

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

**РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ
ОСНОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В
УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ**

Специальность: **3341.01 – Электрические станции
(электрическая часть) и электроэнергетические системы**

Отрасль науки: **Техника**

Соискатель: **Насибов Валех Халил оглы**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора наук по технике

Баку – 2023

Диссертационная работа выполнена в Азербайджанском
Научно-Исследовательском и Проектно-Изыскательском
Институте Энергетики

Научный консультант: Заслуженный деятель науки
Азербайджанской Республики, доктор
технических наук, профессор
Нурали Адил оглы Юсифбейли

Официальные
оппоненты: Доктор технических наук
Эльчин Джалал оглы Гурбанов

Доктор технических наук, профессор
Джаваншир Фирудун оглы Мамедов

Доктор технических наук, профессор
Али Иса оглы Мамедов

Профессор, доктор
Муслим Дженгиз Тапламачыоглы

Диссертационный совет ED 2.04 Высшей Аттестационной
Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики,
действующий на базе Азербайджанского
Технического Университета

Председатель
диссертационного совета: д.т.н., профессор
Нурали Адил оглы Юсифбейли

Ученый секретарь
диссертационного совета: к.т.н, доцент
Вахид Гара оглы Фархадов

Председатель научного
семинара: д.т.н.
Гусейнгулу Байрам оглы Гулиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень разработанности. Энергетическая безопасность является одним из основных составляющих экономической и национальной безопасности. Обеспечение энергетической безопасности предполагает выявление и систематизацию событий, наступление которых прямо или косвенно может представлять угрозу для энергетики и энергоснабжения народного хозяйства. Реализация этих угроз приводит к возникновению критических и чрезвычайных ситуаций как в самом топливно-энергетическом комплексе (ТЭК), так и у потребителей. Энергетическая безопасность касается многих аспектов, а именно: ограничение уязвимости, как от краткосрочных, так и долгосрочных перерывов в поставках энергоносителей; необходимость своевременного обновления основных производственных фондов ТЭК, эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и т.д. Исследование угроз энергетической безопасности, оценка возможности их реализаций представляет собой важную первичную информацию по определению уровня энергетической безопасности. Эта информация позволяет построить систему индикаторов энергетической безопасности, оценить степень кризисности индикаторов¹.

Под энергетической безопасностью понимается состояние защищенности страны (региона), ее граждан, общества, государства и экономики от угрозы дефицита в обеспечении потребностей в энергии экономически доступными топливно-энергетическими ресурсами приемлемого качества в нормальных условиях и при чрезвычайных обстоятельствах, а также от угрозы нарушения стабильности топливо- и энергоснабжения.

¹ Бушуев В.В., Воропай Н.И., Мастепанов А.М., Шафранник Ю.К. и др. Энергетическая безопасность России. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1998, 302 с.

Определение наиболее важных энергетических индикаторов, характерных для экономики страны, определение динамики их изменения является важной задачей.

Актуализация проблем энергосбережения, энергобезопасности и энергоэффективности берет свое начало с 70-х годов прошлого столетия. Очередной военно-политический кризис на Ближнем Востоке привел к энергетическому кризису – к резкому снижению объема экспорта первичных энергоресурсов и к многократному повышению цен на них. Это обусловило принятие промышленно развитыми странами (США, Канада, Западная Европа, Япония и др.) ряда радикальных мер по обеспечению энергетической безопасности, в том числе создание Международного Энергетического Агентства для координации этих мер.

В то время Международное Энергетическое Агенство определило энергетическую безопасность, как "Энергетическая безопасность – это уверенность, что энергия будет иметься в распоряжении в том количестве и того качества, которые требуются при данных экономических условиях".

Со временем появилось множество определений энергетической безопасности (Sovacool В.К. в своих работах приводит более 45 определений энергетической безопасности) в зависимости от страны, от времени рассмотрения энергобезопасности, с точки зрения экспортера и импортера энергии, финансовых структур, международных структур энергетического профиля и др.²

Международное Энергетическое Агенство немного трансформировало определение энергетической безопасности, а именно энергетическая безопасность, это "непрерывное наличие источников энергии по доступной цене". При этом Международное Энергетическое Агенство определяет два типа энергетической безопасности, долгосрочная энергетическая безопасность и краткосрочная энергетическая безопасность. В долгосрочной энергобезопасности основное внимание уделяется

² Sovacool В.К. The methodological challenges for creating a comprehensive energy security index // Energy Policy, 2012, Vol. 48, pp. 835-840

на осуществление инвестиций в энергоснабжение, а в краткосрочной безопасности на способность энергосистемы быстро реагировать на изменения спроса и предложения.

Джон Митчелл и другие определяют энергетическую безопасность как свойство энергетических систем, подверженных целому ряду рисков, которые меняются со временем и в зависимости от местоположения, что требует стратегии устойчивости энергетической системы в целом.³ Они определяют четыре ключевые аспекты: стабильность (способность справляться с внутренними потрясениями, например, инфраструктура отказа), устойчивость (способность справляться с внешними потрясениями, например, перебои в поставках), долговечность (способность справляться с долгосрочными внутренними стрессами, например, увеличение отказа) и надежность (способность справляться с долгосрочными внешними стрессами, например истощение ресурсов).

На страновом уровне определение энергетической безопасности учитывает конкретные особенности, как состояние отдельных подсистем энергетики, так и в целом состояние топливно-энергетического комплекса страны. Например, в Республике Беларусь под энергетической безопасностью понимается "Энергетическая безопасность – состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения".

В Российской Федерации энергетическая безопасность имеет несколько определений, но в основном принимается определение, данное Сибирским Институтом Систем Энергетики, совместно с Институтом Энергетической Стратегии.

³ John V. Mitchell Renewing energy security // Sustainable Development Programme, July 2002, p. 25

В США необходимой мерой, направленной на повышение энергетической безопасности, видят диверсификацию источников энергоснабжения.

В Стратегии энергетической безопасности правительства Великобритании говорится, что «Правительство в первую очередь заботится о том, чтобы клиенты имели доступ к необходимым им услугам (физическая безопасность) по ценам, исключаящим чрезмерную волатильность (ценовая безопасность)».

Уже более шестидесяти лет исследователи пытаются концептуализировать энергетическую безопасность, определив единое определение энергетической безопасности, но универсальное определение энергетической безопасности в принципе невозможно, в силу того, что, как определил Л. Честер «энергетическую безопасность» трудно описать, поскольку это скорее понятие, напоминающее абстрактную идею, чем политику или термин.⁴ Это понятие может различаться в зависимости от институциональных, национальных, личных и т. д. точек зрения, а это означает, что оно зависит от субъекта, который его использует⁵.

Несмотря на то, что на сегодня на мировом рынке все запросы на покупку органического топлива практически полностью удовлетворяются, проблема обеспечения энергетической безопасности остается не менее актуальной, как для стран с ограниченными топливно–энергетическими ресурсами (ТЭР), так и для стран, имеющих в избытке собственные ТЭР.

Энергетическая безопасность вне зависимости от того, рассматривается ли она в контексте страны–экспортера энергетических ресурсов или их импортера, является одним из

⁴ L. Chester Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature // *Energy Policy* 38(2), 2010, pp. 887-895

⁵ Sovacool, B. and M.A. Brown. Competing dimensions of energy security: An international perspective // *Annual Review of Environment and Resources*, 35(1), 2010, pp.77-108

важнейших составляющих экономической и в целом национальной безопасности.

Существующие методы, алгоритмы и подходы оценки энергетической безопасности имеют существенные недостатки – выбор индикаторов, определение пороговых значений индикаторов, и самое главное заключительный вывод об уровне энергетической безопасности основывается на субъективном мнении эксперта, а также практически не учитывается нечеткий характер исходной информации, тенденции их изменения и их взаимовлияния.

Многочисленность факторов и показателей энергетической безопасности, сложность их внутренних и внешних взаимосвязей, неопределенность условий развития требуют применения научного подхода оценки энергетической безопасности на основе принципа системного анализа.

В различных источниках к задачам энергетической безопасности осуществляются различные подходы. Так, например, в фундаментальных трудах Сибирского Энергетического Института обосновываются методы индикативного анализа энергетической безопасности; в трудах Уральского Политехнического Института рассматриваются экономические аспекты энергетической безопасности; в трудах Института Энергетики Национальной Академии Наук Беларуси, Киевского Политехнического Института, Института Национальных Стратегических Исследований Украины, Института Энергетики Национальной Академии Наук Молдовы разрабатывается подход к энергетической безопасности стран, импортирующих энергетические ресурсы; Концепция энергетической безопасности Международного Энергетического Агентства для краткосрочных периодов (MOSES), определение индекса эффективности архитектуры функционирования энергетики Всемирным Экономическим Форумом (ВЭФ), определение энергетической устойчивости Всемирным Энергетическим Конгрессом (ВЭК) и т.д.

Несмотря на многочисленность исследований для оценки энергетической безопасности, характеризующих ее различные

аспекты, все еще не решен ряд концептуальных проблем теоретического и методологического характера, в числе которых наиболее существенными являются следующие: 1) все еще не определены и не унифицированы индикаторы энергетической безопасности для компактных, энергетически независимых стран, к которым можно отнести Азербайджанскую Республику, 2) для стран-экспортеров энергоресурсов на мировые рынки, к которым относится Азербайджан, не до конца исследованы вопросы связи энергетической безопасности с энергетической эффективностью и энергетической устойчивостью, 3) при исследовании энергетической безопасности основным методом является метод индикативного анализа, в основе которого лежит метод сравнения значения индикаторов с заранее выбранными пороговыми значениями. В результате сравнения устанавливается степень кризисности состояния отдельных индикаторов, при этом об уровне результирующей безопасности делается весьма приближенное заключение, основанное на субъективном мнении эксперта, 4) на сегодня нет адекватных методов оценки взаимовлияния индикаторов энергетической безопасности на различные перспективы развития, 5) разделение состояния индикаторов на такие состояния как нормальные, предкритические и критические, что встречается в большинстве исследований, а также установление пороговых значений индикаторов экспертами несут в себе большую неопределенность и т.д.

Таким образом, в условиях устойчивого развития экономики компактной, энергетически независимой страны разработка теоретико-методологических основ энергетической безопасности, базирующаяся на принципиальной необходимости учета нечеткости, неопределенности показателей и их взаимовлияния, а также учета требований исследований энергетической безопасности на уровне отдельных подсистем энергетики для разных временных перспектив является актуальной задачей.

Цель работы. Основной целью выполненной работы является создание целостной теоретической и методологической

основы энергетической безопасности устойчиво развивающейся, компактной и энергетически независимой страны (Азербайджанской Республики) на базе системного подхода и теории нечетких множеств и нечеткого логического вывода с помощью которой можно количественно оценить уровень энергетической безопасности подсистем энергетики в отдельности и в целом для разных временных периодов.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Оценить текущее состояние энергетики и перспективы ее развития с целью формирования приоритетных задач обеспечения энергетической безопасности выбором и контролем соответствующих индикаторов.

2. Разработать метод увязки энергетической безопасности с системами энергетической эффективности и энергетической устойчивости посредством обоснования и выбора связующих индикаторов для каждой системы.

3. Обосновать метод учета взаимовлияния индикаторов для оценки безопасности подсистем энергетики в отдельности и в целом для разных временных периодов.

4. Разработать модели оценки безопасности подсистем энергетики, в том числе для электроэнергетики для разных временных периодов—краткосрочных периодов, среднесрочных и долгосрочных периодов.

