравнений равно:

$$\alpha = 1 + u + l + m,$$

где  $\alpha$  – количество уравнений;  $u$  – количество уровней, или диапазонов напряжения;

$l$  – количество направлений инвестирования;  $m$  – количество поставленных целей.

Решениями этих уравнений являются:

1. веса направлений инвестирования –  $\beta_j$  (вклад  $j$ -го направления инвестирования в развитие РСК);
2. веса диапазонов напряжения –  $d_{jq}$  (значимость  $q$ -го уровня напряжения по отношению к  $j$ -му направлению инвестирования РСК);
3. веса критериев по каждому направлению инвестирования –  $v_{qk}$  (вес  $k$ -го критерия относительно  $q$ -го направления инвестирования);
4. приоритеты инвестиционных проектов по каждому критерию –  $\omega_{ik}$  (приоритет инвестиционного проекта, отражающий вклад  $i$  проекта в достижение  $k$ -й цели).

13. Полученные в результате решения уравнений веса диапазонов напряжения взвешиваются по каждому направлению инвестирования:

$$d_q = \sum_{j=1}^5 \beta_j d_{jq},$$

где

$j = 1, 2, \dots, 5$  – порядковый номер направления вложения инвестиционных ресурсов;

$q = 1, 2, 3, 4$  – порядковый номер диапазона напряжения;

$d_q$  – вес  $q$  уровня напряжения по всем направлениям инвестирования.

14. Полученные в результате решения уравнений приоритеты критериев взвешиваются по каждому диапазону напряжения:

$$v_k = \sum_{q=1}^4 d_q v_{qk},$$

где

$k = 1, 2, \dots, m$  – порядковый номер критерия из совокупности выбранных критериев;

$v_k$  – вес  $k$ -го критерия по всем диапазонам напряжения;

$v_{qk}$  – вес  $k$ -го критерия относительно  $q$ -го диапазона напряжения;

15. Полученные в результате решения уравнений приоритеты инвестиционных проектов взвешиваются по весам критериев.

Строится аддитивная свертка:

$$p_i = \sum_{k=1}^m v_k \omega_{ik},$$

где

$i = 1, 2, \dots, n$  – порядковый номер инвестиционного проекта;

$p_i$  – приоритет  $i$ -го инвестиционного проекта, показывающий вклад инвестиционного проекта в достижение совокупности поставленных целей;

$\omega_{ik}$  – приоритет инвестиционного проекта, отражающий вклад  $i$  проекта в достижение  $k$ -й цели.

16. Проверяется согласованность всей иерархии проблемы формирования оптимальной инвестиционной программы РСК. Иерархия считается согласованной, если отношение согласованности не превышает 10%. В случае несогласованности иерархии проблемы рекомендуется пересмотреть экспертные суждения о превосходстве сравниваемых элементов иерархии.

#### 4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Любая проблема, в том числе и экономическая, не существует изолированно. Проблемы не могут быть выделены из целого, объяснены по отдельности, а затем интегрированы для объяснения целого. Среда, в которой возникают проблемы, динамична и меняется во времени и в пространстве вместе со своими проблемами и их решениями. Большинство проблем имеют много решений, которые служат многим назначениям. Такие проблемы классифицируются как сложные.

При решении сложных проблем рассматривается взаимозависимость огромного числа различных объектов, действующих вместе. Причем сложность зависит не только от взаимозависимости, но и от числа взаимодействующих компонент, и от свойств новых элементов, являющихся результатом взаимодействия этих компонент.

Метод анализа иерархий является систематической процедурой для иерархического представления элементов, определяющей суть любой проблемы. Метод состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решение, по парным сравнениям. В результате может быть выражена относительная степень (интенсивность) взаимодействия элементов в иерархии. Эти суждения затем выражаются численно. Метод анализа иерархий включает процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений [19].

Решение проблемы – это процесс поэтапного установления приоритетов. На первом этапе выявляются наиболее важные элементы проблемы, на втором – наилучший способ проверки наблюдений, испытания и оценки элементов; следующим этапом может быть выработка способа применения решения и оценка его качества.

**4.1. Принцип идентичности и декомпозиции**

Принцип идентичности и декомпозиции предусматривает структурирование проблем в виде иерархии или сети, что является первым этапом применения метода анализа иерархий. В наиболее элементарном виде иерархия строится с вершины (целей), через промежуточные уровни (критерии, от которых зависят последующие уровни) к самому низкому уровню (который обычно является перечнем альтернатив). Иерархия считается полной, если каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня.

**4.2. Принцип дискриминации и сравнительных суждений**

После иерархического или сетевого воспроизведения проблемы устанавливаются приоритеты критериев и оценивается каждая из альтернатив по критериям с целью выявить самую важную альтернативу. Элементы задачи сравниваются попарно по отношению к их воздействию (весу, или интенсивности) на общую для них характеристику.

Путем сравнения набора составляющих проблемы друг с другом получается квадратная матрица:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}.$$

Очевидно, что эта матрица имеет свойства обратной симметричности:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}},$$

где индексы *i* и *j* относятся к строке и столбцу соответственно.

