

ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ АДАПТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ***Вадим Ильич ЛОКТИОНОВ**

кандидат экономических наук, старший научный сотрудник,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева, Иркутск, Российская Федерация
vadlok@mail.ru

История статьи:

Получена 27.09.2017
Получена в доработанном
виде 16.10.2017
Одобрена 06.11.2017
Доступна онлайн 22.12.2017

УДК 338.012

JEL: Q43, Q47

Аннотация

Предмет. Предметом статьи является такое недостаточно изученное свойство энергетических систем, как адаптивность, определяемая как способность подстраивания системы к меняющимся условиям и «стрессовым» ситуациям. В современных условиях роста неопределенности, усложнения взаимосвязей между экономикой и энергетикой, роста политических и экономических рисков адаптивность становится одним из главных критериев надежности и эффективности функционирования энергетических систем.

Цели. Концептуальное осмысление свойства адаптивности современных энергетических систем в контексте развития методологии ее оценки.

Методология. Проведенное исследование основывается на общенаучных методах анализа и синтеза, а также на специальных методах анализа функционирования энергетических систем.

Результаты. Выделены факторы и критерии, формирующие адаптивность как энергетических систем в целом, так и их элементов, принадлежащих к разным стадиям процесса создания и потребления энергетического ресурса. Показатели, характеризующие адаптивность энергетической системы, систематизированы в соответствии с этапами адаптационного процесса, разработаны методические принципы анализа уровня адаптивности энергетической системы. Предложен алгоритм оценки уровня адаптивности энергетических систем. Полученные результаты в области оценки уровня адаптивности энергетических систем могут быть использованы при разработке программ развития энергетического комплекса страны в целом и региональных энергетических систем в частности.

Выводы. Методы оценки адаптивности энергетических систем все еще находятся на стадии разработки, что обусловлено рядом таких причин, как многоаспектность понятия «адаптивность»; уникальность энергетических систем; динамичность и фундаментальность изменений, происходящих в мировой энергетике; наличие большого числа не только количественных, но и качественных показателей, характеризующих адаптивность энергетических систем, формализованная оценка которых представляет собой сложную теоретическую и практическую задачу.

Ключевые слова:

энергетика, адаптивность,
анализ, энергетическая
безопасность

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2017

Для цитирования: Локтионов В.И. Принципы и критерии оценки адаптивности энергетических систем

// Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2017. – Т. 13, № 12. – С. 2335 – 2348.

<https://doi.org/10.24891/ni.13.12.2335>

Экономическая система любого уровня организации (город, регион, федеральный округ, страна) в процессе своего функционирования нуждается в поставках энергетических ресурсов. При этом экономическая система стабильно функционирует и развивается тогда, когда ее спрос на энергию обеспечивается в полном

объеме. Снабжение энергией, воплощенной в энергетических ресурсах, происходит за счет работы энергетической системы, которая представляет собой совокупность энергетических установок, соединенных между собой технически, экономически и организационно.

Если экономика и энергетическая система работают в условиях относительной

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-06-00102-а.

стабильности, когда энергетическая система обеспечивается ресурсами, а экономика, в свою очередь, получает достаточное количество энергетических ресурсов по приемлемой цене, система не испытывает стресса. Однако когда происходит некоторое событие, природа которого может быть разнообразной: от природных катаклизмов до экономических кризисов, энергетическая система испытывает стресс, способный привести к полной остановке работы энергетической системы, перебоям поставок энергетических ресурсов, значительному повышению цены на энергию, снижению экономической эффективности работы энергетических компаний.

Адаптивность – это способность системы противостоять стрессам, продолжая нормальное функционирование. В процессе адаптации происходят технические и организационные изменения работы системы, благодаря которым в новых условиях она может эффективно обеспечивать потребности экономики в энергетических ресурсах. Чем выше уровень адаптивности, тем больший стресс может пережить энергетическая система.

Адаптивные механизмы задействуют не только внутренние резервы системы (как в случае с механизмами обеспечения устойчивости), но и ресурсы, которые могут быть привлечены извне на коммерческой основе. Анализ механизмов адаптации и оценка уровня адаптивности энергетических систем представляют интерес в контексте решения следующих задач:

1) оценка текущих рисков функционирования энергетической системы. Бенефициарами анализа в данном случае являются руководители энергетических компаний, нуждающиеся в объективной оценке операционных рисков, крупные потребители энергии, заинтересованные в определении рискованности и надежности поставок энергетических ресурсов в целях

принятия управленческих решений, представители государственной власти, занятые разработкой энергетической и экономической политики;

2) оценка долгосрочных перспектив развития энергетической системы. Энергетические системы обладают высокой инерционностью своего развития, что подразумевает необходимость продолжительного времени и больших финансовых вложений для осуществления структурных изменений их параметров. Именно поэтому для принятия стратегических решений, касающихся долгосрочного развития энергетической системы, необходим анализ долгосрочных трендов и условий ее функционирования.