5. Обосновать необходимость применения теории нечетких множеств и нечеткого логического вывода для оценки электроэнергетической безопасности для разных временных периодов.

6. Разработать модели перехода от качественной оценки электроэнергетической безопасности к количественной использованием теории нечеткого логического вывода для разных временных периодов.

7. Разработать методы оценки прогнозных значений основных индикаторов электроэнергетической безопасности на различные периоды прогнозирования.

8. Разработать модели управления электроэнергетической безопасности для среднесрочных и долгосрочных периодов на основе теории нечеткого логического вывода.

Объект и предмет исследования. Полученные в диссертации выводы и рекомендации основываются на применении современных методов теоретического и экспериментального исследования поставленных задач. Разработанные методы, построенные модели сравнивались как с тестовыми примерами, так и с данными опыта эксплуатации.

Использованные в данной работе методы исследования энергетической безопасности базируются на основе принципа системного анализа, где энергетика представляется как сложная система, состоящая из развивающихся во времени не менее сложных подсистем энергетики, здесь реализованы основные принципы системного анализа:

- принцип совместимости подсистем энергетики;
- принцип функционально-структурного строения энергетики;
- принцип развития;
- принцип вариантности.

Методы исследования. Основным методом исследования в данной диссертационной работе является метод нечеткого логического вывода. Оригинальность предложенного метода исследования энергетической безопасности заключается в том, что он позволяет получить числовые значения безопасности, а также этот метод позволяет относительно просто построить модели для разных временных периодов.

Помимо этого, основного метода, для решения частных задач в работе нашли применение метод энергетического тетраэдра для оценки устойчивости и эффективности энергетики, метод учета взаимовлияния индикаторов энергетической безопасности.

Научная новизна Создана целостная теоретическая и методологическая основа исследования и поддержания энергетической безопасности энергетически независимой страны в условиях устойчивого роста экономики, базирующаяся

на количественной оценке уровня энергетической безопасности, с применением системного подхода и теории нечетких множеств и нечеткого логического вывода. При этом получены теоретические и методологические результаты:

- Впервые обоснован подход к изучению энергетической безопасности для компактной и энергетически независимой страны (на примере Азербайджанской Республики);

- Разработан метод увязки энергетической безопасности с энергетической устойчивостью и энергетической эффективностью;

- Обоснован метод учета взаимовлияния индикаторов для оценки безопасности подсистем энергетики в отдельности и в целом для разных временных периодов;

- Обоснован выбор индикаторов для разных временных периодов для исследования безопасности подсистем энергетики, в том числе электроэнергетики;

- Впервые дано определение электроэнергетической безопасности. Разработан метод исследования электроэнергетической безопасности с использованием теории нечеткого логического вывода с целью перехода от качественной оценки к количественной;

- Разработаны модели управления электроэнергетической безопасностью для разных временных периодов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Метод учета взаимовлияния индикаторов для оценки безопасности подсистем энергетики в отдельности, и в целом для разных временных периодов;

- Метод увязки энергетической безопасности с энергетической устойчивостью и энергетической эффективностью;

- Модели оценки безопасности подсистем энергетики, в том числе для электроэнергетики для разных временных периодов;

- Метод исследования электроэнергетической безопасности с использованием теории нечеткого логического

вывода с целью перехода от качественной оценки к количественной;

– Модели управления электроэнергетической безопасности для разных временных периодов.

Практическая ценность результатов диссертационной работы заключается в следующем:

– Разработанные методы количественной оценки уровня энергетической безопасности позволяют оценить тенденции изменения общего уровня энергетической безопасности во времени и принимать соответствующие меры по его повышению;

– Разработанные модели функциональной зависимости общей электроэнергетической безопасности от безопасности отдельных подсистем электроэнергетики и от безопасности отдельных индикаторов позволяют управлять (повышать) электроэнергетической безопасностью воздействуя на состояние влияющих индикаторов.

Реализация результатов работы. Модели, алгоритмы, программы и методы, разработанные в диссертационной работе, приняты в Министерстве Энергетики, Государственном Агентстве по Альтернативным и возобновляемым источникам энергии и ОАО «Азерэнержи» для использования.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих семинарах и конференциях:

– Ежегодные семинары Аз НИ и ПИ Института Энергетики (2009 – 2018 гг.) для обсуждения работ, выполненных по заказу ОАО «Азерэнержи»

– ICTPE – 2009 The 5th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, 03 -05 September 2009, Bilbao, Spain

– ICTPE 2010 The 6th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, 14 -16 September, Tabriz, Iran

– 84-й Международный научный семинар им. Ю.Н.Руденко "Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики", сентябрь 17-21, 2012, Баку

– ICTPE– 2012 The 8th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, 03 -07 September, Fredrikstad, Norway

– International Conference on Energy, Radional, International and Socia – Ekonomic Development, 05 -06, Baku, Azerbaijan

– First Baku forum of economic organization member states economic think-thinks -2013 & first.ECO-2013 international conference on energy, regional integration and socio-economic development 1st erised - 2013, 5-6 September 2013, Baku, Azerbaijan

– 85-й Международный научный семинар им. Ю.Н.Руденко "Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики", сентябрь 17-21, 2013, Иркутск

– ERRA, Enerjinin tənziqlənməsi və investisiya üzrə 13-cü konfrans, 27-28 oktyabr, 2014-cü il, Bakı, Azərbaycan

– ICTPE-2014 The 10th International Conference on Technical and Physical of Electrical engineering, 7-8 September, 2014, Baku

– 86-й Международный научный семинар им. Ю.Н.Руденко "Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики", сентябрь 17-21, 2014, Санкт-Петербург

– ICTPE-2015 The 11th International Conference on Technical and Physical of Electrical engineering, 10-12 September, 2015, Bucharest, Romania

– "Beynəlxalq ticarət sisteminin Balidən sonrakı məqsədləri" mövzusunda konfrans, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, 17 fevral 2015, Bakı

– The 5th International Conference on Control and optimization with industrial applications (COIA), 27-29 August 2015, Baku, Azerbaijan

– ICTPE-2016. The 12th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, 7-9 September 2016, Bilbao, Spain

– ICTPE-2017. The 12th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, 21-23 September 2017, Van, Turkey

– ICTPE-2018. The 13th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, 21-23 September 2018, Nakhchivan, Azerbaijan

– 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, TECIS 2018 13-15th September 2018 Baku, Azerbaijan

– International Conference on Energy of Future: Challenges and Opportunities ICEFCO 2018, 10-13 September, Baku, Azerbaijan

– ICTPE-2019 15-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 14-15 Oktobe 2019, Istanbul, Turkey

– 14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020, Baku, Azerbaijan

– High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020 (HSTED-2020), Volume 178, 7-11 September 2020, Irkutsk, Russia

– 94-й Международный научный семинар им. Ю.Н.Руденко "Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики", 19 – 23 сентября 2022 г. Алушта

– Энергетика XXI века: устойчивое развитие и интеллектуальное управление energy-21: Sustainable Development & Smart Management международная конференция, 7-11 сентября 2020 г., Иркутск, Россия

– 14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020, 05 January 2021, Baku, Azerbaijan

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 64 печатных работах, в том числе 11 статей в зарубежных научных журналах, 12 статей в зарубежных изданиях, входящих в Web of Science, Springer и Scopus, 20 статей в республиканских научных журналах, 35 тезисов, статей

и докладов, опубликованных в материалах международных и республиканских научных конференций.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов и списка использованной литературы. Содержание работы изложено на 374 страницах, содержит 117 таблиц и 144 рисунков. В работе использована техническая литература, включающая 193 наименований, а также информация из 12 сайтов Интернета.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы основные цели и задачи исследований, приведены сведения о научной новизне и практической ценности работы, апробации разработок и исследований.

В первой главе анализированы основные этапы развития энергетики Азербайджана и показано, что энергетика и подсистемы энергетики – нефтяная и газовая промышленность и электроэнергетика Азербайджана зародились и развивались благодаря нефти. Анализирована история развития нефтедобычи, ее основные этапы и современные проблемы. Отдельно изучены вопросы развития нефтяной отрасли в годы независимости Азербайджана с точки зрения обеспечения экономической и энергетической безопасности.

Необходимо отметить, что нефтегазовый сектор является основным источником валютных поступлений в Азербайджане, и поэтому обеспечение его безопасного функционирования является важнейшей задачей не только энергетической и экономической безопасности, а также устойчивого развития страны.

Определены и сгруппированы основные угрозы энергетической безопасности. Показано, что угрозы энергетической безопасности можно сгруппировать по следующим семи группам функционирования энергетики: экономические, социально-экономические, внешне

экономические, внешне-политические, техногенные, природные, проблемы управления. Определены наиболее "узкие" места энергетики в соответствии возможности реализации угроз энергетической безопасности.

Для оценки энергетической безопасности разработана трехуровневая система исследования энергобезопасности выбором соответствующих индикаторов: энергетическая безопасность и экономическая безопасность; собственно энергетическая безопасность; безопасность подсистем энергетики, в том числе электроэнергетики. Для увязки энергетической безопасности с экономической безопасностью выбраны три индикатора, все они связаны с внешнеэкономической деятельностью энергетики, и в основном характеризуют стабильность валютных поступлений от продажи энергоресурсов.

Для оценки энергетической безопасности в целом выбраны индикаторы энергетической безопасности в количестве одиннадцати индикаторов, оценены их текущие состояния, построены аппроксимирующие зависимости значений индикаторов в функции времени для определения прогнозных значений индикаторов. Для исследования взаимовлияния и взаимозависимости индикаторов энергетической безопасности, энергетика представлена совокупностью семи взаимосвязанных подсистем: топливообеспечение, производство энергии, передача и распределение энергии, импорт/экспорт электроэнергии, экология, потребление энергии, управление и финансирование.

Определены индикаторы для каждой подсистемы и выбраны среди них наиболее ответственные, отвечающие за кризисность состояния каждой подсистемы: потребление топлива на душу населения; потребление электроэнергии на душу населения; уровень технического состояния основного оборудования; уровень резерва мощности; количество CO₂ на душу населения; энергоемкость экономики; отношение средств, направленных на ТЭК к общей стоимости ТЭК.

Показано, что подсистемы и выбранные индикаторы имеют между собой связи и взаимовлияния, если для оперативных и краткосрочных периодов взаимовлияниями индикаторов можно пренебречь, то для среднесрочных и долгосрочных периодов неучет взаимовлияний индикаторов может привести к существенным искажением. Разработан метод учета взаимовлияния индикаторов при оценке результирующей энергетической безопасности. Составлены уравнения взаимосвязи индикаторов энергетической безопасности, где в главной диагонали находятся собственные значения выбранных индикаторов и определены изменения весового коэффициента каждого индикатора в результирующей безопасности с течением времени. Показано, что без учета тенденции изменения собственных значений индикаторов в ближайшее время наибольший вес в энергетической безопасности Азербайджана будут иметь индикаторы «техническое состояние основного оборудования» и «объем средств, направляемых в ТЭК», а при учете, наряду с ними и «потребление топлива». Для учета изменения собственных значений индикаторов использованы аппроксимирующие зависимости индикаторов от времени, составленные использованием ретроспективных данных.

Во второй главе развиты методы исследования энергетической устойчивости применительно к Азербайджанской Республике, анализируется эффективность функционирования энергетики Азербайджана и разработан метод оценки устойчивого и эффективного функционирования энергетики.