Пусть  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  – множество из *n* элементов и  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  – соответственно их веса, или интенсивности. Сравнивается вес, или интенсивность, каждого элемента с весом, или интенсивностью, любого другого элемента множества по отношению к общему для них свойству или цели. Сравнение весов можно представить на примере матрицы *n* порядка:

	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$
$A_1$	$\frac{w_1}{w_1}$	$\frac{w_1}{w_2}$	...	$\frac{w_1}{w_n}$
$A_2$	$\frac{w_2}{w_1}$	$\frac{w_2}{w_2}$	...	$\frac{w_2}{w_n}$
...	...	...	...	...
$A_n$	$\frac{w_n}{w_1}$	$\frac{w_n}{w_2}$	...	$\frac{w_n}{w_n}$

После иерархического представления проблемы составляется матрица сравнения относительной важности критериев на втором уровне по отношению к общей цели на первом уровне. Подобные матрицы составляются для парных сравнений каждой альтернативы на третьем уровне по отношению к критериям второго уровня и т. д. до нижнего уров-

ня. Количество матриц суждений на каждом уровне будет равняться числу элементов вышестоящего уровня, а размерность матриц будет соответствовать числу попарно сравниваемых элементов данного уровня.

Следует отметить, что сравнивается относительная важность элементов матрицы, расположенных слева, с элементами, расположенных наверху. Поэтому главная диагональ матрицы содержит только единицы

$$\left( \frac{w_1}{w_1}; \frac{w_2}{w_2}; \dots; \frac{w_n}{w_n} \right).$$

Для проведения субъективных парных сравнений разработана шкала относительной важности (табл. 2).

**4.3. Синтез приоритетов**

Данный этап включает пять процедур:

**Вычисление локальных приоритетов**

Из группы матриц парных сравнений формируется набор локальных приоритетов, которые выражают относительное влияние множества элементов на элемент вышестоящего уровня.

Относительная сила, величина, ценность, желательность или вероятность каждого отдельного объекта выражается через «решение» матриц, каждая из которых обладает обратно симметричными свойствами. Для этого вычисляется множество собственных векторов. Многие авторы в качестве способа приближения к приоритетам рекомендуют использовать геометрическое среднее, вычисленное следующим образом. Необходимо перемножить элементы в каждой строке и извлечь корень степени, равной числу элементов. Затем полученный столбец чисел нормализуется делением каждого числа на сумму всех чисел. В результате получается собственный вектор приоритетов. Эта процедура может быть проиллюстрирована на примере матрицы суждений 4-го порядка следующим образом:

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	
$A_1$	$\frac{w_1}{w_1}$	$\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{w_1}{w_3}$	$\frac{w_1}{w_4}$	$\sqrt[4]{\frac{w_1 * w_1 * w_1 * w_1}{w_1 * w_2 * w_3 * w_4}} = a = \frac{a}{a+b+c+d} = x_1;$
$A_2$	$\frac{w_2}{w_1}$	$\frac{w_2}{w_2}$	$\frac{w_2}{w_3}$	$\frac{w_2}{w_4}$	$\sqrt[4]{\frac{w_2 * w_2 * w_2 * w_2}{w_1 * w_2 * w_3 * w_4}} = b = \frac{b}{a+b+c+d} = x_2;$
$A_3$	$\frac{w_3}{w_1}$	$\frac{w_3}{w_2}$	$\frac{w_3}{w_3}$	$\frac{w_3}{w_4}$	$\sqrt[4]{\frac{w_3 * w_3 * w_3 * w_3}{w_1 * w_2 * w_3 * w_4}} = c = \frac{c}{a+b+c+d} = x_3;$
$A_4$	$\frac{w_4}{w_1}$	$\frac{w_4}{w_2}$	$\frac{w_4}{w_3}$	$\frac{w_4}{w_4}$	$\sqrt[4]{\frac{w_4 * w_4 * w_4 * w_4}{w_1 * w_2 * w_3 * w_4}} = d = \frac{d}{a+b+c+d} = x_4.$

Другой способ вычисления приоритетов каждого отдельного элемента заключается в нормализации элементов каждого столбца матрицы и затем в усреднении каждой строки. Существует множество других способов аппроксимации приоритетов. При использовании любого метода аппроксимации существует опасность изменения порядка ранжирования, что приводит к нежелательным результатам. Однако преимущество подхода, основанного на собственном векторе, состоит в том, что, во-первых, используется информация, которая содержится в любой, даже несогласованной матрице, и, во-вторых, для вычисления приоритетов не производятся арифметические преобразования данных.

Таблица 2

**ШКАЛА ВЫЯВЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ СРАВНИВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ОДНОГО УРОВНЯ ИЕРАРХИИ**

Интенсивность относительной важности	Степень важности	Объяснения
1	Равная важность	Равный вклад двух видов деятельности в достижение цели
3	Умеренное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают легкое превосходство одному виду деятельности над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Опыт и суждения дают сильное превосходство одному виду деятельности над другим
7	Значительное превосходство	Одному виду деятельности дается настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одного вида над другим подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае

Примечание.