В последнее десятилетие интерес к теме обеспечения устойчивости и адаптивности энергетических систем стал активно возрастать в связи с фундаментальными изменениями в мировом энергетическом хозяйстве, которые были детально проанализированы в работах [1–3]. Развитие технологий добычи, преобразования и транспортировки энергетических ресурсов, произошедшая в 1990-х и 2000-х гг. во многих странах мира либерализация рынков электроэнергии, внедрение и широкое распространение малой генерации, процесс дальнейшей интеграции национальных энергетических систем в мировую энергетику, а также рост политической напряженности привели к изменению факторов, обеспечивающих адаптивность современных энергетических систем. Анализ исследовательских работ Л.А. Мелентьева [4, 5], В.А. Смирнова [6, 7], Т. Берглунда [8], Г.С. Джорджиона [9], П. Цвайфела [10], опубликованных с 1970-х по 1990-е гг., показал, что основными факторами и критериями, определяющими адаптивность энергетических систем, были:

– наличие резервов углеводородов или, в случае стран-импортеров, стабильные

- поставки углеводородов из стран-экспортеров;
- наличие резерва мощностей, которые могли быть использованы в случае резкого роста внутреннего спроса на энергетические ресурсы;
 - сильная государственная поддержка национальных топливно-энергетических комплексов;
 - развитая тяжелая промышленность, обеспечивающая рост потребности в энергетических мощностях;
 - строительство крупных электростанций для обеспечения положительного эффекта масштаба, когда затраты на установку одного КВт мощности электростанции снижаются с увеличением ее установленной мощности.

Таким образом, можно заключить, что эффективность и адаптивность энергетических систем ранее базировалась на наличии значительных резервов как производственных мощностей, так и энергетических ресурсов.

В настоящее время в связи с произошедшими изменениями условий функционирования энергетических систем выделенные факторы, оставаясь значимыми для обеспечения надежности функционирования энергетических систем, утратили свою первостепенность для обеспечения их адаптивности. В качестве факторов и критериев, лежащих в основе обеспечения адаптивности современных энергетических систем, исследователи выделяют следующие:

- 1) диверсификацию видов потребляемых энергетических ресурсов (нефть, газ, уголь, возобновляемые источники энергии – ВИЭ);
- 2) диверсификацию структуры генерирующих мощностей по типу энергостанций;
- 3) диверсификацию поставщиков энергетических ресурсов;

- 4) рост энергоэффективности производств и, как следствие, снижение энергоемкости экономики;
- 5) развитие возобновляемых источников энергии;
- 6) развитие технологий Smart Grids («умные сети»);
- 7) развитие распределенной генерации.

Все перечисленные факторы в той или иной степени влияют на стрессоустойчивость энергетических систем и на их адаптивность к меняющимся условиям за счет создания более гибкой структуры. Например, технология «умные сети» на основе использования новых информационных технологий позволяет более эффективно передавать электроэнергию, быстрее восстанавливать электроснабжение после аварий, снижать затраты на электрогенерацию, создавать интегрированные энергетические системы ВИЭ, строить «умные дома» и т.д. Кроме того, за счет обмена информацией между производителями и потребителями электроэнергии «умные сети» позволяют автоматически перенаправлять нагрузку в сетях и тем самым сводить к минимуму последствия перебоев в подаче электроэнергии. Таким образом, данная технология, снижая значимость каждого отдельного элемента в работе электроэнергетической системы, позволяет ей более быстро и эффективно реагировать на изменяющиеся внешние условия. Более подробно об особенностях использования технологии «умные сети» можно прочитать в работах Л. Весниц-Алуэвица [11] и С. Хоуэлла [12].

Следует отметить, что некоторые факторы, повышающие адаптивность энергетических систем, сильно взаимосвязаны. Например, «умные сети», распределенная генерация и ВИЭ развиваются в современном мире совместно, так как одни технологии не могут быть эффективны без параллельного внедрения других технологий.

Приведенный перечень факторов и критериев, формирующих адаптивность энергетических систем в целом, предлагаем дополнить факторами, формирующими адаптивность их основных элементов, принадлежащих к разным стадиям процесса создания и потребления энергетического ресурса (табл. 1).

Выделение дополнительных факторов адаптивности позволит более эффективно проводить анализ влияния стрессовых ситуаций на функционирование энергетической системы в целом в целях разработки стратегических мероприятий, направленных на увеличение уровня адаптивности системы.

