
УДК 681.3.06:519.711.3

ББК 32.973.-018

С 37

В.С. Симанков, П.Ю. Бучацкий

Формирование дерева целей и системы критериев эффективности в альтернативной энергетике на основе системного подхода

(Рецензирована)

Аннотация:

В работе рассмотрены вопросы формирования дерева целей и системы критериев эффективности в альтернативной энергетике на основании системного подхода.

Ключевые слова:

Системный подход, дерево целей, критерии эффективности, нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

Масштабы преобразования сконцентрированной в ископаемых ресурсах потенциальной энергии ставят под угрозу устойчивость экосистемы Земли. Альтернативой служит замещение части процессов преобразованием естественных потоков возобновляемой энергии, характеризующееся мягкими воздействиями на биосферу. Увеличению доли возобновляемой энергии будет способствовать решение проблем эффективного выбора источников и их сочетаний, качественно обеспечивающих запросы потребителей в энергии при минимальных затратах. Это требует совершенствования теоретических основ системного анализа в части принятия решений и выбора среди универсального множества объектов имеющих свойства природной неопределённости, а также формирование дерева целей системы энергоснабжения с возобновляемыми источниками и разработка адекватных моделей критериев.

Системный подход в энергетике характеризуется комплексностью исследований, т.е. всесторонним рассмотрением изучаемой системы и проблемы с учетом ее внешних или внутренних взаимосвязей, разнообразных ограничений и последствий принимаемых решений.

Определение проблемы включает в себя этапы системного анализа, приведенные на рис.1 и три подэтапа [15].

Первые этапы системного анализа связаны с формулированием проблемы и определения проблемосодержащей системы (так называют систему, в деятельности которой проявилась данная проблема как некоторое отрицательное,

нежелательное явление). К любой реальной проблеме необходимо относиться не как к отдельно взятой, а как к совокупности взаимосвязанных проблем. Используя для обозначения этой совокупности, термин проблематика, можно сказать, что этап формулирования проблемы состоит в определении проблематики [10]. Для расширения проблемы потребуется содержательная модель над- и подсистем относительно проблемосодержащей системы [2].

Формулирование проблематики и состоит в описании того, какие изменения и почему хочет внести каждое из заинтересованных лиц. Какова бы ни была природа рассматриваемой системы, ее проблематика включает спектр проблем: от допускающих формализацию до проблем слабо структурированных, неформализуемых, выражаемых на естественном языке. В соответствии с этим выделяются три класса проблем:

- хорошо структурированные, или количественно сформулированные;
- слабоструктурированные (смешанные), содержащие количественные и качественные оценки;
- неструктурированные (качественные) проблемы.

Наряду с характеристикой проблематики по мере ее структурированности, проблему можно классифицировать по важности, критичности, масштабу, значимости и уникальности.

Методика определения проблемы требует введения понятия агрегата, состоящего из каче-

ственно различных языков описания системы и обладающего тем свойством, что число этих языков минимально, но необходимо для заданной цели, такой агрегат называют конфигуратором [10]. Конфигуратор является содержательной моделью высшего уровня, определяет тип системы, фиксирует понимание природы системы. Как всякая модель, конфигуратор

имеет целевой характер и при смене цели может утратить свойства конфигуратора

Рассмотрим на основе предложенного подхода состояние энергетики, как проблемосодержащую систему и альтернативную энергетику в качестве проблеморазрешающей системы [15].

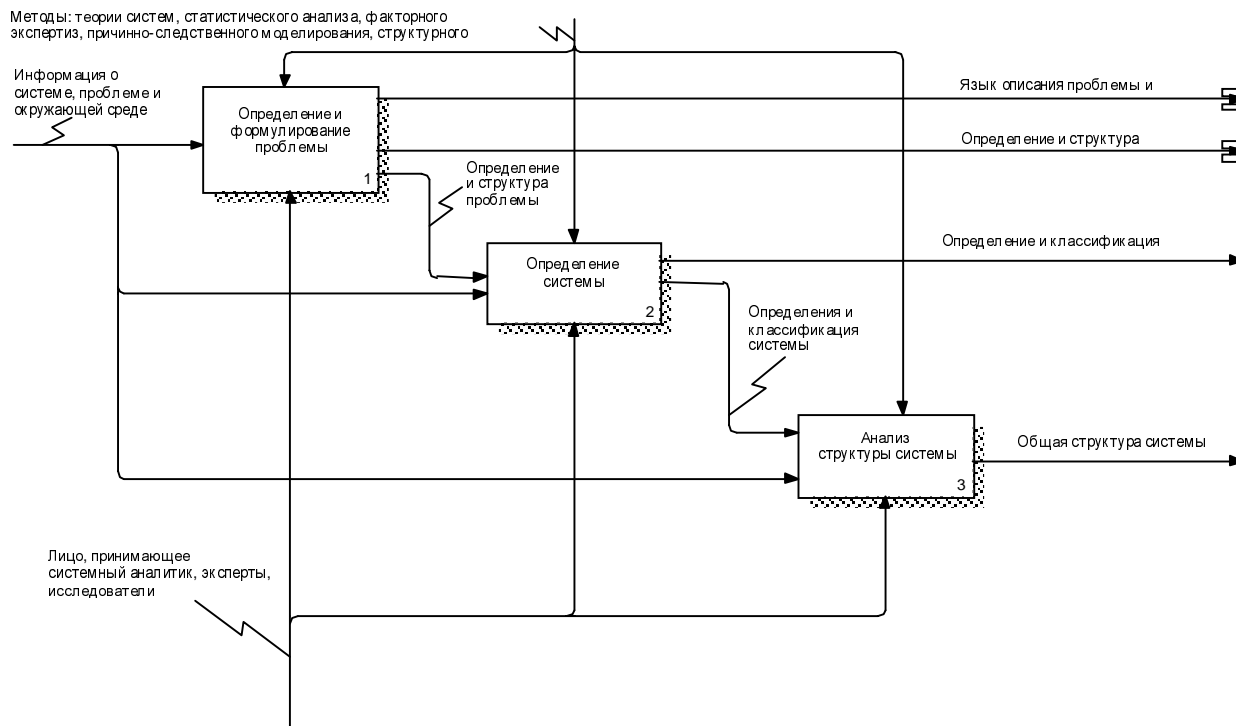


Рис. 1. Определение проблемы

Первый подэтап: определение и формулирование проблемы изображен на рис. 2 [15].