Рассматривается методика определения индекса энергетической устойчивости (ИЭУ), предложенная Всемирным Энергетическим Конгрессом (ВЭК), применительно к Азербайджану. Анализирована динамика изменения индекса энергетической устойчивости Азербайджана за последние годы, определены потенциалы по каждой из составляющей устойчивой энергетики.

Устойчивая энергетика должна обеспечивать баланс трех, зачастую противоречивых целей – энергетическую

безопасность, доступность энергии и экологическую устойчивость.

В таблице 1 представлены индикаторы и их значения, по которым произведены расчеты энергетической устойчивости Азербайджана со стороны ВЭК.

Таблица 1. Индикаторы энергетической устойчивости
Азербайджана

	2015	2016	2017
Промышленный сектор (% ВВП):	49,3	49,3	49,3
ВВП на душу населения, ППС, долл. США:	17,608	17,782	17,257
Энергоемкость (кое на доллар США):	0,05	0,06	0,06
Разнообразие международных поставщиков энергии (НИ):	High (1269)	High (1269)	High (1269)
Население с доступом к электричеству (%):	100	100	100
Доступ к чистой кулинарии (%):	96	96	96
Бытовые цены на электроэнергию (долл. США / кВтч):	-	-	-
Скорость передачи и распределения потерь (%):	12,2	12,2	12,2
Интенсивность CO ₂ (тCO ₂) на душу населения:	0,22	0,22	0,22
Скорость роста выбросов ПГ (%):	1,9	1,9	1,9

Как видно из таблицы 2, индикатор цена электроэнергии для домохозяйств не доступен для оценки энергетической устойчивости, при этом используется всего 9 индикаторов, в то время как, нужно использовать два раза больше индикаторов.

Ниже, на рисунке 1, представлены Энергетические треугольники Азербайджана на 2019 год, построенные ВЭК с учетом 9 индикаторов и нами, с учетом 19 индикаторов. Сравнительный анализ энергетических треугольников устойчивости Азербайджана показывает, что при полном учете всех доступных индикаторов значения подсистем энергетики имеют существенное отличие. Энергетическая безопасность увеличивается до 78 против 62, Энергодоступность 92 против 83 и Экологическая устойчивость 64 против 63. При этом оценка

энергетического треугольника становится равной 78 против 69,3.

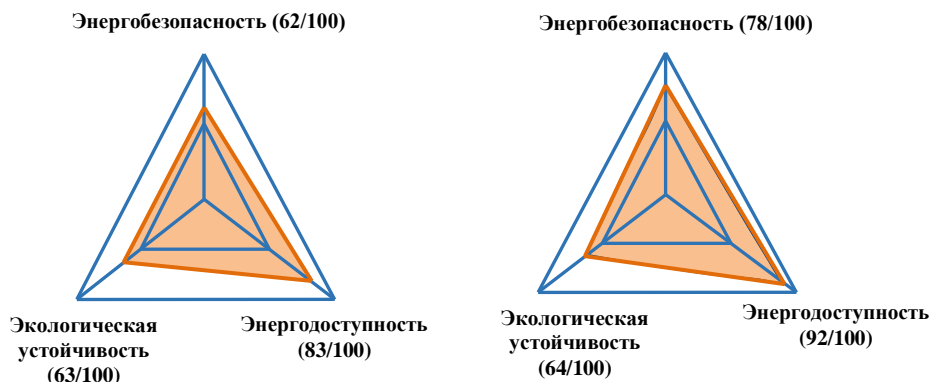


Рис.1. Энергетические треугольники Азербайджана за 2019 год, а) построенная ВЭК, б) построенная нами

Индекс эффективности архитектуры функционирования энергетики (ИЭАФЭ), разработанный ВЭФ, является глобальной платформой по созданию системы индикаторов, характеризующей энергетическую отрасль, с помощью которой энергосистемы оцениваются по трем главным направлениям функционирования энергетики—обеспечение экономического роста и развития, экологическая устойчивость, энергодоступность и безопасность.

В таблице 2 представлена динамика изменения индикаторов, применяемых ВЭФ для расчета индекса эффективности архитектуры функционирования энергетики, применительно к Азербайджанской Республике.

Таблица 2. Динамика изменения индикаторов Азербайджана

	2012	2013	2014	2017
Экономический рост и развитие	0,46	0,47	0,44	0,65
ВВП на единицу использования энергии (ППС в долл. США за кг нефтяного экв.)	0,58	7,1	7,35	11,3

Импорт топлива (% от ВВП)	0,01	0,14	0,01	0,28
Экспорт топлива (% от ВВП)		51,42	46	24,97
Уровень искажения цен на бензин путем субсидии или налога (индекс 0-1)		0,51	0,46	0,83
Уровень искажения цен на дизель путем субсидии или налога (индекс 0-1)		0,41	0,34	0,44
Экологическая устойчивость	0,31	0,51	0,43	0,57
Альтернативная и атомная энергия (% от общего потребления энергии, в том числе биомассы)		2,51	3	1,85
Выбросы закиси азота в энергетическом секторе (метрических тонн CO ₂ в эквиваленте на душу населения)		0,03	0,01	14,99
Выбросы CO ₂ от каждого произведенного 1 кВтч электроэнергии			439	482
PM10, на уровне страны (микрограммов на кубический метр)		28,83	27	20,8
Средний расход топлива для легковых автомобилей (л/100 км)	с	с	с	8,24
Выбросы метана в энергетическом секторе (метрическая тонна CO ₂ на общую численность населения)		---	1210	1208,5
Энергодоступность и безопасность	0,7	0,78	0,79	0,79
Уровень электрофикации населения (%)		100	99	100
Качество поставок электроэнергии (1-7)	3,91	4,46	4,8	5,1
% населения, использующего твердые виды топлива для приготовления пищи (%)	7	7	7	7,26
Импорт энергоносителей, нетто (% от потребления энергии)	- 338,32	- 439,43	-377	-327,6
Диверсификация стран, импортирующих энергию		-	0,16	0,13
Диверсификация поставок общего объема первичной энергии (Херфиндаля индекс)	0,45	0,47	0,47	0,48

Ниже на рисунке 2 представлен энергетический треугольник Эффективности функционирования энергетики Азербайджана за 2017 год с уточненными значениями подсистем. Как видно из энергетического треугольника, значительные потенциалы для улучшения состояния имеются в подсистеме Экологическая устойчивость, достаточно большие потенциалы имеются в подсистеме Экономический рост и развитие, и небольшие потенциалы для улучшения у подсистемы Энергодоступность и безопасность.



Рис. 2. Эффективность функционирования энергетики Азербайджана

Для Азербайджана, как страны–экспортера углеводородного сырья, представленная методика оценки устойчивости развития энергетики является не вполне адекватной, так как вершина "энергодоступность" энергетического треугольника не является существенной составляющей – физическая доступность энергии сегодня и в ближайшем будущем практически 100%, а цена энергии, в том числе электроэнергии, является одной из самых низких. В то же время в подсистемах оценки устойчивости функционирования энергетики отсутствует "экономический рост и развитие", хотя для Азербайджана энергетика является основным источником валютных поступлений. Единственный индикатор развития экономики – энергоемкость включен в состав индикаторов экологической устойчивости. Исходя из вышесказанного, нами разработан метод исследования

устойчивости и эффективности энергетики для стран – экспортеров на основе энергетического тетраэдра, вершина которого – эффективность государственной политики, а основание – энергетическая безопасность, экологическая устойчивость, экономический рост и развитие.

В таблице 4 представлены индикаторы подсистем устойчивого и эффективного развития энергетики Азербайджана – энергетическая безопасность, экологическая устойчивость, экономический рост и развитие, эффективность государственного управления.

По предложенным индикаторам рассчитываются численные значения каждой из подсистем устойчивого и эффективного развития энергетики Азербайджана исходя из соответствия численных значений к буквенным обозначениям.

Если, используя сто балльную систему, принять диапазон значений каждой подсистемы 0 – 25, то состояние идеальной устойчивости энергосистемы будет определяться правильным тетраэдром с радиусом описанного шара около него 15, как показано на рисунке 3.

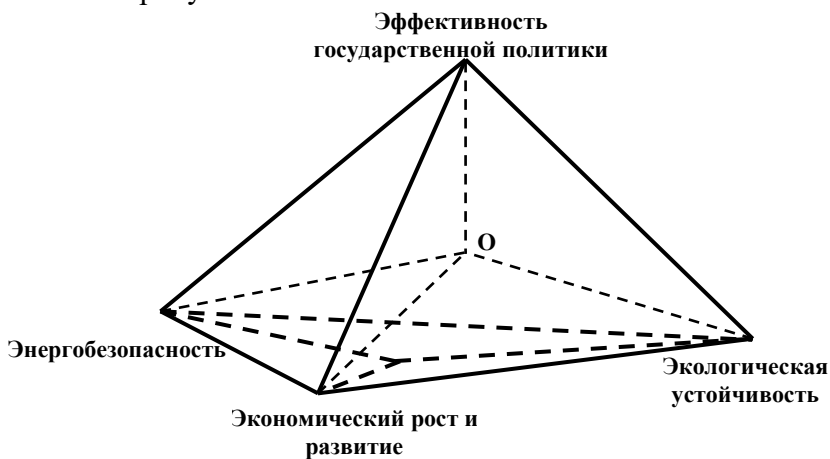


Рис.3. Схема исследования устойчивости и эффективности энергетики

По предложенным индикаторам определены численные значения отдельных подсистем состояния энергетики, эффективности государственной политики в области энергетики и состояние устойчивости и эффективности энергетики Азербайджана, результаты которых представлены в таблице 3.

Таблица 3. Состояние устойчивости и эффективности энергетики Азербайджана

	Эффективность государственной политики	Энергобезопасность	Экономический рост и развитие	Экологическая устойчивость
Значения	20	21	20	16
	Энергобезопасность и Экономический рост и развитие	Энергобезопасность и Экологическая устойчивость	Экономический рост и развитие и Экологическая устойчивость	
Эффективность государственной политики в энергетике	477 – В	414 – В	400 – В-С	
Устойчивость и эффективность энергетики	3570 – В-С			

Как видно из таблицы 3, текущие значения подсистем устойчивости и эффективности энергетики Азербайджана находятся на уровне В – нормально (эффективность государственной политики – 20 – В, энергобезопасность – 21 – А – В, экономический рост и развитие – 20 – В и экологическая устойчивость – 16 – В – С), в целом устойчивость и эффективность энергетики (объем тетраэдра) также находится на уровне "нормально".

В третьей главе рассмотрены схемы исследования безопасности поставок нефти, нефтепродуктов и природного газа, анализируются модели исследования электроэнергетической безопасности для краткосрочных периодов, а также для среднесрочных и долгосрочных периодов.

Несмотря на то, что энергетическая безопасность изначально была ориентирована на безопасность поставок нефти, всевозрастающая сложность систем энергетики требует исследования проблемы энергетической безопасности на уровне отдельных отраслевых систем энергетики.

Схема исследования энергетической безопасности по разработкам Международного Энергетического Агентства осуществляется согласно рисунку 4, где А соответствует наименьшим рискам и максимальной устойчивости, а Е наибольшим рискам и наименьшей устойчивости.