Свойство адаптивности рассматривается специалистами в области энергетики как важная характеристика функционирования энергетических систем, однако все еще остро стоит задача разработки методов ее оценки, о чем, например, указывает С. Томас [13]. Несмотря на то, что за последние годы появились работы таких авторов, как Л. Хьюз [14], Э. Сиошанси [15], Л. Молиньякс [16] и У. Лина [17], охватывающие разные аспекты проблемы анализа свойства адаптивности, какой-либо определенной, общепризнанной и универсальной методики оценки уровня адаптивности энергетических систем пока нет. Более того, все еще активно развивается сама концепция адаптивности энергетических систем.

Выделяя те или иные аспекты адаптивности, авторы предлагают разные показатели, которые могут быть использованы для оценки ее уровня. Х. Вилис и К. Лоэ [18] приводят сформированный ими в результате детального обзора имеющейся литературы перечень показателей, характеризующих адаптивность энергетических систем. Этот перечень содержит довольно большое количество разрозненных, разноплановых качественных и количественных, экономических и технических показателей, всю совокупность

которых Х. Вилис и К. Лоэ [18] разбивают на следующие группы.

1. Показатели, оценивающие исходное состояние системы (*input*): запасы энергетических ресурсов; транспортные возможности энергетической системы; структура мощностей энергетической системы и др.

2. Показатели, характеризующие возможность системы реагировать на стрессовые ситуации (*capacities and capabilities*): наличие согласованных организационных процедур и технического оборудования для аварийного отключения пострадавших элементов энергетической системы; уровень концентрации поставщиков энергетических ресурсов; соотношение максимального и минимального объема энергии, который может поставлять система; информационная безопасность; физическая безопасность энергетических объектов; возможность привлечения импортного оборудования; зависимость от иностранных производителей энергетического оборудования; инвестиционная привлекательность системы и др.

3. Показатели, характеризующие надежность работы системы (*performance*): количество аварийных ситуаций в год; экономическая эффективность работы системы; техническая и технологическая эффективность работы системы; количество перерывов в поставках энергии потребителям; наличие оборудования аварийного выключения и др.

4. Показатели, характеризующие результаты адаптации (*outcomes*): социальные и коммерческие затраты на снижение поставок энергии; стоимость недопоставленной энергии; затраты на адаптацию; волатильность цен на энергию; ущерб окружающей среде; вред для здоровья населения; потери мощности в результате стрессовой ситуации и др.

Данная классификация представляется неудобной, поскольку многие показатели

могут быть отнесены не только к одной группе и, более того, иметь опосредованное отношение к адаптивности энергетических систем (как, например, показатели информационной и физической безопасности энергетических систем, которые больше отражают надежность функционирования, а не возможность адаптации). Кроме того, представленная классификация не отражает стадии развития стрессовой ситуации и дальнейшей адаптации системы к ней. В целях создания алгоритма оценки адаптивности энергетических систем мы предлагаем классифицировать показатели адаптивности в соответствии с этапами адаптационного процесса.

1. Показатели, характеризующие период времени между значительными стрессовыми ситуациями разной природы. В докладе [19] предлагается показатель оценки адаптивности энергетической системы, основанный на сопоставлении периодов работы системы без стресса с периодом восстановления работы системы после стресса.

2. Показатели силы воздействия неблагоприятного события на функционирование энергетической системы: степень уменьшения поставок энергетических ресурсов в результате стрессовой ситуации; период времени, необходимый для полного восстановления работы системы; финансовые потери энергетических компаний в результате стрессовой ситуации; максимальная величина негативного изменения анализируемых факторов, способная привести к полной остановке работы энергетической системы и др.

3. Показатели, характеризующие техническое состояние энергетической системы: структура мощностей энергетической системы; запас производственных мощностей; пропускная способность транспортной сети; КПД энергетических установок; показатель аварийности используемого оборудования;

степень износа используемого оборудования; себестоимость производимой энергии; уровень концентрации поставщиков энергетических ресурсов и др.

4. Показатели структурных, организационных и технических изменений работы энергетической системы, необходимых для восстановления ее эффективности. Данные показатели характеризуют способность системы меняться в условиях стрессовой ситуации: индекс роста производственных мощностей; индекс роста КПД энергетических установок; индекс изменения себестоимости производства энергии; индекс изменения транспортных затрат и т.д.

5. Показатели, характеризующие инвестиционную привлекательность энергетической системы. Данные показатели оценивают объем инвестиций, который может быть привлечен на развитие или трансформацию энергетической системы в случае необходимости: уровень доходности энергетических компаний, входящих в энергетическую систему; показатель риска функционирования энергетических компаний; объем требуемых инвестиций на адаптационные мероприятия и др.