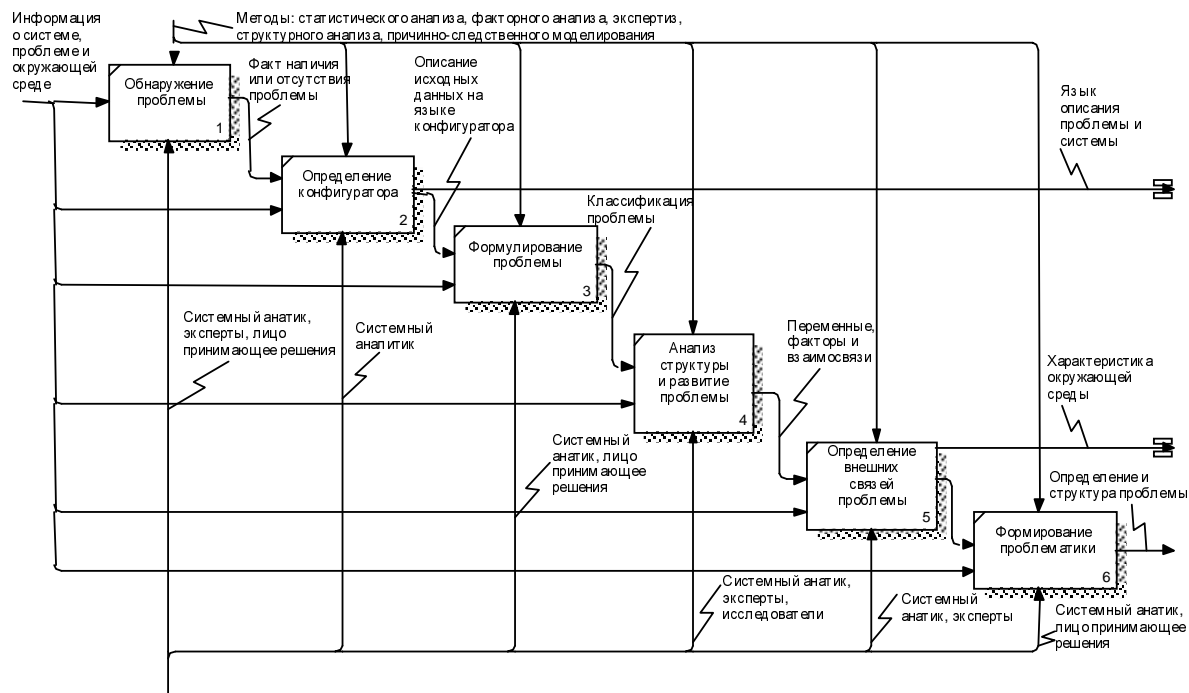


Рис. 2. Определение и формулирование проблемы

Второй подэтап: определение системы изображен на рис. 3 [15].

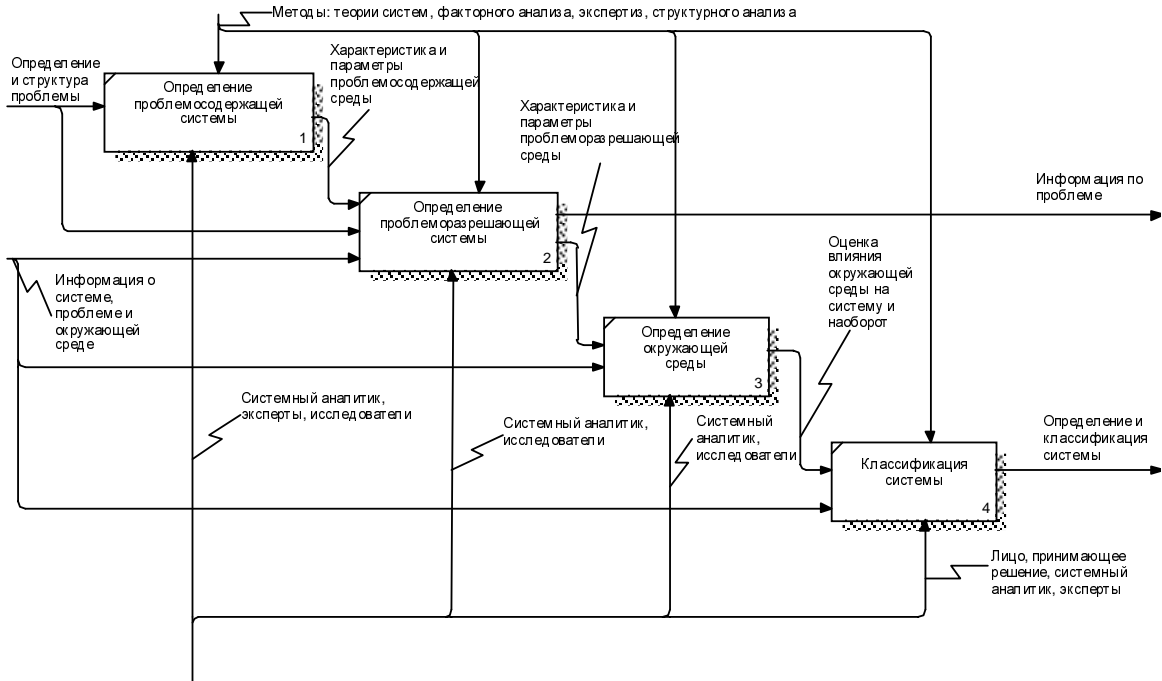


Рис. 3. Определение системы

Третий подэтап: анализ структуры системы изображен на рис. 4 [15].