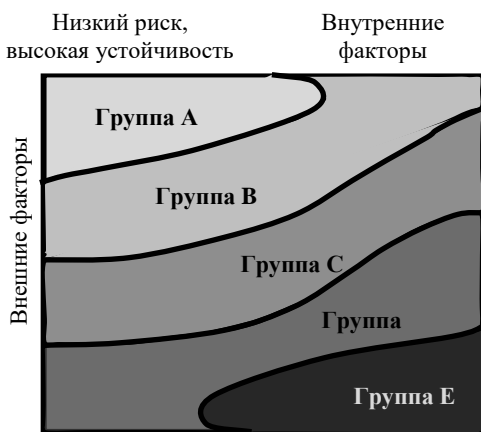


Рис.4. Схема исследования энергетической безопасности

Для Азербайджана наибольшее применение нашли такие источники энергии, как нефть, нефтепродукты и природный газ.

Нами произведена оценка безопасности поставок нефти и нефтепродуктов и определено, что для Азербайджанской Республики, производящей энергию, и для экспорта, схема исследования заканчивается первым шагом и соответствует состоянию "отлично" – А.

Для оценки безопасности обеспечения природным газом страны рассматриваются ниже следующие риски и устойчивости, как показано в таблице 4.

Таблица 4. Индикаторы для оценки безопасности обеспечения природным газом

Риски		Устойчивости
Внешние	Зависимость от импорта Политическая стабильность поставщиков	<ul style="list-style-type: none"> • Количество портов ввода сжиженного природного газа • Количество трубопроводов • Разнообразие поставщиков
Внутренние	Морская добыча	<ul style="list-style-type: none"> • Объем подачи газа из хранилищ • Интенсивность потребления газа

Наиболее важным показателем с точки зрения безопасности газоснабжения является зависимость от импорта. По этому показателю страны делятся на три категории: низкая зависимость от импорта (<10%) и страны экспортеры, умеренная зависимость от импорта (30–40%) и высокая зависимость (>70%).

Нами были рассмотрены вопросы энергетической безопасности такого объекта, как электроэнергетика с учетом как внешних, так и внутренних рисков и устойчивости, при этом основное внимание уделялось краткосрочной перспективе.

При таком подходе электроэнергетика представляется в виде четырех взаимосвязанных подсистем: подсистема топливообеспечения, подсистема производства электроэнергии, подсистема передачи и распределения электроэнергии и подсистема связей с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии. Для каждой подсистемы выбираются наиболее характерные показатели (индикаторы) и отдельно группируются внешние и внутренние риски и устойчивости.

Для исследования топливообеспечения электроэнергетики нужно оценить топливообеспечение страны. Так как в Азербайджанской Республике на электростанциях в основном сжигается природный газ, безопасность топливообеспечения электроэнергетики прямо связана с безопасностью обеспечения Азербайджанской Республики природным газом.

В таблице 5 показаны риски и устойчивости для оценки безопасности обеспечения природным газом электроэнергетический сектор.

Таблица 5. Риски и устойчивости для оценки безопасности обеспечения природным газом электроэнергетический сектор

Риски		Устойчивости
Внутренние	Доля морской добычи основного вида топлива	Разнообразие видов топлива Диверсификация путей доставки

Разнообразие видов топлива и диверсификация путей доставки рассчитывается по методу Герфиндаля – Хиршмана. Этот параметр для всех показателей делится на три диапазона: высокое разнообразие ($<0,33$), умеренное разнообразие ($0,33-0,64$) и низкое разнообразие ($>0,64$). На тепловых электростанциях Азербайджана сжигается (используется) в основном газ, но имеется возможность замены газа на 30% мазутом и поэтому разнообразие видов топлива относится ко второму диапазону.

При сложившихся условиях, безопасность топливообеспечения электроэнергетики Азербайджанской Республики можно отнести к группе В.

В таблице 6 показаны наиболее важные внешние и внутренние риски и устойчивости для подсистемы производства электроэнергии. Оценка подсистемы производства электроэнергии осуществляется в 3 шага.

Таблица 6. Наиболее важные внешние и внутренние риски и устойчивости

Риски		Устойчивости
Внешние	Отсутствует	Отсутствует
Внутренние	Выработка электроэнергии собственными источниками Доля мощности наиболее крупной электростанции в общей установленной мощности Доля мощности наиболее крупного агрегата в общей установленной мощности Степень изношенности основного генерирующего оборудования	Доля ГЭС Доля модульной (быстровводимой) распределенной генерации Резерв мощности

В качестве параметров энергетической безопасности подсистемы передача и распределение электроэнергии выступают износ подстанций, трансформаторов, воздушных линий электропередачи, а также степень сбалансированности и самообеспеченности регионов или крупных экономических регионов. В таблице 7 показаны риски и устойчивости этой подсистемы.

Таблица 7. Риски и устойчивости подсистемы передача и распределение электроэнергии

Риски		Устойчивости
Внешние	Отсутствуют	Отсутствует
Внутренние	Уровень износа подстанций Уровень износа трансформаторов Уровень износа воздушных линий	Степень сбалансированности и самообеспеченности регионов или крупных экономических регионов

В таблице 8 показаны риски и устойчивости подсистемы связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии.

Таблица 8. Риски и устойчивости подсистемы связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии

Риски		Устойчивости
Внешние	Уровень импорта	Разнообразие связей с соседними энергосистемами
Внутренние	Пропускная способность межсистемных связей	Уровень резерва пропускной способности межсистемных связей

Так как Азербайджан практически не импортирует электроэнергию, то оценка безопасности этой подсистемы для Азербайджана завершается первым шагом и относится к группе А.

При исследовании электроэнергетической безопасности для среднесрочных и, особенно, долгосрочных периодов электроэнергетика представляется совокупностью 7-и

взаимосвязанных подсистем, к перечисленным четырем подсистемам добавляется еще 3 подсистемы: подсистема потребления электроэнергии, подсистема воспроизводства основных производственных фондов и подсистема перспективного развития.

Несмотря на то, что названия первых четырех подсистем и для краткосрочных периодов, и для среднесрочных и долгосрочных периодов одинаковы, методы исследования их безопасности имеют существенные различия.

Прогнозное значение безопасности подсистемы топливообеспечения электроэнергетики Азербайджана для долгосрочных периодов может соответствовать буквенным обозначениям от В до D в зависимости от разнообразия видов топлива, доли морской добычи и диверсификации путей доставки основного вида топлива.

По прогнозным значениям резерва мощности и степени изношенности основного генерирующего оборудования, безопасность подсистемы производства электроэнергии для среднесрочных и долгосрочных периодов можно отнести к группам А – С.

В результате большого обновления электросетевого оборудования, безопасность подсистемы передача и распределение электроэнергии для долгосрочных периодов по сравнению с краткосрочными периодами может существенно улучшиться и соответствовать группе В (для краткосрочных периодов – группа D).

Безопасность подсистемы связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии, как для краткосрочных, так и среднесрочных и долгосрочных периодов относится к группе А. Главным показателем этой подсистемы является уровень импорта, а Азербайджан на сегодня практически не импортирует электроэнергию и в ближайшей перспективе его экспортный потенциал оценивается в 4–5 млрд. кВтч электроэнергии.

В таблице 9 показаны риски и устойчивости для блока потребление электроэнергии.

Таблица 9. Риски и устойчивости подсистемы потребления электроэнергии

Риски		Устойчивости
Внешние	Отсутствуют	Отсутствует
Внутренние	Доля отключаемых потребителей в суммарном электропотреблении Продолжительность отключений Продолжительность работы с низким качеством электроэнергии Доля среднедушевого дохода, затрачиваемого на оплату электроэнергии.	Относительное уменьшение электропотребления, связанное применением эффективных технологий.

Главным показателем этой подсистемы является продолжительность отключений. Этот параметр, как и все другие, принимает одно из трех значений: высокая, средняя и низкая, где «низкая» соответствует нормативному времени отключений потребителей, «средняя» связана с частыми мелкими или редкими крупными авариями, при котором время отключений больше, чем нормативное время, при значении «высокая» время отключений значительно больше, чем нормативное время.

Безопасность подсистемы потребления электроэнергии Азербайджана для долгосрочных периодов может находиться в диапазоне А – С.

В таблице 10 представлены риски и устойчивости для подсистемы воспроизводства основных фондов.

Таблица 10. Риски и устойчивости для подсистемы воспроизводства основных фондов

Риски	Устойчивости
Нехватка объема инвестиций	<ul style="list-style-type: none"> • Доля мощности вводимых генерирующих мощностей в общей установленной мощности • Доля вводимого электросетевого оборудования

Наиболее важными показателями подсистемы воспроизводства основных фондов являются доля мощности вводимых генерирующих мощностей (ДГМ) и доля вводимого электросетевого оборудования (ДЭО).

ДГМ за каждые 3 года <7% – низкий
 8–9% – средний
 >9,5% – высокий

ДЭО – за каждые 3 года <5 % – низкий
 6–8% – средний
 >8,5% – высокий

Безопасность подсистемы воспроизводства основных фондов может соответствовать группе А – С.

В таблице 11 показаны наиболее важные показатели подсистемы перспективного развития.

Таблица 11. Наиболее важные показатели подсистемы перспективного развития

Риски	Устойчивости
Прогнозируемый уровень потребности в установленной мощности	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимая величина пропускной способности межсистемных связей • Энергоемкость

Наиболее важными параметрами подсистемы перспективного развития являются резерв установленной мощности (РУМ), резерв пропускной способности межсистемных связей (РПС) и энергоемкость экономики. Резерв установленной мощности принимает следующие значения низкий – <10%, средний – 10-20%, высокий – >25%, для параметра резерв пропускной способности межсистемных связей низкий – <7%, средний – 10–15%, высокий – >20%. При сложившихся условиях энергоемкость экономики Азербайджана привязывается к среднемировому значению энергоемкости в следующих пропорциях: низкий – на 15%, средний – 20–40%, высокий – 50% больше среднемирового значения энергоемкости.

В таблице 12 представлены наиболее важные показатели составляющих подсистем электроэнергетики, их диапазоны значений.

Таблица 12. Наиболее важные показатели составляющих подсистем электроэнергетики

Название	Наиболее важные параметры	Значения диапазона		
		низкий	средний	высокий
Топливообеспечение электроэнергетики	ДМД ДПД	<30% <0,33	0,33-0,64	>80% >0,64
Производство электроэнергии	Выработка Резерв СИОО	<50% <15% <15%	60-80% 15-25% 15-30%	>90% >30% >40%
Передача и распределение электроэнергии	ИТ ИВЛ ССР	<25% <25% <40%	30-50% 30-50% 40-70%	>60% >60% >70%
Связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии	Импорт	<10%	10-30%	>50%
Потребление электроэнергии	ДДЭ УЭ	<1,5% <1%	2-4% 2-4%	>6% >6%
Воспроизводство основных фондов	ДГМ ДЭО	<7% <5%	8-9% 6-8%	>9,5% >8,5%
Перспективное развитие	РУМ РПС ЭЕ	<10% <7% >15%	10-20% 10-15% >20-40%	>25% >20% >50%

В четвертой главе рассматривается применение теории нечетких множеств к задачам электроэнергетической безопасности для краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных периодов где субъективизм эксперта переносится на самое начало оценки состояния индикаторов, а числовое значение электроэнергетической безопасности, получается, по нечеткому логическому выводу. Также произведена кластеризация состояний электроэнергетической безопасности Азербайджана для среднесрочных и долгосрочных периодов.

При исследовании задач электроэнергетической безопасности для краткосрочных периодов можно воспользоваться схемой, приведенной на рисунке 5.