Выделенные группы показателей соответствуют следующим этапам адаптационного процесса, описанным П. Роже [20].

1. *Подготовка / Планирование.* Прогнозирование стрессовых ситуаций и разработка возможных мероприятий, направленных на стабилизацию работы системы.

2. *Реагирование.* Первая реакция системы на появление стрессовой ситуации, а также обеспечение функционирования энергетической системы при организационном и/или техническом отделении пострадавших элементов.

3. *Восстановление.* Восстановление функционирования всех элементов системы.

4. *Адаптация.* Проведение адаптационных мероприятий, направленных на максимизацию эффективности функционирования энергетической системы в новых условиях.

Особенности адаптационного процесса энергетических систем, по нашему мнению, должны быть отражены в следующих основных методических принципах оценки уровня их адаптивности:

- а) в процессе анализа адаптивности системы должны рассматриваться все этапы адаптационного процесса: от подготовки и планирования до адаптации;
- б) при разработке адаптационных мероприятий необходимо учитывать интересы разных участников процесса производства и потребления энергии, включая оценку силы воздействия вероятных стрессовых ситуаций на функционирование энергетических компаний и силы воздействия полного прекращения или снижения поставок энергетических ресурсов на экономику;
- в) при прогнозировании стрессовых ситуаций и разработке возможных мероприятий, направленных на стабилизацию работы системы, необходимо осуществлять анализ продолжительности временных лагов между стрессовыми ситуациями, а также анализ времени восстановления функционирования системы после стрессовой ситуации. Кроме того, необходимо учитывать, что комплекс эффективных мероприятий, направленных на преодоление последствий стрессовой ситуации, будет меняться со временем в связи с изменениями самой энергетической системы;
- г) при разработке возможных мероприятий, направленных на стабилизацию работы системы, необходимо осуществлять экономическую оценку затрат на адаптационные мероприятия;

д) анализ адаптивности энергетической системы должен включать оценку способности системы привлекать ресурсы, необходимые для адаптационного процесса, извне.

Основываясь на анализе имеющихся показателей адаптивности, выделенных этапов адаптационного процесса и предложенных принципов ее оценки, был разработан следующий алгоритм оценки уровня адаптивности энергетической системы (рис. 1).

На первом этапе осуществляется анализ возможных стрессовых ситуаций. В ходе анализа определяются совокупность стрессовых ситуаций, угрожающих анализируемой системе, и их природа, а также регулярность возникновения стрессовых ситуаций.

В зависимости от технических и организационных особенностей энергетическая система может быть более адаптивна к стрессам одной природы и менее адаптивна к стрессам другой природы. Поэтому на первом этапе анализа необходимо классифицировать стрессовые ситуации по природе их возникновения и оценить адаптивность системы к разным группам стресса для выявления ее слабых и сильных сторон. В статье¹ в зависимости от источников возникновения было выделено четыре группы стрессовых ситуаций:

- 1) *финансово-инвестиционные* стрессовые ситуации, связанные с ухудшением условий привлечения инвестиционных и кредитных ресурсов, неблагоприятными валютными колебаниями, ростом инфляции, увеличением налоговых выплат и др.;
- 2) *производственные* стрессовые ситуации, связанные с производственными

¹ Локтионов В.И. Адаптивность вариантов развития энергетических систем как показатель энергетической безопасности // Экономический анализ: теория и практика. 2015. № 40. С. 11–21.

остановками и авариями, появлением новых технологий добычи, переработки и транспортировки энергетических ресурсов и др.;

- 3) *рыночные* стрессовые ситуации, связанные с ростом конкуренции, ухудшением условий торговли, изменением цен на энергетические ресурсы, неблагоприятным резким или постепенным изменением спроса, ухудшением условий международной торговли и др.;
- 4) *социально-политические* стрессовые ситуации, связанные с ростом политической напряженности между странами, ужесточением экологических требований к энергетическим объектам и др.

В отношении скорости их проявления стрессовые ситуации также могут быть классифицированы на стрессовые ситуации, проявляющиеся постепенно, и проявляющиеся быстро. К постепенно проявляющимся стрессовым ситуациям относятся изменения во внешней среде, происходящие в течение продолжительного времени и сложно идентифицируемые в начале процесса – как правило, это системные изменения, касающиеся той или иной стороны политической, социальной или экономической жизни государства. Быстропроявляющиеся стрессовые ситуации чаще всего связаны с природными катаклизмами, авариями и прочими перебоями в работе.