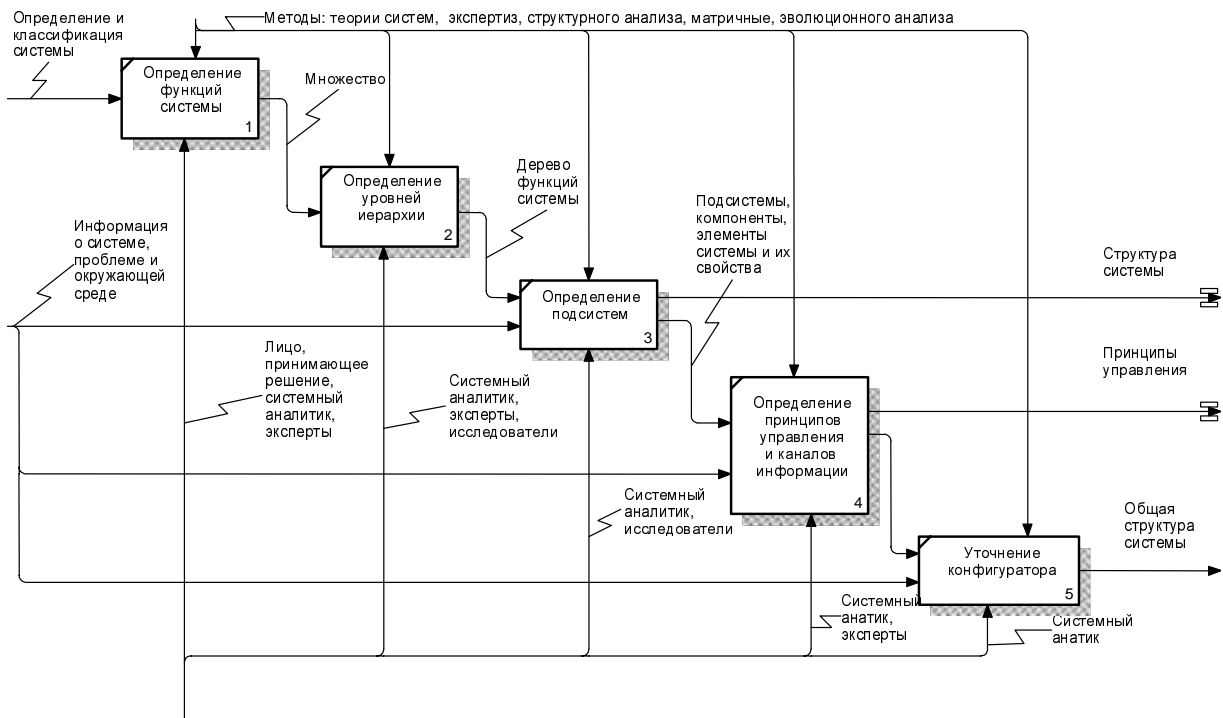


Рис. 4. Анализ структуры системы

Анализ проблем традиционной энергетики и ее декомпозиция дает возможность сделать следующие выводы.

1. Рост потребления топливно-энергетических ресурсов отстает от темпа роста экономически развитых стран. Так рост душевого потребления в 2020 году достигнет 8,0–8,1 т.у.т. и

только приближается к докризисному уровню, но не превышает его.

2. Энергоемкость национального дохода превышает мировые показатели в 3,5–3,7 раз. Доля стоимости энергии в себестоимости продукции непомерно высока (до 40%).

3. Около 20 млн. человек в России проживающих в отдаленных и труднодоступных районах не подключены к централизованным энергетическим системам. Системная энергетика не обеспечивает потребностей растущей индивидуализации энергообеспечения.

4. Ископаемые энергетические ресурсы исчерпаемы. Существует резкая диспропорция между долей различных видов топлива и долей в производстве энергоресурсов. Освоение энергетических ресурсов в традиционной энергетике требует больших капитальных вложений и сроков.

5. Традиционная энергетика наносит существенный ущерб окружающей среде. Совокупный выброс парниковых газов в стране составляет более 3100 млн. т. CO₂- эквивалента, из которых 90% приходится на энергетический сектор. Даже при благоприятном сценарии рост выбросов к 2020 году возрастет на 37%.

6. Залежи ископаемых ресурсов находятся лишь в немногих районах земного шара, но они необходимы везде, где живут и работают люди. Поэтому экономика ископаемых ресурсов все больше подвергается концентрации, монополизации и глобализации. Среди моделей цивилизации ископаемой мировой экономики, в конечном счете стала преобладать та, в которой структуры принятия решений были наиболее оперативными, гибкими и продуктивными – система международного капитализма, которую американец Фрэнсис Фукуяма в начале 90-х годов назвал «концом истории». Однако возможно альтернативное развитие цивилизации, связанное с использованием альтернативных ресурсов.

Анализ указанных проблем свидетельствует об их сложности, слабоструктурированности, значимости для общества и носящих угрожающий (либо даже критический) характер.