Исследования показывают, что ограниченные штрих линиями участки, как показано на рисунке 5, возникают в силу как нечеткости значений индикаторов безопасности, так и их динамикой изменения. Для оценки безопасности вышеназванных подсистем используются разные количества слоев оценки и индикаторов. Индикаторы зачастую принимают диапазон значений с пересекающимися границами, а иногда вообще отдалены друг от друга, что вносит неоднозначность при определении безопасности по ним.

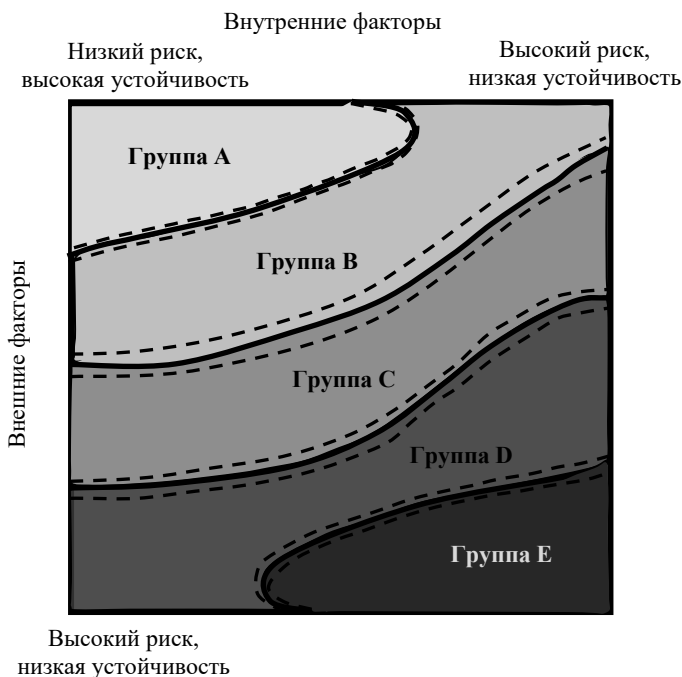


Рис. 5 Схема исследования энергетической безопасности

Для решения вопроса нечеткости значений индикаторов, учета динамики их изменений и получения количественного

значения безопасности на основе лингвистической информации можно воспользоваться положениями теории нечетких множеств и нечеткой логики.

Чтобы оценить уровень топливообеспеченности электроэнергетики нужно оценить топливообеспечение страны, нечеткий выход которого является одним из входов подсистемы топливообеспечения электроэнергетики.

Для этой подсистемы в таблице 13 приведены входные параметры подсистемы и их диапазоны изменения.

Таблица 13. Входные параметры подсистемы обеспечения природным газом

Обеспечения природным газом– <i>SNGS</i>			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
<i>DI</i> –зависимость от импорта	<10%	30–40%	>70%
<i>II</i> –инфраструктура импорта	>60%	30–60%	<30%
<i>RP</i> –разнообразие поставщиков	>60%	30–60%	<30%
<i>PQ</i> –мощность поставки из газохранилищ	<50%	50–100%	>100%

Безопасность всех подсистем оценивается по таблице 14, где показаны соответствия значения выхода в процентах к буквенным обозначениям.

Таблица 14. Оценка безопасности всех подсистем

Выход	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
	85–100	63–85	39–63	18–39	0–18

На рисунке 6 показана функция принадлежности выходного параметра для подсистемы обеспечение природным газом страны.

Нужно заметить, что для всех подсистем функция принадлежности выходного параметра является одинаковой.

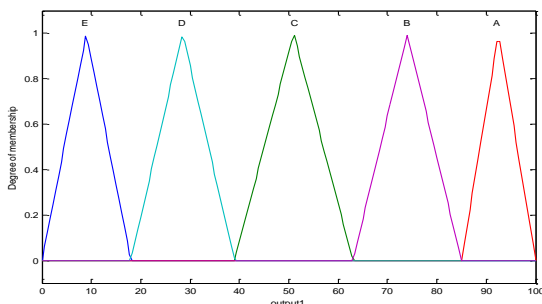


Рис. 6 Функция принадлежности выходного параметра для подсистемы обеспечения природным газом

Безопасность подсистемы Обеспечение природным газом страны для Азербайджана после дефаззификации выходной величины получается равной 92,5%, что четко соответствует уровню А.

Одним из входных величин подсистемы топливообеспечения электроэнергетики – PFE является выход подсистемы Обеспечение природным газом страны – SNGS. Другие два входа являются Разнообразие видов топлива и Диверсификация путей доставки, как показано в таблице 15.

Таблица 15. Входные параметры подсистемы топливообеспечения электроэнергетики

Топливообеспечение электроэнергетики–PFE			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
SNGS–выход подсистемы "обеспечение природным газом страны"	60–100%	40–60%	0–40%
VF–разнообразие видов топлива	>64%	33–64%	<33%
DPD–диверсификация путей доставки	>64%	33–64%	<33%

Если использовать текущие значения входных параметров подсистемы топливообеспечения электроэнергетики

Азербайджана и базу знаний, то безопасность этой подсистемы будет 74%, что соответствует В – "нормально".

Для оценки безопасности этой подсистемы наиболее важные индикаторы и их диапазоны значений представлены в таблице 16.

Таблица 16. Входные параметры подсистемы производства электроэнергии

Производство электроэнергии–EP			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
G–выработка электроэнергии собственными источниками	<80%	80–90%	>90%
R–уровень резерва	<15%	15–25%	>30%
CI–степень изношенности основного оборудования	<15%	15–30%	>40%
MP–маневренная и распределенная генерация	<15%	15–30%	>40%

После дефазификации выходного параметра безопасность этой подсистемы в Азербайджане при принятии входных параметров G – 100%, R – 20%, CI – 25%, MP – 25% окажется равной 72,8%, что также соответствует уровню "нормально".

Входные параметры для оценки безопасности этой подсистемы – TDE и их значения показаны в таблице 17.

Таблица 17. Входные параметры подсистемы передачи и распределения электроэнергии

Передача и распределение электроэнергии–TDE			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
WS–уровень износа подстанций	<25%	30–50%	>60%
WT–износ трансформаторов	<25%	30–50%	>60%
WL–износ воздушных линий	<25%	30–50%	>60%
SBR–степень сбалансированности регионов	<40%	40–70%	>70%

Рассчитав безопасность подсистемы Передача и распределение электроэнергии при значениях входных параметров $WS - 67\%$, $WT - 62\%$, $WL - 60\%$, $SBR - 60\%$ получим $28,5\%$, что соответствует уровню безопасности D – "плохо".

Входные параметры для оценки безопасности этой подсистемы–CEI и их значения показаны в таблице 18.

Таблица 18. Входные параметры подсистемы связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии

Связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии–CEI			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
LI–уровень импорта	<10%	10–30%	>50%
II–инфраструктура импорта	>64%	33–64%	<33%
RMC–резерв по пропускной способности межсистемных связей	<20%	20–40%	>50%

Безопасность подсистемы Связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии при значении входного параметра LI – $0,5\%$ получается $92,5\%$, что соответствует уровню безопасности A – "отлично".

Электроэнергетическая безопасность страны оценивается с помощью нечетких значений безопасности подсистем, составляющих электроэнергетику, как показано на рисунке 7.

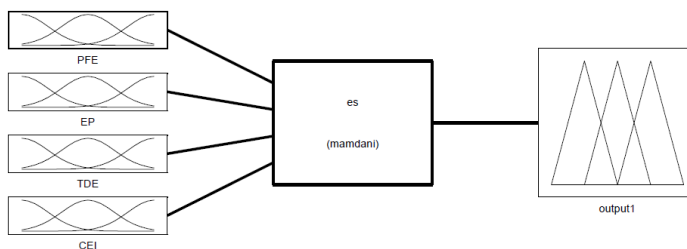


Рис.7 Вывод электроэнергетической безопасности

Входные величины системы оценки электроэнергетической безопасности и их значения показаны в таблице 19.

Таблица 19. Входные параметры электроэнергетической безопасности

Электроэнергетическая безопасность страны			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
<i>PFE</i> –Топливообеспечение электроэнергетики	0–39%	39–63%	63–100%
<i>EP</i> –Производство электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>TDE</i> –Передача и распределение электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>CEI</i> –Связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%

На рисунке 8 показаны функции принадлежности входов и выхода для оценки электроэнергетической безопасности.

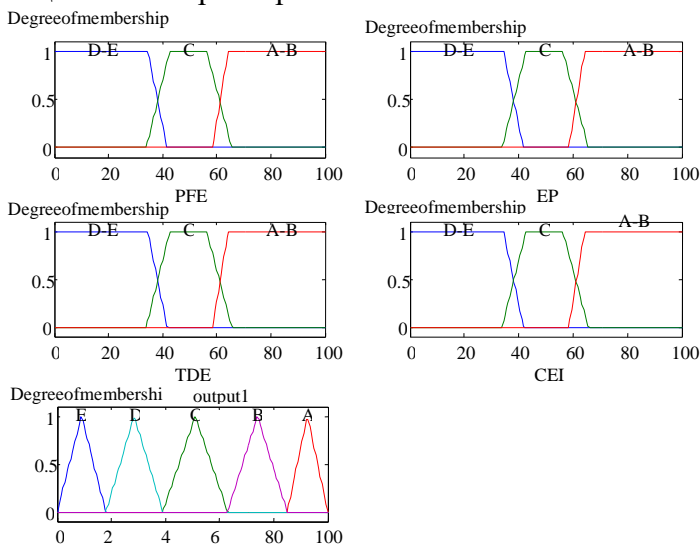


Рис.8 Функции принадлежности входов и выхода для оценки электроэнергетической безопасности

При полученных расчетных значениях безопасности подсистем электроэнергетики: Топливообеспечение электроэнергетики – 74%, Производство электроэнергии – 72,8%, Передача и распределение электроэнергии – 28,5%, Связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии – 92,5% электроэнергетическая безопасность Азербайджана на 2013 г. составила 74%, что соответствовало твердому значению "нормально", как показано на рисунке 9.

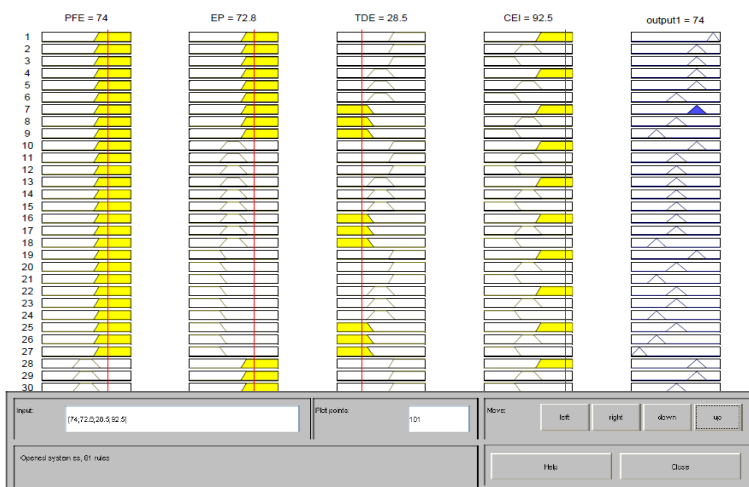


Рис. 9 Значения безопасности подсистем электроэнергетики и электроэнергетической безопасности

Подобные исследования электроэнергетической безопасности Азербайджана для краткосрочных периодов проведены для 2015, 2018 и 2019 гг, результаты которых представлены в таблице 20.