В зависимости от возможности предсказания стрессовые ситуации делятся на предсказуемые и непредсказуемые. К предсказуемым стрессовым ситуациям относятся события, которые уже происходили в прошлом, и для прогнозирования которых можно использовать статистические данные. К непредсказуемым стрессовым ситуациям относятся чрезвычайно редкие события или события, которые не происходили вообще и которые крайне сложно предугадать в будущем. К категории непредсказуемых

событий также относятся события, известные под термином «черный лебедь», введенным Н. Талебом². Данные события – уникальные, непрогнозируемые и, главное, оказывающие фундаментальное влияние на условия функционирования систем; они также не должны быть упущены при рассмотрении вопросов адаптивности больших систем энергетики.

На втором этапе проводится анализ текущего технико-экономического состояния системы. Здесь оцениваются: технические и финансовые резервы энергетических компаний, являющихся частью анализируемой системы; производственная и экономическая эффективность функционирования системы; технические характеристики ключевых элементов энергетической системы (например, электрогенераторов, линий электропередач, пропускной способности транспортных сетей) и др. Данный этап является необходимым в целях оценки последствий той или иной стрессовой ситуации для системы.

На третьем этапе оценивается сила воздействия стрессовых ситуаций на систему. Данный этап представляется одним из самых сложных, поскольку необходимо спрогнозировать, как стрессовая ситуация повлияет на работу энергетической системы, насколько упадет ее производительность и экономическая эффективность, насколько и на какой период снизятся поставки энергетических ресурсов потребителям.

При оценке уровня адаптивности национальных энергетических систем на данном этапе необходимо проводить анализ влияния состояния региональных энергетических систем на уровень адаптивности ТЭК страны. Большую роль здесь играет степень интеграции региональной энергетической системы в энергетику страны. Укрупненно можно выделить две степени интеграции

² *Taleb N.N.* The black swan: The impact of the highly improbable. New York: Random House Trade Paperbacks, 2010. 444 p.

региональной энергетической системы в ТЭК страны: среднюю и высокую. Средняя степень интеграции характеризуется наличием на территории региона технологически изолированных энергетических систем, а также низким объемом оборота энергетических ресурсов с другими регионами страны. В случае средней интеграции уровень адаптивности энергетической системы региона учитывается при оценке адаптивности ТЭК страны как аддитивный фактор, который в процессе оценки не может выступать в качестве определяющего. Так, например, возможна ситуация, когда региональная энергетическая система за счет недостаточного наличия резервов мощности энергетических производств, высокого уровня изношенности основного оборудования и т.д. может быть охарактеризована как неадаптивная, в то время как энергетическая система страны может быть вполне адаптивна.

Высокая степень интеграции характеризуется наличием технических и технологических связей региональной энергетической системы с другими регионами страны, а также большим объемом оборота энергетических ресурсов, когда регион выступает поставщиком энергетических ресурсов или крупным их потребителем. Энергетическая система регионов с высокой степенью интеграции оказывает значительное влияние на адаптивность ТЭК страны на качественном уровне.

На четвертом этапе анализируются возможные адаптационные реакции системы. Адаптационные мероприятия предназначены для уменьшения стресса от некоторого события. Однако в отличие от антикризисных мероприятий, которые возвращают энергетическую систему в зону нормального функционирования, адаптационные мероприятия призваны технически и/или организационно изменить систему так, чтобы она эффективно функционировала в новых

условиях. При этом предполагается, что для погашения отрицательного влияния стрессовой ситуации недостаточно механизмов восстановления самой системы (проявления свойства устойчивости системы). Именно поэтому при анализе уровня адаптивности энергетической системы должны быть проработаны возможные управленческие реакции, в той или иной степени трансформирующие систему.

На пятом этапе оцениваются затраты на адаптационные мероприятия и источники их финансирования. Адаптационные мероприятия могут сопровождаться значительными финансовыми затратами, поэтому, с одной стороны, необходимо тщательно оценивать объем необходимых для системных трансформаций ресурсов, а с другой – проводить анализ источников их финансирования. Поскольку те или иные управленческие решения, направленные на адаптацию к стрессовым ситуациям, могут проводиться с разной скоростью и требовать больших или меньших затрат, именно на данном этапе должен быть решен вопрос об экономически эффективном наборе возможных реакций на стрессовые ситуации.

На шестом этапе производится оценка уровня адаптивности энергетической системы в целом. Необходимо учитывать, что на вывод об уровне адаптивности энергетической системы будет влиять рассматриваемый горизонт планирования (среднесрочный или долгосрочный). При среднесрочном планировании оценивается текущее состояние системы и ее возможные реакции на стрессовые ситуации за счет осуществления адаптационных мероприятий. При долгосрочном планировании анализируются не только быстро проявляющиеся стрессовые ситуации, но и проявляющиеся постепенно, на которые энергетическая система может реагировать длительными трансформациями, связанными со структурными изменениями.