На основании заполненных клеток, находящихся над главной диагональю, часть матрицы под главной диагональю заполняется автоматически, так как эти клетки содержат обратные сравнения. Заносятся соответствующие обратные величины для обратного сравнения элементов, находящихся в столбцах, с элементами в строках. Например, при сравнении элемента А1 с элементом А2 в клетку на пересечении первой строки и второго столбца эксперт внес число 5. Значит, клетка на пересечении второй строки и первого столбца должна содержать обратное сравнение, т. е. число 1/5 и т.д. пока все клетки матрицы не будут заполнены.

Таким образом, если при сравнении одного вида деятельности с другим получено одно из указанных в табл. 2 чисел, то при сравнении второго вида деятельности с первым получим обратную величину

**Вычисление собственного значения матрицы суждений**

Сначала суммируется каждый столбец матрицы суждений, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты нормализованного вектора приоритетов, сумма второго столбца на вторую компоненту и т.д., затем полученные числа суммируются. Таким образом можно получить наибольшее собственное значение каждой матрицы суждений.

**Определение индекса согласованности матрицы суждений**

Согласованность может оцениваться следующим образом.

Умножив матрицу сравнений справа на полученную оценку вектора решения, получим новый вектор.

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_1 & \dots & w_1 \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ w_2 & w_2 & \dots & w_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}.$$

Полученный вектор можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{w_1}{w_1} x_1 + \frac{w_1}{w_2} x_2 + \dots + \frac{w_1}{w_n} x_n = Y_1 \\ \frac{w_2}{w_1} x_1 + \frac{w_2}{w_2} x_2 + \dots + \frac{w_2}{w_n} x_n = Y_2 \\ \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} x_1 + \frac{w_n}{w_2} x_2 + \dots + \frac{w_n}{w_n} x_n = Y_n \end{cases}.$$

Проведя арифметические преобразования, можно записать:

$$\left( \frac{x_1}{w_1} + \frac{x_2}{w_2} + \dots + \frac{x_n}{w_n} \right) \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}.$$

Следовательно:

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}.$$

Алгебраически задача в случае согласованности заключается в решении уравнения:

$$A \times w = n \times w, \quad A = (w_i / w_j),$$

а общая задача с обратными симметричными суждениями заключается в решении уравнения:

$$A' \times w' = \lambda_{max} \times w', \quad A' = (a_{ij}),$$

где

$\lambda_{max}$  – наибольшее собственное значение матрицы суждений  $A$ .

Разделив первую компоненту вектора  $Y$  на первую компоненту оценки вектора решения, вторую компоненту вектора  $Y$  на вторую компоненту оценки вектора решения и т.д., определим еще один вектор.

$$\left( \frac{Y_1}{x_1} \quad \frac{Y_2}{x_2} \quad \dots \quad \frac{Y_n}{x_n} \right)^T.$$

Разделив сумму компонент этого вектора на число компонент, найдем приближение к числу  $\lambda_{max}$ , используемому для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений. Чем ближе  $\lambda_{max}$  к  $n$  (числу сравниваемых элементов), тем более согласован результат.

Отклонение от согласованности может быть выражено индексом согласованности ( $ИС$ ):

$$ИС = (\lambda_{max} - n) / (n - 1).$$

Для обратно симметричной матрицы  $\lambda_{max} \geq n$ .

Если разделить *ИС* на случайную согласованность матрицы того же порядка, получим ratio of a coherence (*ОС*). Ниже даны средние согласованности для случайных матриц разного порядка (табл. 3).

Таблица 3

### СЛУЧАЙНЫЕ СОГЛАСОВАННОСТИ МАТРИЦ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Величина *ОС* не должна превышать 10%, чтобы быть приемлемой.

#### Иерархический синтез приоритетов

Приоритеты синтезируются, начиная со второго уровня вниз, следующим образом. Во-первых, составляются матрицы, в которых локальные приоритеты располагаются по отношению к каждому критерию, которые расположены в верхней строке. Во-вторых, каждый столбец векторов умножается на приоритет соответствующего критерия и результат складывается вдоль каждой строки. Таким образом, рассчитываются обобщенные, или глобальные приоритеты.

#### Определение индекса согласованности всей иерархии

Для нахождения согласованности всей иерархии каждый индекс согласованности умножается на приоритет соответствующего элемента, находящегося на более высоком уровне, и полученные числа суммируются. Затем результат делится на такое же выражение, но со случайным индексом согласованности, соответствующим размерам каждой взвешенной приоритетами матрицы. Приемлемым является значение не более 0,1. В противном случае качество суждений следует улучшить.

Идея иерархии может быть использована в расчленении рассматриваемых элементов на большие группы, или кластеры, которые далее расчленяются на меньшие кластеры и т. д. Тогда целью будет получение приоритетов всех элементов методом группирования. Это более эффективный процесс, чем обработка всех элементов совместно.

При исследовании большого числа элементов, входящих на один из уровней иерархии, рекомендуется группировка элементов в кластеры в соответствии с их относительной важностью. Таким образом, можно получить первый кластер самых важных элементов, второй кластер элементов умеренной важности, и третий – элементов с малой важностью. Затем кластеры сравниваются попарно по соответствующему критерию из расположенного выше уровня.