Решение целого ряда вышеизложенных проблем возможно на основе применения проблеморазрешающей системы – альтернативной энергетике, так как альтернативой исчерпаемым энергетическим ресурсам являются нетрадиционные возобновляемые источники энергии – энергия солнца, энергия земли, энергия планетарного движения [3, 7, 11].

Исходя из существующих тенденций энергетических технологий, экономический потенциал возобновляемых источников энергии

можно сегодня оценивать в 270 млн. т у.т., что составляет около 30% от общего энергопотребления. Технический потенциал органического топлива в месторождениях местного значения составляет около 600 млн. т у.т. Таким образом, ресурсов возобновляемых источников энергии и местных видов топлива более, чем достаточно для выполнения указанных выше задач.

Использование НВИЭ в энергетическом секторе имеет, как минимум три несомненно важных положительных условия [1, 5, 15, 17, 22]:

- экологическое;
- региональное;
- инвестиционное.

Экологические достоинства возобновляемой энергетике становятся особо значимы в свете Киотских соглашений по ограничению выбросов парниковых газов, в первую очередь CO_i, образующихся при сжигании обычного топлива.

Региональное значение НВИЭ определяется тем, что в удаленных районах именно эти источники позволяют обеспечить необходимое децентрализованное энергоснабжение, не прибегая к дорогостоящему и ненадежному завозу топлива на север. Так, уже сегодня ежегодное замещение органического топлива всеми видами НВИЭ составляет 1 млн. т у.т.

Инвестиционная привлекательность НВИЭ заключается в том, что, как правило, сооружение этих установок не требуют больших инвестиций и не являются долгостроями. Все это делает весьма привлекательным использование НВИЭ не с точки зрения количественного вытеснения других видов ТЭР, а в силу их особой значимости для специфичных региональных потребителей.

Проблемы, которые необходимо разрешить при использовании НВИЭ – это малая плотность потока и изменчивость во времени.

Первое обстоятельство требует создания установок, имеющих большое распределение в пространстве для перехвата поступающей энергии. Это приводит к большой их материалоемкости и, как следствие, к увеличению капитальных вложений по сравнению с традиционными установками. В целом, очевидно, что в России тормозом развития нетрадиционной энергетике, является неудовлетворительное состояние экономики.

Второе обстоятельство требует решения проблемы эффективного управления и накопления энергии с учетом возможности комплексного использования НВИЭ различного характера.

Развитые страны энергетического голода не испытывают и проявляют интерес к альтернативной энергетике в основном по соображениям экологии, энергосбережения и диверсификации источников энергии. По различным прогнозам доля НВИЭ в энергобалансе многих государств к 2010-2015 гг. достигнет или превзойдет 10%.

Развитие альтернативной энергетики является объективной необходимостью, требует значительного увеличения использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии, что и отражено в Энергетической стратегии развития энергетики России до 2020 г. [23].

Как хорошо формализованные, так и слабо структурированные проблемы должны быть приведены к виду, когда они становятся задачами выбора подходящих средств для достижения заданных целей. Поэтому, прежде всего, необходимо определить цели, то есть определить, что надо сделать для снятия проблемы. При этом необходимо учитывать возможность

уточнения или изменения цели в процессе анализа. Одно из направлений исследования в ходе выявления цели может состоять в изучении системы ценностей как лиц, принимающие решения, так и остальных заинтересованных сторон.

Цели нижних уровней могут быть получены из верхних алгоритмически, методом декомпозиции. Однако и на самом верхнем уровне, как правило, бывает несколько целей (даже если текстуально они объединены одной формулировкой – «глобальная цель») и важно не упустить какую-нибудь существенную из них. Один из приемов [10, 14, 15, 19] – использование модели над- и подсистем относительно проблемосодержащей системы. Этот позволяет учесть цели всех заинтересованных сторон. Цели должны излагаться в номинальной шкале, т.е. быть названиями. Употребление более сильных шкал – признак целей более низкого уровня, переход от целей к критериям, а это следующий этап анализа.

Необходимо учитывать динамику изменения целей. Цели более высоких уровней долговечнее. В соответствии с положениями системного анализа, определение целей и критериев эффективности реализуются по этапам, приведенным на рис. 5–8.