Анализ научной литературы, посвященной адаптивности энергетических систем, показал, что методы оценки адаптивности все еще находятся на стадии разработки, что обусловлено рядом таких причин, как многоаспектность понятия «адаптивность»; уникальность энергетических систем; динамичность и фундаментальность происходящих изменений в мировой энергетике; наличие большого числа не только количественных, но и качественных показателей, характеризующих адаптивность энергетических систем, формализованная оценка которых представляет собой сложную теоретическую и практическую задачу. В настоящей статье была сделана попытка концептуального осмысления свойства адаптивности современных энергетических систем в контексте развития методологии ее оценки. Кроме того, был определен алгоритм, который в настоящее время может быть использован для оценки уровня адаптивности российских энергетических систем, а в дальнейшем – стать полезным при разработке формализованных методов. Так как не существует единого набора показателей, который отвечал бы всем потребностям оценки уровня адаптивности энергетических систем, предлагаемый в настоящей статье алгоритм оценки адаптивности может

представлять собой базу для выбора системы показателей. Особенности предлагаемого подхода к оценке адаптивности является то, что он охватывает все этапы адаптационного процесса, базируется на выделенных принципах, а также учитывает не только рыночные и производственные, но и финансово-экономические и социально-политические стрессовые ситуации.

По нашему мнению, полученные результаты в области оценки уровня адаптивности энергетических систем могут быть использованы при разработке программ развития энергетического комплекса страны в целом и региональных энергетических систем в частности, поскольку действующая Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. не учитывает проблем развития адапционных свойств российской энергетики. Кроме того, энергетические компании, стремящиеся к снижению экономических рисков и увеличению надежности функционирования производственных объектов, могут использовать разработанные методические принципы анализа уровня адаптивности энергетических систем при оценке крупномасштабных инвестиционных проектов и принятии долгосрочных управленческих решений.

Таблица 1

Факторы, формирующие адаптивность структурных элементов энергетической системы, принадлежащих к разным стадиям процесса создания и потребления энергетического ресурса

Table 1

Factors determining the adaptability of structural components of the energy system at different stages of the energy resource production and consumption process

Структурные элементы энергетической системы	Факторы, обеспечивающие адаптивность данного элемента системы
Добыча энергетического ресурса	Наличие запасов ресурсов; наличие передовых технологий добычи; себестоимость добычи; коммерческая и производственная эффективность компаний добывающего сектора и др.
Переработка энергетического ресурса и преобразование энергии	Запас производственных и электрогенерирующих мощностей; инвестиционная привлекательность компаний ТЭК; наличие конкуренции и др.
Транспортировка / Передача и распределение	Наличие организованных рынков оптовой и розничной торговли энергетическими ресурсами; развитая транспортная сеть; низкие организационные и правовые барьеры для подключения новых производителей к электрическим сетям и др.