Группирование в кластеры может различаться от критерия к критерию. После анализа кластеров элементы в каждом кластере попарно сравниваются по их относительной важности в этом кластере. Если элементов в кластере слишком много, то они вновь могут быть сгруппированы по какому-либо признаку в уже сформированном кластере. Таким образом, каж-

дый элемент принадлежит нескольким кластерам и получает несколько весов из различных кластеров. [18]

Метод анализа иерархий (МАИ) по сравнению с прочими многокритериальными методами обладает следующими преимуществами:

1) возможность структурирования проблемы формирования инвестиционной программы РСК в иерархию, позволяет использовать следующие преимущества иерархий:

- иерархическое представление системы можно использовать для описания влияния изменения приоритетов элементов верхних уровней на приоритеты нижних уровней;
- иерархии предоставляют более подробную информацию о структуре и функциях системы на нижних уровнях;
- иерархии устойчивы и гибки: устойчивы в том смысле, что малые изменения вызывают малый эффект, а гибкие в том смысле, что добавления к хорошо структурированной иерархии не разрушают ее характеристик.

2) для МАИ не требуется допущения о согласованности в предпочтениях, в то время как построение функции полезности при использовании теории полезности требует транзитивности отношения предпочтений;

3) возмущение суждения в пределах иерархии для получения нового набора приоритетов, используя МАИ, менее затруднительно, чем построение функции полезности для каждого периода времени;

4) шкала [1; 9], используемая для выявления относительной важности сравниваемых элементов одного уровня иерархии, наиболее полно соответствует интуиции лица, принимающего решение, по следующим причинам:

- суждения лица, принимающего решение, относительно превосходства сравниваемых элементов одного уровня иерархии классифицируются в трихотомию зон: неприятия, безразличия и принятия. Для более тонкой классификации в каждую из этих зон заложен принцип трихотомии: деление на низкую, умеренную и высокую степени. Таким образом, получается девять оттенков значимых особенностей;
- при одновременном сравнении  $7 \pm 2$  предметов (предметы близки относительно свойства, используемого для сравнения, и слегка отличаются друг от друга) понадобится 9 точек, чтобы различить их.

Таким образом, метод анализа иерархий учитывает интересы лиц, которые воздействуют на конечный результат планирования и находятся под его воздействием, и сложность прогнозирования экономических результатов стратегического планирования инвестиционной деятельности предприятий электроэнергетического комплекса, в целом, и РСК, в частности.

## 5. ФОРМИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ, НА ПРИМЕРЕ РСК «ЛЕНЭНЕРГО»

Методика формирования инвестиционной программы РСК может быть реализована на примере РСК «Ленэнерго». В качестве альтернатив рассматриваются десять инвестиционных проектов (ИП), которые могут быть реализованы до 2010 г.: ИП-1, ИП-2, ИП-3, ИП-4, ИП-5, ИП-6, ИП-7, ИП-8, ИП-9, ИП-10. Необходимо распределить инвестиционные проекты в соответствии с их важностью для РСК.

В процессе построения иерархии следует выделить в отдельные альтернативы те проекты, которые могут быть реализованы совместно, т. е. проекты, которые не являются взаимоисключающими. Затем альтернативы можно

сгруппировать в кластеры по величине капитальных вложений:

- 1) группа крупных проектов;
- 2) группа средних проектов;
- 3) группа мелких проектов.

Инвестиционные проекты по масштабам проектов в зависимости от их сметной стоимости и суммы внеоборотных активов РСК по годовой отчетности за предыдущий период подразделяются на крупные, средние и мелкие (табл. 4).

Например, ИП-1, ИП-2, ИП-6 могут быть совместно реализованы. Следовательно, объединяем эти проекты в альтернативный проект (ИП-11), реализация которого исключает остальные проекты. Следует проекты ИП-1, ИП-2 и ИП-5 также объединить в альтернативный проект ИП-12.

В этом случае следует решать проблему вычисления приоритетов реализации инвестиционных проектов. Можно рассматривать четыре критерия вместо пяти, упомянутых ранее, а на нижнем уровне

иерархии сравнивать важность проектов в группах по величине социального эффекта (рис. 5).

На основании анкеты выявления относительной важности сравниваемых элементов экспертом выносятся суждения о превосходстве элементов каждого уровня иерархии. Пример анкеты для выявления экспертом относительной важности направлений инвестирования представлен в табл. 5. Данные анкеты экспертом уточняются в процессе составления матрицы суждений (табл. 6).

Остальные матрицы суждений приведены в табл. 7 – 12. Расчет весов уровней напряжения, критериев, групп инвестиционных проектов и приоритетов инвестиционных проектов приведен в табл. 13 – 16.

Отношение согласованности всей иерархии не превышает 10%.

Из табл. 16 видно, что максимальным приоритетом из рассматриваемых взаимоисключающих проектов обладает ИП-12. Следовательно, ИП-1, ИП-2 и ИП-5, входящие в ИП-12, наиболее предпочтительны для реализации с учетом целей, важности диапазонов напряжения и весов направлений инвестирования РСК.