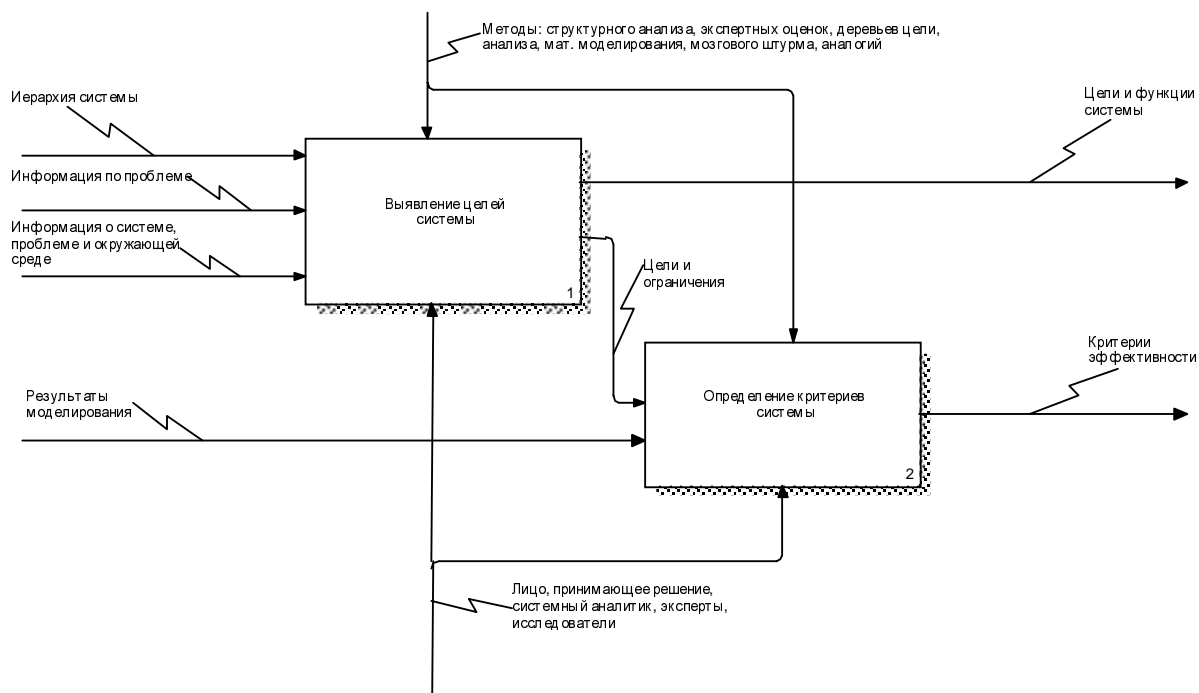


Рис. 5. Определение целей системы

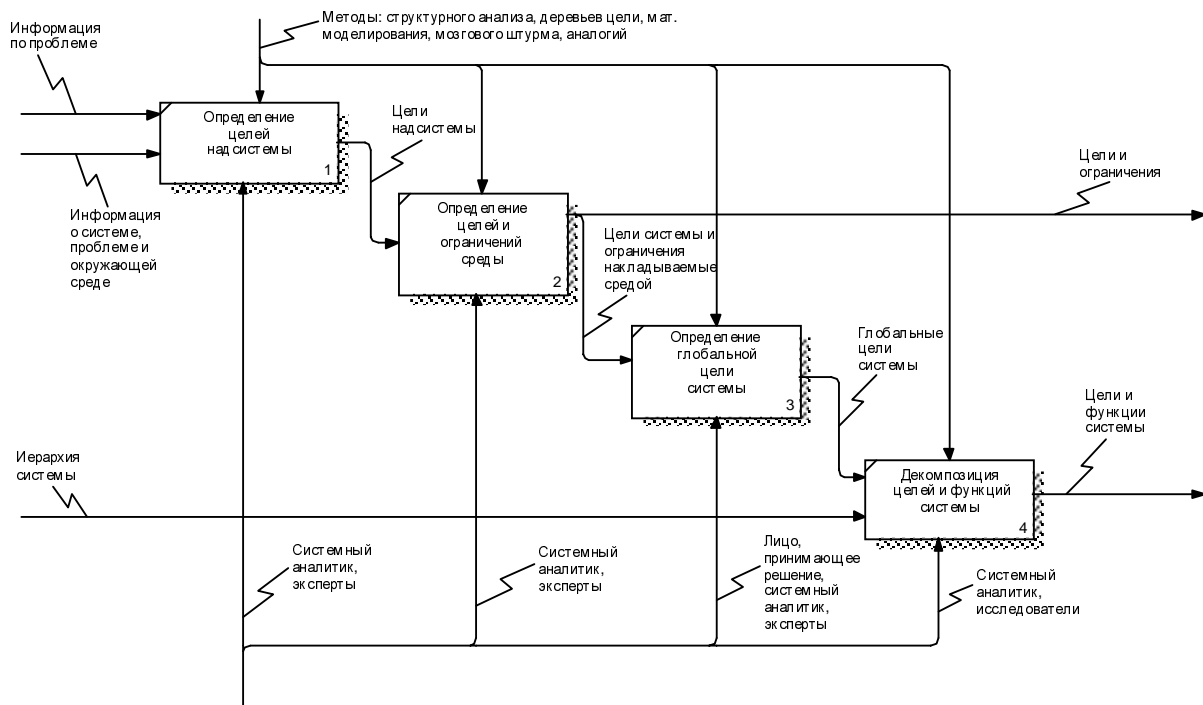


Рис. 6. Выявление целей системы

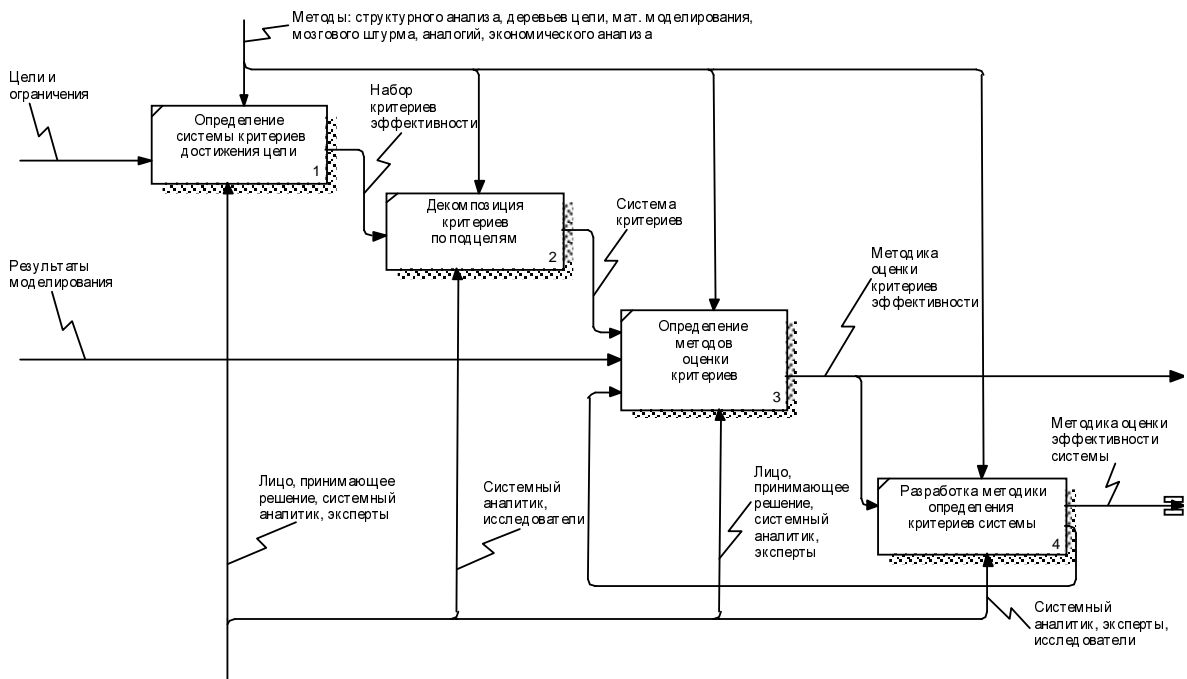


Рис. 7. Определение критериев системы

При формировании целей энергетических систем необходимо учитывать следующие принципы системного подхода [8, 9, 15, 19]:

Принцип конечной цели: абсолютный приоритет конечной цели.

Принцип единства: совместное рассмотрение системы как целого и как совокупности частей (элементов).

Принцип связности: рассмотрение любой части совместно с ее связями с окружением.

Принцип модульного построения: полезно выделение модулей в системе и рассмотрение ее как совокупности модулей.