Таблица 20. Тенденции изменения электроэнергетической безопасности

	Топливообеспечение электроэнергетики, %	Производство электроэнергии, %	Передача и распределение электроэнер	Импорт электроэнергии, %	Результат, %

			гии, %		
2013	74	72.8	28.5	92.5	74
2015	74	65.3	27	92.5	72.5
2018	74	64	26	92.5	68.1
2019	74	65.2	28	92.5	72.1

Как видно из таблицы 20, значение электроэнергетической безопасности Азербайджана за последние годы меняется в соответствии изменения значений безопасности подсистем Производство электроэнергии и Передача и распределение электроэнергии.

Состояние электроэнергетической безопасности, начиная с 2013 г, постепенно ухудшалось в основном из-за увеличения износа генерирующего и электросетевого оборудования, что отразилось в системной аварии летом 2018 года. В результате проводимых масштабных реабилитационных работ электроэнергетическая безопасность в 2019 г. немного восстановилась.

При исследовании электроэнергетической безопасности для среднесрочных периодов электроэнергетика представляется совокупностью 5-и блоков, к четырем блокам добавляется блок потребления электроэнергии, а для долгосрочных периодов электроэнергетика представляется совокупностью 7 подсистем, к пяти первым подсистемам добавляются еще две подсистемы: подсистема воспроизводства основных фондов и подсистема перспективного развития.

Неопределенность и нечеткость значений индикаторов для среднесрочных и долгосрочных периодов еще больше проявляются т.к. если для краткосрочных периодов используются текущие значения индикаторов, то для среднесрочных и особенно для долгосрочных периодов значения индикаторов являются прогнозными значениями и поэтому являются не конкретными значениями, а диапазонами значений. Поэтому в отличие от краткосрочных периодов, когда функции принадлежности входных переменных (индикаторов) являлись трапециевидными функциями, для исследования

безопасности среднесрочных и особенно долгосрочных периодов функции принадлежности входных переменных являются более гладкими – функциями Гауссова.

Фаззификация, нечеткий логический вывод на основе нечеткой базы знаний и дефаззификация для определения электроэнергетической безопасности для среднесрочных и долгосрочных периодов осуществляется по схеме, представленной для краткосрочных периодов, при этом главными отличиями являются количество подсистем, функции принадлежности входных величин и их значения и базы знаний.

Безопасность подсистемы "Обеспечение природным газом страны" для Азербайджана после дефаззификации выходной величины для долгосрочных периодов, как и для среднесрочных и краткосрочных периодов, получается равной 92,5%, что четко соответствует уровню А.

Одним из входных величин подсистемы Топливообеспечения электроэнергетики – PFE является выход подсистемы Обеспечение природным газом страны – SNGS. Другими входами являются Разнообразие видов топлива, Доля морской добычи" и Диверсификация путей доставки, как показано в таблице 21.

Таблица 21. Входные параметры подсистемы топливообеспечения электроэнергетики

Топливообеспечение электроэнергетики–PFE			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
SNGS–выход подсистемы "обеспечение природным газом страны"	60–100%	40–60%	0–40%
VF–разнообразие видов топлива	>64%	33–64%	<33%
SOP– доля морской добычи	<30%	40–60%	>80%
DPD–диверсификация путей доставки	>64%	33–64%	<33%

Если использовать среднесрочные значения входных параметров подсистемы Топливообеспечения электроэнергетики Азербайджана (SNGS – 92,5, VF – 0,58, SOP – 80, DPD – 0,48) и базу знаний, то безопасность этой подсистемы будет 53,6%, что соответствует С – "неплохо".

Если использовать долгосрочные значения входных параметров подсистемы Топливообеспечения электроэнергетики Азербайджана, выраженные диапазонами значений (SNGS – 92,5, VF – 0,55–0,45, SOP – 82–80, DPD – 0,55–0,48) и базу знаний, то безопасность этой подсистемы будет в диапазоне 51,3–58,8%, что соответствует С – "неплохо".

Для оценки безопасности подсистемы производства электроэнергии для долгосрочных периодов наиболее важные индикаторы и их диапазоны значений представлены в таблице 22.

Таблица 22. Входные параметры подсистемы производства электроэнергии

Производство электроэнергии–EP			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
G–выработка электроэнергии собственными источниками	<80%	80–90%	>90%
R–уровень резерва	<15%	20–25%	>30%
CI–степень изношенности основного оборудования	<15%	15–30%	>40%

После дефазификации выходного параметра безопасность этой подсистемы для среднесрочных периодов в Азербайджане при принятии входных параметров G – 100%, R – 25%, CI – 21% окажется равной 63,8%, что соответствует уровню "нормально", а для долгосрочных периодов при принятии значений входных параметров G – 100%, R – 23–27%, CI – 25–21% окажется в диапазоне 62,9–64,3%, что почти соответствует уровню "нормально".

В таблице 23 показан фрагмент нечеткой базы знаний для оценки безопасности подсистемы "Передача и распределение электроэнергии".

Таблица 23. Фрагмент нечеткой базы знаний подсистемы передачи и распределения электроэнергии

№	WS	WT	WL	SBR	O
	L < 25 % M-30-50 % H > 60 %	H < 25% M- 30-50% L > 60 %	H < 25% M- 30-50% L > 60 %	H > 70 % M- 40-70% L < 40 %	
1	L	H	M	L	D
2	L	M	H	H	B
3	L	M	H	M	C
4	L	M	H	L	C
5	L	M	M	H	B

Для среднесрочных периодов безопасность подсистемы Передача и распределение электроэнергии при значениях входных параметров WS – 47%, WT – 45%, WL – 45%, SBR – 69% получим 69,3%, что соответствует уровню безопасности В – "нормально", а для долгосрочных периодов при значениях входных параметров WS – 49–45%, WT – 47–43%, WL – 47–43%, SBR – 70–75% получим диапазон значений 66,6–71,8%, что также строго соответствует уровню безопасности В – "нормально".

Для среднесрочных периодов безопасность подсистемы "вязи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии при значении входного параметра LI – 2%, II – 10%, RMC – 85% получается 90,1%, что соответствует уровню безопасности А – "отлично", а для долгосрочных периодов, учитывая то, что связи азербайджанской энергосистемы с соседними энергосистемами имеют достаточные потенциалы, безопасность этой подсистемы при значении входных параметров для LI – 3–2%, II – 15–10%, RMC – 60% получается в диапазоне 87,4–88%, что соответствует также уровню безопасности А – "отлично".

Входные параметры для оценки безопасности подсистемы потребление электроэнергии –ЕС и их значения показаны в таблице 24.

Таблица 24. Входные параметры подсистемы потребление электроэнергии

Потребление электроэнергии– <i>EC</i>			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
<i>DOO</i> – продолжительность отключений	< 24 ч.	40-80 ч.	> 100 ч.
<i>PAI</i> – доля среднедуш. дохода, затрачиваемого на оплату эл.эн.	< 1,5%	2-4%	>6%
<i>RDE</i> -относительное уменьшение потребления эл.эн. за счет энергосбережения	< 1%	2-4%	> 6%

Для среднесрочных периодов безопасность подсистемы Потребление электроэнергии при значении входных параметров *DOO* – 20 ч., *PAI* – 1,6%, *RDE*– 2% получается 75,6%, а для долгосрочных периодов при значении входных параметров *DOO* – 17–15 ч., *PAI* – 2,1–2%, *RDE* –1,5% получается в диапазоне 68,5–70,2%, что соответствует уровню безопасности В – "нормально" для обоих периодов.

Входные параметры для оценки безопасности этой подсистемы – *RFA* и их значения показаны в таблице 25.

Таблица 25.Входные параметры подсистемы воспроизводства основных фондов

Воспроизводства основных фондов– <i>RFA</i>			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
<i>DQM</i> – доля вводимых генерирующих мощностей за каждые 3 года	< 7	8-9	> 9,5
<i>DEO</i> – доля вводимого электрического оборудования за каждые 3 года	< 5	6-8	> 8,5

Безопасность подсистемы Воспроизводства основных фондов при значении входных параметров *DQM* – 9,3–9,5%., *DEO* – 8,3–8,5% получается в диапазоне 76,9–85,1%, что

соответствует верхнему уровню безопасности В – "нормально" и нижнему уровню безопасности А.

Входные параметры для оценки безопасности подсистемы перспективного развития – PD и их значения показаны в таблице 26.

Таблица 26. Входные параметры подсистемы перспективного развития

Перспективное развитие – PD			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
RG– резерв установленной мощности	< 10%	10-20%	> 25%
RW – резерв пропускной способности межсистемных связей	< 7%	10-15%	>20%
PC–энергоемкость	> 15%	20-40%	> 50%

Безопасность подсистемы перспективного развития при значении входных параметров RG – 25–27%, RW – 30%, PC– 19–17% получается в диапазоне 74,4–80,3%, что соответствует уровню безопасности В – "нормально".

Электроэнергетическая безопасность страны для среднесрочных периодов оценивается с помощью нечетких значений безопасности пяти подсистем, составляющих электроэнергетику для среднесрочных периодов, как показано на рисунке 10.

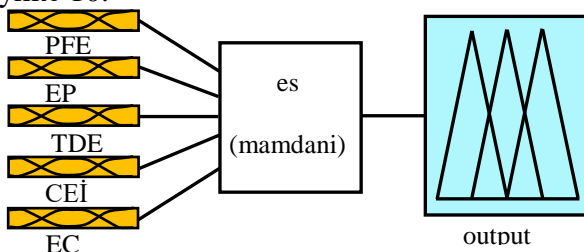


Рис. 10 Вывод электроэнергетической безопасности для среднесрочных периодов

Входные величины системы оценки электроэнергетической безопасности и их значения показаны в таблице 27.

Таблица 27. Входные параметры электроэнергетической безопасности

Электроэнергетическая безопасность страны			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
<i>PFE</i> –Топливообеспечение электроэнергетики	0–39%	39–63%	63–100%
<i>EP</i> –Производство электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>TDE</i> –Передача и распределение электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>CEI</i> –Связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>EC</i> –потребление электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%

На рисунке 11 показаны функции принадлежности входов и выхода для оценки электроэнергетической безопасности.

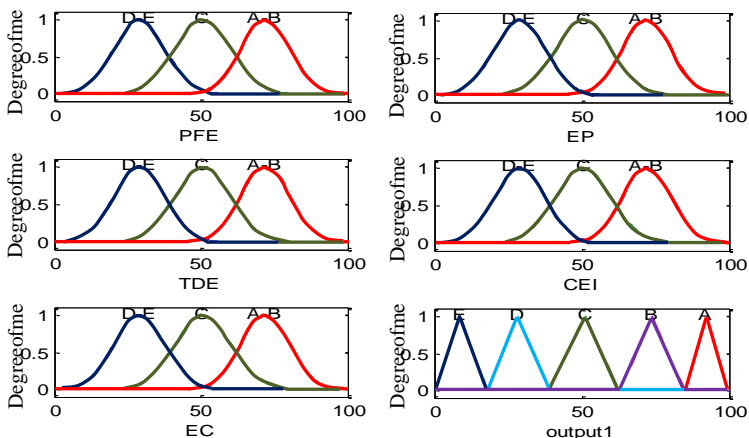


Рис. 11 Функции принадлежности входов и выхода для оценки электроэнергетической безопасности

При полученных расчетных значениях безопасности подсистем электроэнергетики: Топливообеспечение электроэнергетики – 53,6%, Производство электроэнергии – 63,8%, Передача и распределение электроэнергии – 69,3%, Связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии – 90,1%, Потребление электроэнергии – 75,6% электроэнергетическая безопасность Азербайджана составит 69,2%, что соответствует значению "нормально", как показано на рисунке 12.