Источник: составлено автором

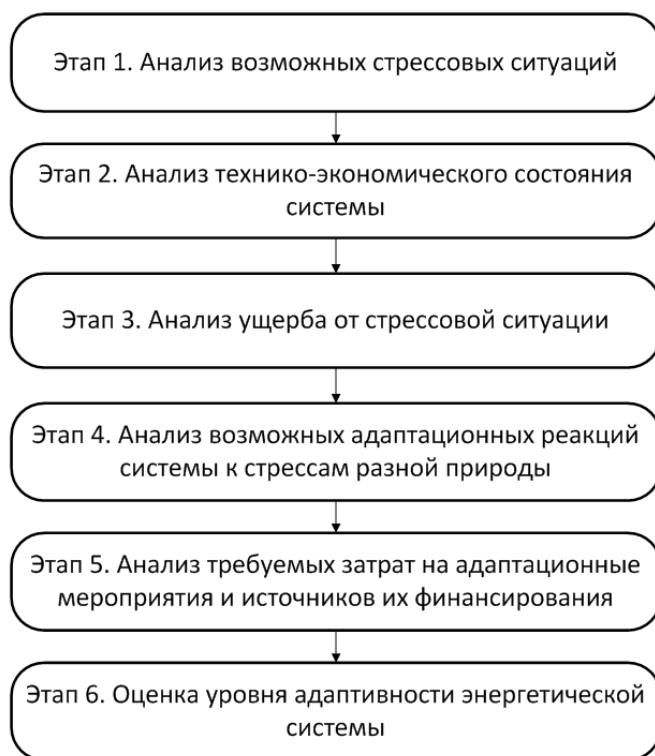
Source: Authoring

Рисунок 1

Алгоритм оценки уровня адаптивности энергетической системы

Figure 1

An algorithm for assessing the adaptability of the energy system



Источник: составлено автором

Source: Authoring

Список литературы

1. Global Energy Governance: The New Rules of the Game. Ed. by A. Goldthau, J.M. Witte. Brookings Institution Press, 2010. 372 p.
2. The Energy Reader. Ed. by L. Nader. Wiley-Blackwell, 2010. 548 p.
3. The New Energy Paradigm. Ed. by D. Helm. Oxford University Press, 2007. 512 p.
4. Мелентьев Л.А., Штейнгауз Е.О. Экономика энергетики СССР. М.: Государственное энергетическое издательство, 1963. 431 с.
5. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития. М.: Наука, 1979. 415 с.
6. Смирнов В.А. Проблемы повышения гибкости в энергетике. М.: Наука, 1989. 192 с.
7. Смирнов В.А. Процессы адаптации в развитии энергетики. М.: Наука, 1983. 196 с.
8. Berglund T., Modén L. Optimization of the Power Production System Taking into Consideration Security in Supply, Load and Different Types of Production // Proceedings of the Symposium on Load-Curve Coverage in Future Electric Power Generating Systems. Electrical Load-Curve Coverage. Pergamon Press. 1977. P. 65–76.
URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-022422-0.50010-6>
9. Georgiou G.C. US Energy Security and Policy Options for the 1990s // Energy Policy. August 1993. Vol. 21. Iss. 8. P. 831–839. URL: [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(93\)90168-F](https://doi.org/10.1016/0301-4215(93)90168-F)
10. Zweifel P., Bonomo S. Energy Security: Coping with Multiple Supply Risks // Energy Economics. July 1995. Vol. 17. Iss. 3. P. 179–183. URL: [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(95\)00018-P](https://doi.org/10.1016/0140-9883(95)00018-P)
11. Vesnic-Alujevic L., Breitegger M., Pereira A.G. What Smart Grids Tell about Innovation Narratives in the European Union: Hopes, Imaginaries and Policy // Energy Research & Social Science. 2016. Vol. 12. P. 16–26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.11.011>
12. Howell S., Rezgui Y., Hippolyte J. et al. Towards the Next Generation of Smart Grids: Semantic and Holonic Multi-Agent Management of Distributed Energy Resources // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 77. P. 193–214.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.107>
13. Thomas S., Kerner D. Defense Energy Resilience: Lessons from Ecology. Carlisle, US: Army War College, Strategic Studies Inst., 2010. 44 p.
14. Hughes L. The Effects of Event Occurrence and Duration on Resilience and Adaptation in Energy Systems // Energy. 2015. Vol. 84. P. 443–454. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.010>
15. Energy, Sustainability and the Environment: Technology, Incentives, Behavior. Ed. by F.P. Sioshansi. New York: Elsevier, 2011. 598 p.
16. Molyneaux L., Wagner L., Froome C., Foster J. Resilience and Electricity Systems: A Comparative Analysis // Energy Policy. 2012. Vol. 47. P. 188–201.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.057>

17. *Lina Y., Bie Z.* Study on the Resilience of the Integrated Energy System // *Energy Procedia*. 2016. No. 103. P. 171–176. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.268>
18. *Willis H.H., Loa K.* Measuring the Resilience of Energy Distribution Systems. Santa Monica: The RAND Corporation, 2015. 38 p.
19. Reliability – Guidelines to Understanding Reliability Prediction // European Power Supply Manufacturers Association. 2005. P. 29.
URL: http://epsma.org/MTBF%20Report_24%20June%202005.pdf
20. *Roewe P.E., Collier Z.A., Mancillas J. et al.* Metrics for Energy Resilience // *Energy Policy*. September 2014. Vol. 72. P. 249–256. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.012>

Информация о конфликте интересов

Я, автор данной статьи, со всей ответственностью заявляю о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

PRINCIPLES AND CRITERIA FOR EVALUATING THE ADAPTABILITY OF ENERGY SYSTEMS**Vadim I. LOKTIONOV**Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation
vadlok@mail.ru**Article history:**Received 27 September 2017
Received in revised form
16 October 2017
Accepted 6 November 2017
Available online
22 December 2017**JEL classification:** Q43, Q47**Keywords:** energy,
adaptability, analysis, energy
security**Abstract****Importance** The article focuses on the adaptability of energy systems understood as an ability of the systems to adapt to changing conditions and stressful circumstances.**Objectives** The article provides a conceptual understanding of the adaptability of contemporary energy systems through the lens of its evaluation methodology development.**Methods** The research involves general scientific methods of analysis and synthesis, and special methods for analyzing the operation of energy systems.**Results** I detect factors and criteria that shape the adaptability of energy systems as a whole and their components at various stages of the energy production and consumption. I systematize adaptability indicators of the energy systems in line with steps of the adaptation process, devise methodological principles for analyzing the adaptability of the energy system and propose the respective algorithm. The findings can be used to outline programs for developing the national energy sector as a whole and regional energy systems.**Conclusions and Relevance** Methods for evaluating the adaptability of energy systems are being developed due to a number of reasons mentioned in the article.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2017

Please cite this article as: Loktionov V.I. Principles and Criteria for Evaluating the Adaptability of Energy Systems. *National Interests: Priorities and Security*, 2017, vol. 13, iss. 12, pp. 2335–2348.
<https://doi.org/10.24891/ni.13.12.2335>**Acknowledgments**

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 17-06-00102-a.