Принцип иерархии: полезно введение иерархии частей (элементов) и (или) их ранжирование.

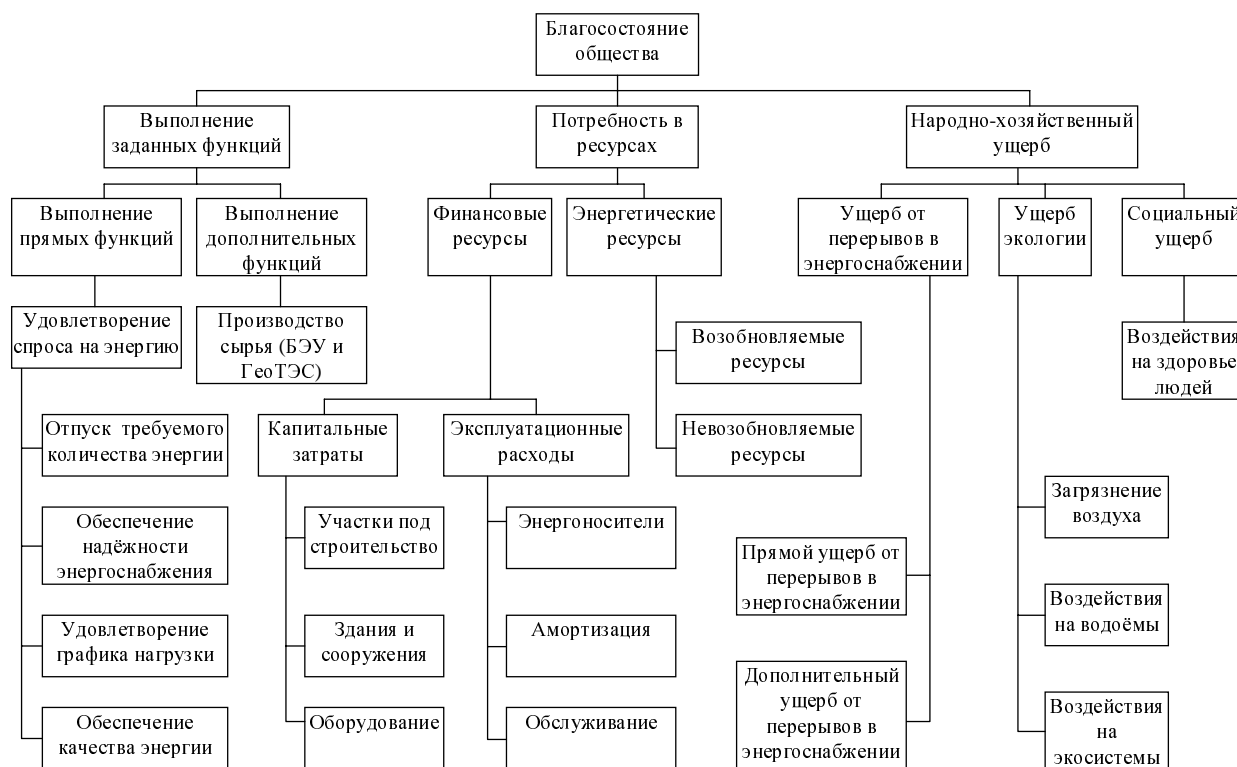


Рис. 8. Полная иерархия целей альтернативной энергетики

Принцип функциональности: совместное рассмотрение структуры и функции с приоритетом функции над структурой.

Принцип развития: учет изменяемости системы, ее способности к развитию, расширению, замене частей, накоплению информации.

Принцип децентрализации: сочетание в принимаемых решениях и управлении централизации и децентрализации [6].

Принцип неопределенности: учет неопределенностей и случайностей в системе.