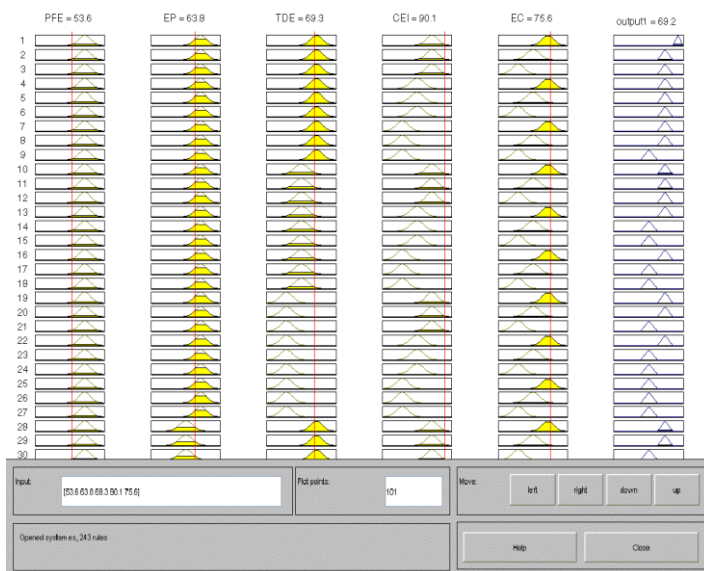


Рис. 12 Значения безопасности подсистем электроэнергетики и электроэнергетической безопасности

Энергетическая безопасность страны для долгосрочных периодов оценивается с помощью нечетких значений безопасности семи подсистем, составляющих электроэнергетику, как показано на рисунке 13.

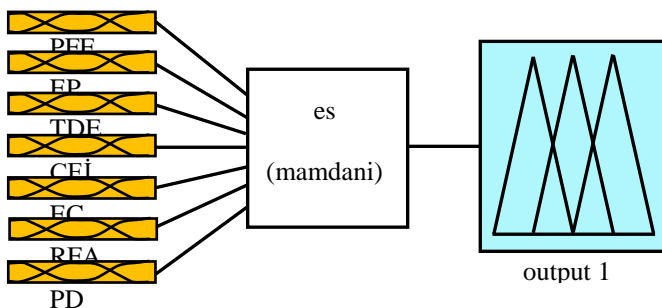


Рис. 13 Вывод электроэнергетической безопасности для долгосрочных периодов

Входные величины системы оценки электроэнергетической безопасности и их значения показаны в таблице 28.

Таблица 28. Входные параметры электроэнергетической безопасности

Электроэнергетическая безопасность страны			
Входные параметры	Значения термов		
	L–низкий	M–средний	H–высокий
<i>PFE</i> –топливообеспечение электроэнергетики	0–39%	39–63%	63–100%
<i>EP</i> –производство электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>TDE</i> –передача и распределение электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>CEI</i> –связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>EC</i> –потребление электроэнергии	0–39%	39–63%	63–100%
<i>RFA</i> –воспроизводства основных фондов	0–39%	39–63%	63–100%
<i>PD</i> –перспективное развитие	0–39%	39–63%	63–100%

На рисунке 14 показаны функции принадлежности входов и выхода для оценки электроэнергетической безопасности долгосрочных периодов.

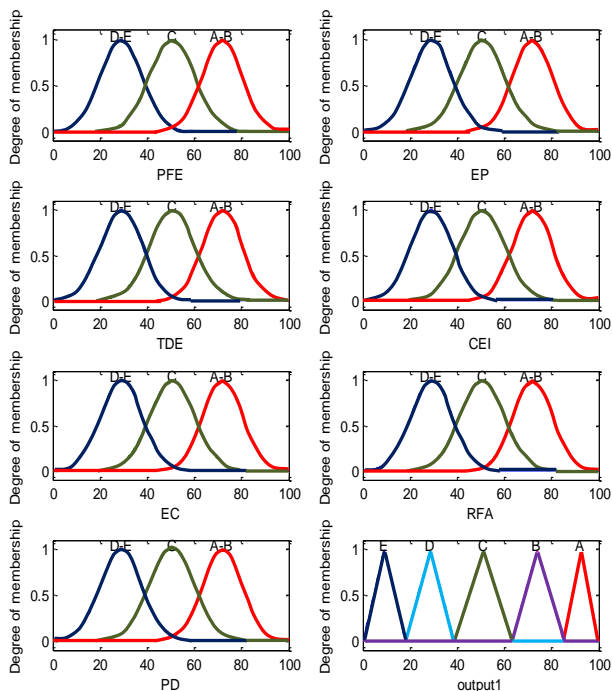


Рис. 14 Функции принадлежности входов и выхода для оценки электроэнергетической безопасности

При полученных расчетных значениях безопасности подсистем электроэнергетики для долгосрочных периодов: Топливообеспечение электроэнергетики – 51,3–58,8%, Производство электроэнергии – 62,9–64,3%, Передача и распределение электроэнергии – 66,6–71,8%, Связи с соседними энергосистемами и импорта электроэнергии – 87,4–88%, Потребление электроэнергии – 68,5–70,2%, Воспроизводства основных фондов – 76,9–85,1%, Перспективное развитие – 74,4–80,3%, электроэнергетическая безопасность Азербайджана составит 69,4–71,1%, что соответствует значению "нормально", как показано на рисунке 15.

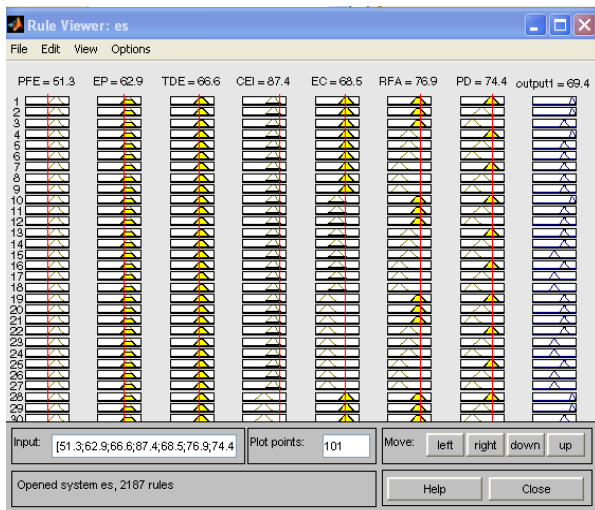


Рис. 15 Значения безопасности подсистем электроэнергетики и электроэнергетической безопасности

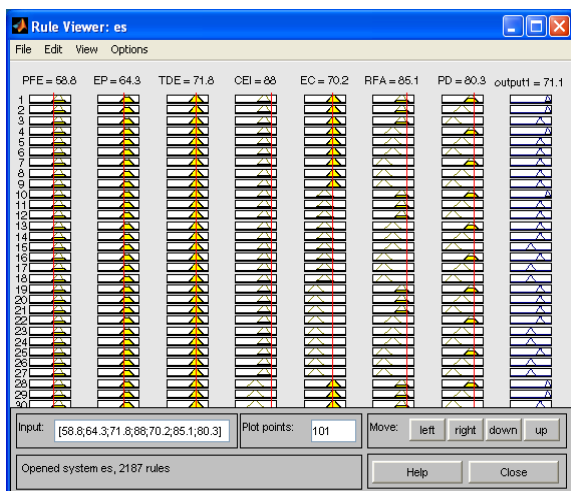


Рис. 16 Значения безопасности подсистем электроэнергетики и электроэнергетической безопасности

Как видно из рисунков 15-16, являясь функцией семи подсистем, электроэнергетическая безопасность для долгосрочных периодов показывает слабую восприимчивость к большим изменениям значений безопасности отдельных подсистем, что позволяет свести к минимуму влияния ошибок долгосрочного прогнозирования входных величин отдельных подсистем.

Электроэнергетическая безопасность для среднесрочных и долгосрочных периодов оценивается с помощью индикаторов, текущие и прогнозные значения которых представлены в таблице 29.

Таблица 29. Текущие и прогнозные значения индикаторов

Индикаторы подсистем	Текущие значения	Прогнозные значения на 2020 г.	Прогнозные значения на 2025 г.
<i>SNGS</i> –выход подсистемы "обеспечение природным газом страны", %	92,5	90-95	90-95
<i>VF</i> –разнообразии видов топлива	0,45	0,42-0,47	0,40-0,50
<i>SOP</i> – доля морской добычи, %	25	25-30	25-30
<i>DPD</i> –диверсификация путей доставки	0,45	0,42-0,47	0,35-0,45
<i>G</i> –выработка электроэнергии собственными источниками, %	100	100	100
<i>R</i> –уровень резерва, %	35	22-26	22-30
<i>CI</i> –степень изношенности основного оборудования, %	23	17-19	16-20
<i>WS</i> –уровень износа подстанций, %	66	36-40	35-42
<i>WT</i> –износ трансформаторов, %	65	30-35	30-35
<i>WL</i> –износ воздушных линий, %	60	53-56	50-60
<i>SBR</i> –степень сбалансированности регионов, %	65	70-75	70-80
<i>LI</i> –уровень импорта, %	0,1	0	0
<i>II</i> –инфраструктура импорта	0,32	0,32	0,32
<i>RMC</i> –резерв по пропускной способности межсистемных связей, %	>100	20-30	20-30
<i>DOO</i> – продолжительность	24	20	20

отключений, ч.			
<i>PAI</i> – доля среднедуш. дохода, затрачиваемого на оплату эл.эн., %	3	2-4	2-4
<i>RDE</i> -относительное уменьшение потребления эл.эн. за счет энергосбережения, %	2	2-3	2-4
<i>DQM</i> – доля вводимых генерирующих мощностей за каждые 3 года, %	8	8-9	8-10
<i>DEO</i> – доля вводимого электросетевого оборудования за каждые 3 года, %	7,3	7-8	7-9
<i>RG</i> – резерв установленной мощности, %	26	21-25	21-25
<i>RW</i> – резерв пропускной способности межсистемных связей, %	>20	20-30	20-30
<i>PC</i> -энергоемкость, т.н.э./тыс. долл.	0,32	0,29-0,31	0,27-0,29

Для получения функции зависимости результирующей электроэнергетической безопасности в функции безопасности подсистем электроэнергетики построена имитационная модель получения числовых значений (в процентах) электроэнергетической безопасности при различных вариациях входных величин (индикаторы для определения безопасности подсистем электроэнергетики). На основе полученных числовых значений электроэнергетической безопасности построены регрессионные зависимости (линейные и нелинейные) электроэнергетической безопасности для среднесрочных и долгосрочных периодов от безопасности подсистем электроэнергетики,

Используя построенную имитационную модель получения числовых значений электроэнергетической безопасности в зависимости от перспективных значений входных индикаторов, получен массив значений электроэнергетической безопасности Азербайджана для среднесрочных и долгосрочных периодов. Фрагмент массива из 9000 значений электроэнергетической

безопасности для среднесрочных периодов при случайных комбинациях входных индикаторов представлен в таблице 30.