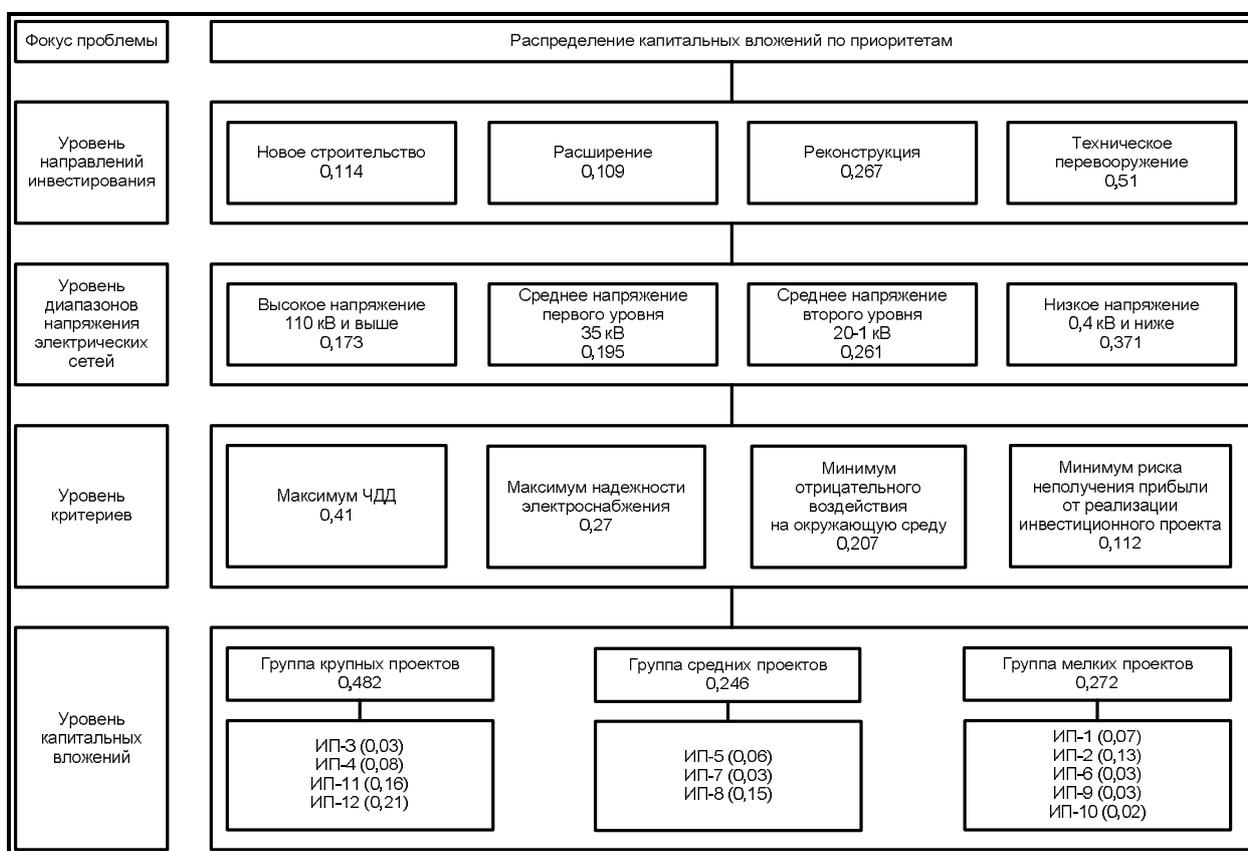


Рис. 5. Декомпозиция проблемы выявления приоритетов капитальных вложений РСК

Таблица 4

ГРУППИРОВКА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПО МАСШТАБУ

Показатели		Значение				
Мелкие проекты, сметная стоимость, млрд. руб.		$\leq 0,03$				
Средние проекты, сметная стоимость ( $S_c$ ), млрд. руб.		$0,03 < S_c \leq S_k$				
Крупные проекты	Величина внеоборотных активов ( $BA$ ) РСК, млрд. руб.	$> 40$	$8 < BA \leq 40$	$5 < BA \leq 8$	$2 < BA \leq 5$	$< 2$
	сметная стоимость ( $S_k$ ), млрд. руб.	—	$\geq 0,8$	$\geq 0,6$	$\geq 0,5$	$\geq 0,3$
	% от внеоборотных активов	$\geq 5$	$\geq 7$	$\geq 10$	$\geq 15$	$\geq 20$

Таблица 5

## АНКЕТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ НАПРАВЛЕНИЙ ИНВЕСТИРОВАНИЯ РСК

Направления инвестирования	Превосходство направлений инвестирования, расположенных слева над направлениями инвестирования, расположенными справа				Равенство направлений инвестирования	Превосходство направлений инвестирования, расположенных справа над направлениями инвестирования, расположенными слева				Направления инвестирования
	Подавляющее	Очень сильное	Сильное	Слабое		Слабое	Сильное	Очень сильное	Подавляющее	
Новое строительство	-	-	-	V	-	-	-	-	-	Расширение действующих предприятий
Новое строительство	-	-	-	-	-	V	-	-	-	Реконструкция действующих предприятий
Новое строительство	-	-	-	-	-	V	-	-	-	Техническое перевооружение
Расширение действующих предприятий	-	-	-	-	-	V	-	-	-	Реконструкция действующих предприятий
Расширение действующих предприятий	-	-	-	-	-	-	V	-	-	Техническое перевооружение
Реконструкция действующих предприятий	-	-	-	-	-	V	-	-	-	Техническое перевооружение