Основные цели альтернативной энергетики в соответствии с целями надсистемы заключаются в следующем:

повысить энергетическую безопасность России за счет энергообеспечения порядка 20 млн. человек, проживающих в отдаленных и труднодоступных районах, которые не подключены к централизованным энергетическим системам;

улучшить экологическую обстановку, особенно в районах с рекреационными зонами и зонами с интенсивным загрязнением окружающей среды;

привлечь инвестиции в альтернативную энергетику на основе привлекательности НВИЭ с точки зрения относительно небольших объемов и сроков реализации проектов, созда-

ния конкурентной среды в энергетике, особенно в дефицитных энергосистемах;

развивать соответствующие секторы промышленности России, увеличить экспортный потенциал за счет наукоемких технологий и энергетического оборудования;

эффективно использовать научно-технический потенциал и создавать новые рабочие места.

Цель любой системы энергоснабжения – удовлетворение спроса потребителей на энергию при минимальной потребности в ресурсах и наименьшем суммарном ущербе в течение определённого периода времени. Поэтому совершенная энергетическая система должна наиболее полно учитывать особенности процессов производства и потребления энергии. Несогласованные процессы производства и потребления энергии часто приводят к её неэкономному расходованию и потерям. Однако следует учитывать, что спрос на энергию никогда не колеблется точно так же, как её производство отдельной энергоустановкой по преобразованию НВИЭ. Для согласования спроса и предложения энергоустановки по преобразованию НВИЭ необходимо объединять в единую систему, которая в свою очередь может включаться в более крупную и универсальную по

составу источников энергетическую систему. Использование накопителей энергии в таких системах позволяет существенно повысить их эффективность и увеличить в них долю установок по преобразованию НВИЭ. Таким образом, исследование возможностей вовлечения НВИЭ в энергобаланс необходимо производить на основе комплексного подхода к применению преобразователей НВИЭ с учётом структуры энергопотребления и возможностей эффективного использования накопителей энергии на различных этапах её преобразования. Как было указано выше, одним из компонентов системного подхода в энергетике является иерархическое представление энергетических систем. Поэтому наиболее эффективным способом структуризации целей, преследуемых при включении НВИЭ в энергетические системы, является построение иерархии целей [53, 97, 98, 141]. Иерархия целей начинается с самых общих главных целей, находящихся на высших уровнях, и заканчивается более узкими на низших.

Иерархия целей для оценки эффективности возможных вариантов вовлечения НВИЭ в энергобаланс строится на основе полной иерархии целей системы энергоснабжения с НВИЭ [13, 16].

Иерархия целей позволяет приспособливать требования общих целей к конкретным проблемам. Это обеспечивает необходимую основу для установления критериев эффективности.

В соответствии с основными принципами системного подхода [9, 10, 15, 18], системы энергоснабжения, как подсистемы общей энергетической системы, должны строиться на основе учёта всех существенных критериальных свойств. Каждое критериальное свойство характеризуется одним или несколькими критериями эффективности. Учитывая, что основным условием сопоставления вариантов является удовлетворение каждым из них спроса потребителей на энергию, на целый ряд критериев должны быть наложены ограничения, т.е. оптимизация проводится в ограниченной области. Налагаемые ограничения могут иметь следующий характер:

функциональные – заданное по исходным данным точное значение структуры или параметра;

областные – ограничения в виде неравенств;

экстремальные – требование максимальной или минимальности.

При этом к критериям эффективности предъявляются следующие требования [4, 10, 12, 21]:

набор критериев должен быть полным и позволять проводить комплексный анализ рассматриваемой системы;

вводимые критерии должны быть оценены (количественно или качественно);

каждый критерий должен иметь однозначный смысл и характеризовать вполне определённый аспект последствий;

набор критериев должен учитывать фактор времени и степень неопределённости исходной информации.

Разработана полная система критериев для оценки эффективности систем в альтернативной энергетике с соблюдением одного из основных требований системного анализа – полноты и всесторонности рассмотрения объекта исследования. Вторая цель, которая преследовалась – обеспечение минимальной разумной избыточности, т.е. исключение из системы критериев тех из них, которые не играют значимой роли в описании объекта исследования и устранение которых из системы критериев не скажется существенным образом на степени адекватности описания системы. В результате завершения первого этапа работы сформирована полная система критериев (табл. 1), которая даёт возможность оценить эффективность как отдельных ЭК с НВИЭ, так и энергетических систем с использованием НВИЭ [15].

Таким образом, на основании полноты и всесторонности рассмотрения объекта исследования разработана полная система критериев для оценки эффективности систем в альтернативной энергетике.

Применение методов системного анализа позволяет генерировать альтернативные варианты возможного решения поставленной задачи создания ЭК и эффективного вовлечения НВИЭ в энергобаланс на основе выбранного базиса критериев эффективности [15, 18, 20, 21]. В общем случае, окончательное решение будет в значительной степени определяться выбранным базисом критериев эффективности, которые сами могут зависеть от времени, субъективных предпочтений, политической ситуации и т.д. Критерии эффективности могут вы-

бираться, исходя из прогнозируемой структуры потребления энергии, существующих технологий преобразования первичных источников энергии и необходимости удовлетворения набора условий, как, например, стабилизация выбросов тепличных газов в атмосферу, минимальная зависимость от импорта энергоресурсов

и других. Проведя оптимизацию по выбранному набору критериев, необходимо определить, на каком промежутке времени будет эффективно то или иное решение, а также попытаться проанализировать его устойчивость на большем промежутке времени.