References

1. Global Energy Governance: The New Rules of the Game. Ed. by A. Goldthau, J.M. Witte. Brookings Institution Press, 2010, 372 p.
2. The Energy Reader. Ed. by L. Nader. Wiley-Blackwell, 2010, 548 p.
3. The New Energy Paradigm. Ed. by D. Helm. Oxford University Press, 2007, 512 p.
4. Melent'ev L.A., Shteingauz E.O. *Ekonomika energetiki SSSR* [Economics of the USSR power engineering]. Moscow, Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatel'stvo Publ., 1963, 431 p.
5. Melent'ev L.A. *Sistemnye issledovaniya v energetike. Elementy teorii, napravleniya razvitiya* [Systems researches in power engineering. Theoretical elements, development areas]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 415 p.
6. Smirnov V.A. *Problemy povysheniya gibkosti v energetike* [Issues of raising the resilience in power engineering]. Moscow, Nauka Publ., 1989, 192 p.
7. Smirnov V.A. *Protsessy adaptatsii v razvitiy energetiki* [Adaptation processes in power engineering development]. Moscow, Nauka Publ., 1983, 196 p.

8. Berglund T., Modén L. Optimization of the Power Production System Taking into Consideration Security in Supply, Load and Different Types of Production. Proceedings of the Symposium on Load-Curve Coverage in Future Electric Power Generating Systems. Electrical Load-Curve Coverage. Pergamon Press, 1977, pp. 65–76.
URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-022422-0.50010-6>
9. Georgiou G.C. US Energy Security and Policy Options for the 1990s. *Energy Policy*, 1993, vol. 21, iss. 8, pp. 831–839. URL: [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(93\)90168-F](https://doi.org/10.1016/0301-4215(93)90168-F)
10. Zweifel P., Bonomo S. Energy Security: Coping with Multiple Supply Risks. *Energy Economics*, 1995, vol. 17, iss. 3, pp. 179–183. URL: [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(95\)00018-P](https://doi.org/10.1016/0140-9883(95)00018-P)
11. Vesnic-Alujevic L., Breitegger M., Pereira A.G. What Smart Grids Tell about Innovation Narratives in the European Union: Hopes, Imaginaries and Policy. *Energy Research & Social Science*, 2016, vol. 12, pp. 16–26. URL: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.11.011>
12. Howell S., Rezgui Y., Hippolyte J. et al. Towards the Next Generation of Smart Grids: Semantic and Holonic Multi-agent Management of Distributed Energy Resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 77, pp. 193–214.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.107>
13. Thomas S., Kerner D. Defense Energy Resilience: Lessons from Ecology. Carlisle, US, Army War College, Strategic Studies Inst., 2010, 44 p.
14. Hughes L. The Effects of Event Occurrence and Duration on Resilience and Adaptation in Energy Systems. *Energy*, 2015, vol. 84, pp. 443–454. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.010>
15. Energy, Sustainability and the Environment: Technology, Incentives, Behavior.
Ed. by F.P. Sioshansi. Elsevier, 2011, 598 p.
16. Molyneaux L., Wagner L., Froome C., Foster J. Resilience and Electricity Systems: A Comparative Analysis. *Energy Policy*, 2012, vol. 47, pp. 188–201.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.057>
17. Lina Y., Bie Z. Study on the Resilience of the Integrated Energy System. *Energy Procedia*, 2016, vol. 103, pp. 171–176. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.268>
18. Willis H.H., Loa K. Measuring the Resilience of Energy Distribution Systems. Santa Monica, RAND Corporation, 2015, 38 p.
19. Reliability – Guidelines to Understanding Reliability Prediction. European Power Supply Manufacturers Association, 2005, p. 29.
URL: http://epsma.org/MTBF%20Report_24%20June%202005.pdf
20. Roege P.E., Collier Z.A., Mancillas J. et al. Metrics for Energy Resilience. *Energy Policy*, 2014, vol. 72, pp. 249–256. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.012>

Conflict-of-interest notification

I, the author of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.