Таблица 6

## РАСЧЕТ ВЕСОВ НАПРАВЛЕНИЙ ИНВЕСТИРОВАНИЯ

Направления инвестирования					Вектор весов направлений инвестирования	ОС, %
Направления инвестирования	Новое строительство	Расширение действующих предприятий	Реконструкция действующих предприятий	Техническое перевооружение		
Новое строительство	1	1 1/5	1/3	1/4	0,114	1,03
Расширение действующих предприятий	5/6	1	1/2	1/5	0,109	
Реконструкция действующих предприятий	3	2	1	1/2	0,267	
Техническое перевооружение	4	5	2	1	0,510	

Таблица 7

## МАТРИЦЫ СУЖДЕНИЙ ДЛЯ УРОВНЯ ДИАПАЗОНОВ НАПРЯЖЕНИЙ

Направления инвестирования	Уровни напряжения	Уровни напряжения				Вектор приоритетов	ОС, %
		Высокое напряжение 110 кВ и выше	Среднее напряжение первого уровня 35 кВ	Среднее напряжение второго уровня 20-1 кВ	Низкое напряжение 0,4 кВ и ниже		
Новое строительство	Высокое напряжение 110 кВ и выше	1	2	3	2	0,423	1,93
	Среднее напряжение первого уровня 35 кВ	1/2	1	1	1/2	0,161	
	Среднее напряжение второго уровня 20-1 кВ	1/3	1	1	1/2	0,145	
	Низкое напряжение 0,4 кВ и ниже	1/2	2	2	1	0,270	
Расширение действующих предприятий	Высокое напряжение 110 кВ и выше	1	1/2	1/3	1/3	0,109	1,62
	Среднее напряжение первого уровня 35 кВ	2	1	1	1/2	0,225	
	Среднее напряжение второго уровня 20-1 кВ	3	1	1	1/2	0,249	
	Низкое напряжение 0,4 кВ и ниже	3	2	2	1	0,418	
Реконструкция действующих предприятий	Высокое напряжение 110 кВ и выше	1	1 1/5	1 1/5	1/3	0,191	6,82
	Среднее напряжение первого уровня 35 кВ	5/6	1	3	1/2	0,242	
	Среднее напряжение второго уровня 20-1 кВ	5/6	1/3	1	1/2	0,140	
	Низкое напряжение 0,4 кВ и ниже	3	2	2	1	0,427	
Техническое перевооружение	Высокое напряжение 110 кВ и выше	1	1/2	1/2	1/3	0,121	3,32
	Среднее напряжение первого уровня 35 кВ	2	1	1/3	1/2	0,172	
	Среднее напряжение второго уровня 20-1 кВ	2	3	1	1	0,354	
	Низкое напряжение 0,4 кВ и ниже	3	2	1	1	0,354	

Таблица 8

МАТРИЦЫ СУЖДЕНИЙ ДЛЯ УРОВНЯ КРИТЕРИЕВ

Уровни диапазонов	Критерии	Критерии				Вектор приоритетов	ОС, %
		Максимум ЧДД	Максимум надежности электроснабжения	Минимум отрицательного воздействия на окружающую среду	Минимум риска неполучения прибыли от реализации инвестиционного проекта		
Высокое напряжение 110 кВ и выше	Максимум ЧДД	1	1 1/2	2	3	0,390	4,29
	Максимум надежности электроснабжения	2/3	1	1/2	2	0,204	
	Минимум отрицательного воздействия на окружающую среду	1/2	2	1	3	0,297	
	Минимум риска неполучения прибыли от реализации инвестиционного проекта	1/3	1/2	1/3	1	0,109	
Среднее напряжение первого уровня 35 кВ	Максимум ЧДД	1	1 3/5	3 1/2	4	0,463	1,75
	Максимум надежности электроснабжения	5/8	1	1 1/3	3 1/2	0,276	
	Минимум отрицательного воздействия на окружающую среду	2/7	3/4	1	1 1/2	0,161	
	Минимум риска неполучения прибыли от реализации инвестиционного проекта	1/4	2/7	2/3	1	0,099	
Среднее напряжение второго уровня 20-1 кВ	Максимум ЧДД	1	1 1/2	3	2	0,396	5,11
	Максимум надежности электроснабжения	2/3	1	1 1/5	3	0,284	
	Минимум отрицательного воздействия на окружающую среду	1/3	5/6	1	2	0,197	
	Минимум риска неполучения прибыли от реализации инвестиционного проекта	1/2	1/3	1/2	1	0,123	
Низкое напряжение 0,4 кВ и ниже	Максимум ЧДД	1	1 2/3	2	3	0,403	1,82
	Максимум надежности электроснабжения	3/5	1	1 1/3	3 1/2	0,288	
	Минимум отрицательного воздействия на окружающую среду	1/2	3/4	1	1 1/2	0,196	
	Минимум риска неполучения прибыли от реализации инвестиционного проекта	1/3	2/7	2/3	1	0,113	