Таблица 1

Полная система критериев	
Классы критериев	Критерии
Отпуск требуемого количества энергии и графика нагрузки	Ожидаемое число ограничений
	Ожидаемая длительность ограничений
	Недоотпуск электроэнергии
	Относительный недоотпуск электроэнергии
Обеспечение надёжности энергоснабжения	Параметр потока отказов
	Средняя наработка на отказ
	Вероятность отказа
	Среднее время восстановления
	Вероятность восстановления
	Коэффициент готовности
	Вероятность безотказной работы
Обеспечение качества энергии	Удовлетворение интегральным показателям качества электроэнергии
	Соответствие нормативам по отклонениям напряжения
	Соответствие нормативам по колебаниям напряжения
	Соответствие нормативам по синусоидальности формы
Выполнение дополнительных функций	Производство сырья
Получение эффекта	Прибыль от реализации электроэнергии
Финансовые ресурсы	Капитальные вложения
	Эксплуатационные издержки
	Приведённые затраты
	Средняя стоимость электроэнергии
Энергетические ресурсы	Доля возобновляемости ресурсов в производстве электроэнергии
	Доля невозобновляемых ресурсов
	Металлоёмкость
	Энергоёмкость (энергия-нетто)
	Коэффициент энергоотдачи
Временные ресурсы	Время на сооружение электросистемы
Ущерб от перебоев в электроснабжении	Прямой ущерб от перерывов в электроснабжении
	Косвенный ущерб от перерывов в электроснабжении
	Суммарный ущерб от перерывов в электроснабжении
Ущерб экологии	Показатель загрязнённости окружающей среды (комплексный)
Ущерб биосфере, атмосфере, гидросфере, геосфере	Выбросы SO ₂
	Выбросы NO _x
	Выбросы PM ₁₀
	Выбросы PM _{2,5}
	Выбросы CO ₂
	Выбросы Pb
	Радиоактивные отходы
	Постоянное отчуждение земель
	Временное отчуждение земель
Социальный ущерб (воздействие на здоровье людей)	Снижение уровня здоровья населения
	Уровень травматизма
	Снижение комфортности
	Необеспечение культурных потребностей населения

Комплексное использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), комбинирование различных комплиментарных, т.е. взаимодополняющих друг друга, источников на основе интегральной оценки их потенциала приводит к существенному повышению эффективности не только отдельных энергоустановок, но и энергосистем различного масштаба. В отличие от традиционных источников, эффективность комплексного использования НВИЭ обладает синергетическим эффектом, изменяющимся в зависимости от потенциала и комплиментарности различных источников на региональном уровне. Таким образом, появляется необходимость создания новых методик анализа и оценки ЭК с НВИЭ и возможностей эффективного комплексного вовлечения ВИЭ в региональные энергетические системы.

Примечания:

1. Безруких П.П. Малая и возобновляемая энергетика России сегодня // Возобновляемая энергия, ежеквартальный информационный бюллетень-1997. – № 1. – С. 15-17.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М., 1978. – 205 с.
3. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности. Международное энергетическое агентство, 2003 г.
4. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Системный анализ и управление». – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – СПб.: Издательство СПбГТУ, 1999. – 512 с.
5. Доброхотов В.И., Шпильрайн Э.Э. Возобновляемые источники энергии. Проблемы и перспективы // Возобновляемая энергия, ежеквартальный информационный бюллетень. – 1997. – №1. – С. 10-14.
6. Ириков В.А., Тренев В.Н. Распределенные системы принятия решений. Теория и приложения. – М.: Наука. Физматлит., 1999. – 288 с.
7. Каргиев В.М., Максимкина Е.Ф., Мартиросов С.Н., Муругов В.П. Доводы в пользу использования энергии солнца и других возобновляемых источников энергии // Возобновляемая энергия, ежеквартальный информационный бюллетень-1998. – № 4. – С.57-59.
8. Мелентьев Л.А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1982. – 319 с., ил.
9. Мелентьев Л. А. Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития. Изд-е 2-е, доп. – М.: Наука, 1983.
10. Перегудов Ф.И. Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.: ил.
11. Поворот в энергетике. Переход в эпоху солнечной энергии // Германия, Политика, культура, экономика и наука. – 2000. – № 5. – С. 46-65.
12. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. 528 с.
13. Симанков В.С., Буцацкий П.Ю., Шопин А.В. Методология моделирования физических процессов в энергетических комплексах с нетрадиционными источниками энергии и оптимизация их параметров // Труды физического общества республики Адыгея. 1998. №3. С.18–26
14. Симанков В.С., Смирнов О.В., Тулин А.А. Методология компьютерного моделирования информационных систем // Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та. – Краснодар, 2001. – 77 с. Деп. в ВИНТИ 31.08.2001, № 1917 – В 2001.
15. Симанков В.С. Автоматизация системных исследований: Монография / Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та. – Краснодар, 2002. – 376 с.
16. Симанков В.С., Зангиев Т.Т. Системный анализ при решении структурных задач альтернативной энергетики: Монография (научное издание). – Краснодар: ИСТЭК, 2001. – 151 с.
17. Тарнижевский Б.В. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: вчера, сегодня, завтра // Нефть России. – 2000. – № 2. С.1-7.
18. Теоретические основы системных исследований в энергетике / Гамм А.З., Макаров А.А., Санев Б.Г. и др. – Новосибирск: Наука, 1986.
19. Технология системного моделирования / Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, С.В. Емельянов и др.; Под общ. ред. С.В. Емельянова и др. – М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. – 520 с.: ил.
20. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
21. Трахтенгерц Э.А. Субъективность в компьютерной поддержке принятия решений. М.: СИНТЕГ, 2001. – 256 с.
22. Турьян Д., Геворюш В., Пинова А.Б. Система мониторинга работы ветро-дизельных электростанций // Бизнес и инвестиции в области возобновляемых источников энергии в России, часть III: Труды международного конгресса – М., 1999. – С. 289-297.
23. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. Министерство энергетики РФ (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 августа 2003 г.)