Таблица 9

МАТРИЦЫ СУЖДЕНИЙ ДЛЯ УРОВНЯ ГРУПП ПРОЕКТОВ

Критерии	Альтернативы				Вектор приоритетов	ОС, %
	Альтернативы	Крупные проекты	Средние проекты	Мелкие проекты		
Максимум ЧДД	Крупные проекты	1	4	7	0,696	6,6
	Средние проекты	1/4	1	4	0,229	
	Мелкие проекты	1/7	1/4	1	0,075	
Максимум надежности электроснабжения	Крупные проекты	1	3	5	0,627	7,4
	Средние проекты	1/3	1	4	0,280	
	Мелкие проекты	1/5	1/4	1	0,094	
Минимум отрицательного воздействия на окружающую среду	Крупные проекты	1	1/3	1/6	0,091	4,6
	Средние проекты	3	1	1/4	0,218	
	Мелкие проекты	6	4	1	0,691	
Минимум риска неполучения прибыли от реализации инвестиционного проекта	Крупные проекты	1	1/5	1/7	0,072	5,6
	Средние проекты	5	1	1/3	0,279	
	Мелкие проекты	7	3	1	0,649	

Таблица 10

МАТРИЦЫ СУЖДЕНИЙ ДЛЯ КРУПНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ  
(ВЫЯВЛЕНИЕ ВАЖНОСТИ ПО ОТНОШЕНИЮ К СОЦИАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ПРОЕКТОВ)

Крупные проекты					Вектор приоритетов	ОС, %
Крупные проекты	ИП-3	ИП-4	ИП-11	ИП-12		
ИП-3	1	1/3	1/4	1/7	0,066	1,7
ИП-4	3	1	1/2	1/3	0,168	
ИП-11	4	2	1	1	0,337	
ИП-12	7	3	1	1	0,429	

Таблица 11

МАТРИЦЫ СУЖДЕНИЙ ДЛЯ СРЕДНИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ  
(ВЫЯВЛЕНИЕ ВАЖНОСТИ ПО ОТНОШЕНИЮ К СОЦИАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ПРОЕКТОВ)

Средние проекты				Вектор приоритетов	ОС, %
Средние проекты	ИП-5	ИП-7	ИП-8		

Средние проекты				Вектор приоритетов	ОС, %
Средние проекты	ИП-5	ИП-7	ИП-8		
ИП-5	1	2	1/3	0,238	1,6
ИП-7	1/2	1	1/4	0,136	
ИП-8	3	4	1	0,625	

Таблица 12

**МАТРИЦЫ СУЖДЕНИЙ ДЛЯ МЕЛКИХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ  
(ВЫЯВЛЕНИЕ ВАЖНОСТИ ПО ОТНОШЕНИЮ К СОЦИАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ПРОЕКТОВ)**

Мелкие проекты						Вектор приоритетов	ОС, %
Мелкие проекты	ИП-1	ИП-2	ИП-6	ИП-9	ИП-10		
ИП-1	1	1/3	2	5	4	0,259	5,3
ИП-2	3	1	4	4	5	0,462	
ИП-6	1/2	1/4	1	1	2	0,117	
ИП-9	1/5	1/4	1	1	2	0,097	
ИП-10	1/4	1/5	1/2	1/2	1	0,064	

Таблица 13

**РАСЧЕТ ВЕСОВ ДИАПАЗОНОВ НАПРЯЖЕНИЙ**

Критерии	Направления строительства				Веса уровней напряжений
	Новое строительство	Расширение действующих предприятий	Реконструкция действующих предприятий	Техническое перевооружение	
	<b>0,114</b>	<b>0,109</b>	<b>0,267</b>	<b>0,510</b>	
Высокое напряжение 110 кВ и выше	0,048	0,012	0,051	0,062	0,173
Среднее напряжение первого уровня 35 кВ	0,018	0,024	0,065	0,088	0,195
Среднее напряжение второго уровня 20-1 кВ	0,017	0,027	0,037	0,180	0,261
Низкое напряжение 0,4 кВ и ниже	0,031	0,046	0,114	0,180	0,371

Таблица 14

**РАСЧЕТ ВЕСОВ КРИТЕРИЕВ**

Критерии	Уровни напряжений				Weights of yardsticks
	High potential 110 kВ and above	Mean stress of the maiden level 35 кВ	Mean stress of the second level 20-1 кВ	Low voltage 0,4 кВ and below	
	<b>0,173</b>	<b>0,195</b>	<b>0,261</b>	<b>0,371</b>	
Максимум ЧДД	0,068	0,090	0,103	0,149	0,410
Максимум надежности электро-снабжения	0,035	0,054	0,074	0,107	0,270
Минимум отрицательного воздействия на окружающую среду	0,051	0,031	0,052	0,073	0,207
Минимум риска неполучения прибыли от реализации инвестиционного проекта	0,019	0,019	0,032	0,042	0,112

Таблица 15

**РАСЧЕТ ВЕСОВ ГРУПП ПРОЕКТОВ**

Альтернативы	Критерии				Приоритеты альтернатив
	Максимум ЧДД	Максимум надежности электро-снабжения	Минимум отрицательного воздействия на окружающую среду	Минимум риска неполучения прибыли от реализации инвестиционного проекта	
	<b>0,410</b>	<b>0,270</b>	<b>0,207</b>	<b>0,112</b>	
Крупные проекты	0,285	0,169	0,019	0,008	0,482
Средние проекты	0,094	0,076	0,045	0,031	0,246
Мелкие проекты	0,031	0,025	0,143	0,073	0,272

Таблица 16

**РАСЧЕТ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРИОРИТЕТОВ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ**

Инвестиционные проекты	Группы проектов			Глобальные приоритеты проектов
	Крупные проекты	Средние проекты	Мелкие проекты	
	<b>0,482</b>	<b>0,246</b>	<b>0,272</b>	
ИП-1	0	0	0,07	0,07
ИП-2	0	0	0,13	0,13

Инвестиционные проекты	Группы проектов			Глобальные приоритеты проектов
	Крупные проекты	Средние проекты	Мелкие проекты	
	0,482	0,246	0,272	
ИП-3	0,03	0	0	0,03
ИП-4	0,08	0	0	0,08
ИП-5	0	0,06	0	0,06
ИП-6	0	0	0,03	0,03
ИП-7	0	0,03	0	0,03
ИП-8	0	0,15	0	0,15
ИП-9	0	0	0,03	0,03
ИП-10	0	0	0,02	0,02
ИП-11	0,16	0	0	0,16
ИП-12	0,21	0	0	0,21

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. РСК создаются в процессе реструктуризации АО-энерго на базе объектов электросетевого хозяйства, не относящихся к единой национальной (общероссийской) электрической сети.
2. Предложена методика формирования инвестиционной программы РСК, которая позволяет осуществлять выбор альтернативных вариантов инвестиционных проектов на основе многоцелевого анализа эффективности инвестиций в объекты электросетевого хозяйства РСК в условиях неопределенности.
3. Апробация методики формирования инвестиционной программы РСК позволит получить в удобном для представления и обработки виде оценки, характеризующие степень влияния каждого из принимаемых к рассмотрению инвестиционных проектов на достижение совокупности поставленных целей с учетом важности уровней напряжения и приоритетности направлений инвестирования. Внедрение в практику этой методики позволит также повысить социальную направленность планирования инвестиционной программы РСК и, в целом, электроэнергетического комплекса.

**Литература**

1. ГОСТ 19431–84. Энергетика и электрификация. Термины и определения.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. № 861 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств (энергетических установок) юридических и физических лиц к электрическим сетям».
3. Федеральный закон № 35-ФЗ от 26 марта 2003 г. «Об электроэнергетике».
4. Приказ Федеральной службы по тарифам от 6 августа 2004 г. № 20-э/2.
5. Концепция Стратегии ОАО РАО «ЕЭС России» на 2003 – 2008 гг. «5+5», утвержденная Советом Директоров ОАО РАО «ЕЭС России» 29 мая 2003 г.
6. Реформирование электроэнергетики. Азбука реформы. <http://www.rao-ees.ru/ru/reforming/lib/show.cgi?abcd.htm>.
7. Информационный бюллетень о ходе реформирования электроэнергетики РФ в январе – ноябре 2004 г. <http://www.rao-ees.ru>.
8. Пресс-служба ОАО «Псковэнерго». Новости «Псковэнерго» // Энергетика и промышленность России. – 2005. – январь № 1. – С.7.

9. Совет директоров РАО «ЕЭС России» одобрил создание МРСК // Корпоративная газета «Единая сеть». – 2004. – октябрь № 10(11). [www.fsk-ees.ru](http://www.fsk-ees.ru).
10. Информационный бюллетень «О ходе реформирования ОАО РАО «ЕЭС России» № 24. Итоги: с 1 января по 28 февраля. Планы: с 1 марта по 31 марта.» <http://www.rao-ees.ru/ru/reforming/chron/bulletins/show.cgi?content.htm>.
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. № 854 «Об утверждении Правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике».
12. Пресс-релизы ОАО РАО «ЕЭС России» за период с 01.01.2004 г. по 23.03.2005 г. <http://www.rao-ees.ru/ru/news/pr/>.
13. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 1 сентября 2003 г. № 1254-р.
14. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982. – 319 с.
15. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития – М.: Наука, 1979. – 415 с.
16. Комплексный анализ эффективности технических решений в энергетике/ Ю.Б. Гук, П.П. Долгов, В.Р. Окорочков и др.; Под ред. В.Р. Окорочкова и Д.С. Щавелева. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1985. – 176 с.
17. Крушвиц Л. Инвестиционные расчеты / Пер. с нем. Под общей редакцией В. В. Ковалева и З. А. Саболева. – СПб: Питер, 2001. – 432 с.
18. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
19. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
20. Алексеев Ю.П. Логика формирования моделей хозрасчета при применении современных управленческих технологий. Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: ПЭИпк 1999. – 64 с.

*Барыкин Сергей Евгеньевич*