Таблица 30. Значения электроэнергетической безопасности

№	Значения безопасности подсистем электроэнергетики					Электроэнергетическая безопасность
	1	2	3	4	5	6
1	95	17,08	15,51	17,79	10,62	30,92
2	95	11,72	10,92	10,01	16,36	28,83
3	95	13,94	13,20	14,42	17,17	29,30
4	95	18,57	18,26	26,01	29,36	32,30
5	95	48,73	40,60	44,02	39,54	43,58
6	95	33,59	19,88	18,41	22,14	37,36
7	95	30,08	20,09	22,67	18,22	38,23
8	95	23,71	21,50	33,38	27,51	39,94
9	95	18,66	38,47	28,88	38,87	40,79
10	95	19,25	23,84	24,00	28,34	40,15

Полученные значения электроэнергетической безопасности являются множеством данных, которые подлежат кластеризации.

По представленным методам осуществлена кластеризация состояний электроэнергетической безопасности для среднесрочных периодов, результаты которой приведены в таблице 31.

Таблица 31. Результаты кластеризации состояний электроэнергетической безопасности

	Центры кластеров				Радиус
	subclust				
subclust	30,83	46,076	69,683	90,214	0,25
fcm	29,774	43,207	68,664	89,891	

Результаты кластеризации состояний электроэнергетической безопасности для среднесрочных периодов показаны на рисунке 17.

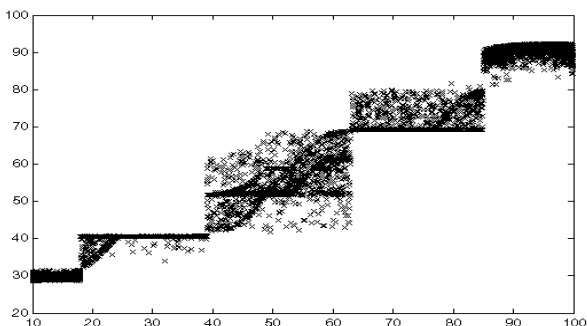


Рис. 17 Кластеры состояний электроэнергетической безопасности

Как видно из рисунка 17, состояние D - "плохо" и состояние A - "отлично" не так часто встречаются, как состояние B - "нормально". Наиболее часто встречаемое состояние электроэнергетической безопасности Азербайджана для среднесрочных и долгосрочных периодов относится к состоянию C - "неплохо".

В пятой главе рассматриваются методы прогнозирования развития электроэнергетики, перспектив уровня электроэнергетической безопасности и ее управление. Осуществлен прогноз развития электроэнергетики на среднесрочные и долгосрочные периоды, а также разработан метод управления электроэнергетической безопасностью Азербайджана для среднесрочных и долгосрочных периодов на основе нечеткого логического вывода.

Прогноз электропотребления можно осуществлять в трех основных направлениях: методы прогнозирования, основанные на потребности электроэнергии отдельных отраслей экономики, методы, основанные на развитии внутреннего валового продукта страны и методы, основанные на факторах, имеющих наибольшее влияние на электропотребление страны.

Для составления прогноза электропотребления по подсистемам экономики (промышленность; строительство; сельское хозяйство, охотничество и лесоводство; транспорт, амбарное хозяйство и связь; население; коммерческие и

общественные услуги), на основе ретроспективных данных об электропотреблении по подсистемам методом наименьших квадратов получены аппроксимирующие функциональные зависимости. Функциональные зависимости отраслей экономики в потребности электроэнергии показаны в таблице 32.

Таблица 32. Функциональные зависимости отраслей экономики в потребности электроэнергии

	Название зависимости	Функция
1. Промышленность	Полином	$y = 8,285x^{1,9} + 135,1x + 5960$
2. Строительство	Полином	$y = 2x^2 + 13,8x + 493$
3. Сель.хоз, охотнич. и лесов.	Линейная функция	$y = 17,45x + 878,7$
4. Транспорт, анбар хоз. и связи	Линейная функция	$y = 6,3x + 517,5$
5. Население	Линейная функция	$y = 250,3x + 6794$
6. Коммерция и общественные услуги	Степенная функция	$y = 4321e^{0,044x}$

На основе показанных зависимостей отраслей определены прогнозные значения электропотребления отраслей экономики и в целом по стране на 2030 г.

Одним из методов прогнозирования спроса на электроэнергию является метод прямого счета, основанный на технических условиях, выдаваемых новым потребителям.

Электропотребление подсекторов экономики имеет явно выраженный переменчивый характер. Поэтому их прогноз сопровождается большой погрешностью. В международной практике прогнозирования электропотребления одним из распространенных методов является метод использования коэффициента эластичности между изменениями ВВП и электропотребления.

Нужно заметить, что применяемый в международной практике метод прогнозирования электропотребления на основе ВВП для разных стран сопровождается разной погрешностью. Основной причиной этого является зависимость

электропотребления от структуры экономики. Для стран-экспортеров энергоресурсов на мировые рынки эта погрешность оказывается еще большей. Влияние объема ВВП нефтяного сектора на уровень электропотребления, как правило, слабое. Связь добычи нефти и природного газа, а также их транспортировка за рубеж с энергосистемой слабая.

Учитывая вышесказанное, обосновано использование комплексного экономико-математического метода прогнозирования электропотребления на основе компонент, формирующих спрос на электроэнергию. Этими компонентами являются ВВП нефтяного сектора, численность населения страны, технологический расход электроэнергии на производство, передачу и распределение электроэнергии и эффективность использования электроэнергии.

В таблице 33 представлен прогноз роста ВВП нефтяного сектора до 2030 г.

Таблица 33. Прогноз роста ВВП нефтяного сектора

	2018	2019	2020	2021	2022	2023-2030
ВВП нефтяного сектора, реальный темп роста, %	2,9	2,6	3,1	3,3	3,5	3,5

Прогноз электропотребления (энергопотребления) может быть выполнен по нижеследующему выражению:

$$E_t^{cem} = [e_t^{qn} * ВВП_t^{nn}] + [e_t^{eh} * N_t] + \Delta e_t = f(t) \quad (3)$$

Здесь E_t^{cem} - спрос на электроэнергию (энергию) в прогнозном году t ; e_t^{qn} - электроемкость (энергоемкость) нефтяного сектора в прогнозном году t ; $ВВП_t^{nn}$ - ВВП нефтяного сектора в прогнозном году t ; e_t^{eh} - норма расхода электроэнергии (энергии) населением в прогнозном году t ; N_t - численность населения в прогнозном году t ; $\Delta e_t = f(t)$ динамика

уменьшения технологического расхода электроэнергии (энергии).

Прогноз роста численности населения страны до 2030 года составлен на основе фактических статистических данных за 1990-2016 гг. и для 2018-2030 гг. рассчитывается по нижеследующей формуле:

$$N_t = 9 + 0,1t \text{ (млн.чел.)} \quad (4)$$

здесь, t- год прогноза.

Нужно заметить прогноз электропотребления, составленный по компонентам, формирующим спрос на электроэнергию имеет ровный характер и занимает срединное положение относительно других методов прогноза электропотребления. В таблице 34 представлены прогнозные значения электропотребления, полученные разными методами прогнозирования.

Таблица 34. Сравнение различных методов прогноза электропотребления

Метод	Прогноз электропотребления, млн.кВтч										
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Прямой метод	23213	23684	24082	24571	25100	25619	26219	26869	27529	28342	29163
По ретроспективным данным	25758	26743	27765	28826	29927	31071	32258	33491	34770	36099	37478
По подсекторам экономики	25683	26590	27531	28506	29516	30561	31642	32760	33915	35109	36341
По ВВП (по факторам)	23421	24146	24957	25804	26687	27609	28638	29714	30840	32018	33252

На основе сравнительного анализа представленных методов прогноза электропотребления выбран базовый вариант, представленный на рисунке 18.

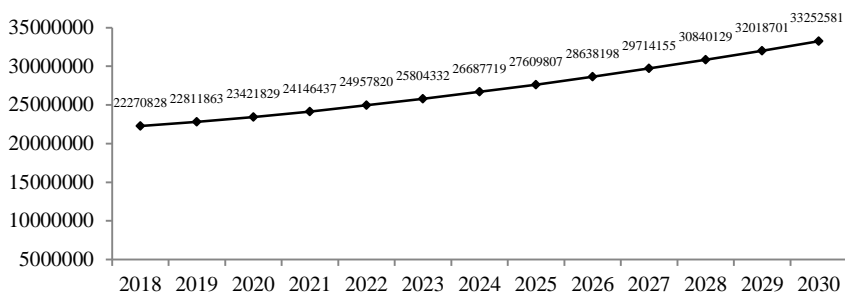


Рис. 18 Базовый вариант прогноза электропотребления, тыс. кВтч

В принятом базовом варианте прогноза электропотребления годовой рост электропотребления соответствует 3,4%, что с определенным коэффициентом эластичности соответствует росту нефтегазового сектора экономики. Прогноз электропотребления служит основой прогнозирования развития энергетических мощностей.

Задача прогнозирования развития энергетических мощностей является неотъемлемой частью задачи энергетической безопасности и решение всех остальных задач в той или иной степени зависит от решения этой ключевой задачи.

Прогнозируемая динамика мощности действующих электростанций существенно отличаются друг от друга в зависимости от типа электростанций.

Из-за продолжительного срока службы гидротехнических сооружений (более 100 лет) и их высокой доле в общей стоимости ГЭС (более 80%), ГЭС эксплуатируются длительное время и затраты на восстановление и замену устаревшего оборудования ГЭС небольшие. Поэтому мощности ГЭС Азербайджанской энергосистемы еще долгое время останутся в эксплуатации путем проведения мероприятий по продлению срока их эксплуатации.

Влияние на масштабы развития энергетических мощностей прогнозируемой потребности в установленной мощности рассматривается с учетом следующих основных компонентов:

- максимум нагрузки внутренних потребителей,
- экспорт (импорт) мощности,
- расчетный резерв мощности – этот резерв используется как для проведения капитальных ремонтов, так и при непредвиденном увеличении электропотребления,
- ограничения и неиспользование мощности ТЭС и ГЭС в период прохождения максимума нагрузки.

Неправильный выбор структуры современных мощностей может привести к следующим угрозам энергетической безопасности: технологические ограничения выработки электроэнергии в ночные провалы зимних дней, недоиспользование системных эффектов параллельной работы энергосистем, неэкономичное использование мощности электрических станций, недопоставка электроэнергии потребителям и т.д.

Из всех перечисленных факторов на структуры современных энергетических мощностей наибольшее влияние оказывает размеры зон суточного графика нагрузки. Анализ зон пиковой, маневренной и базовой частей графиков нагрузки Азербайджанской энергосистемы показывает, что соотношение зон составляет 3:20:77. Это соотношение характеризует потребность в соответствующих мощностях.

Другим важным фактором является технические возможности использования различных типов генерации в суточном графике. При этом исследуется график зимних и (или) летних рабочих суток, соответствующий периоду максимальных нагрузок (годовой максимум). Для этого же дня проверяются требования к использованию мощностей в часы годового максимума (вечернего) и разгрузки в ночное время:

На рисунке 19 показан переход от суточного графика нагрузки к годовому графику электропотребления для Азербайджанской энергосистемы:

1-ая зона показывает число часов использования пиковой мощности и объем пиковой энергии в году,

2-ая зона показывает объем энергии в году, соответствующий маневренной мощности, 3-ья зона показывает объем базисной энергии в году.

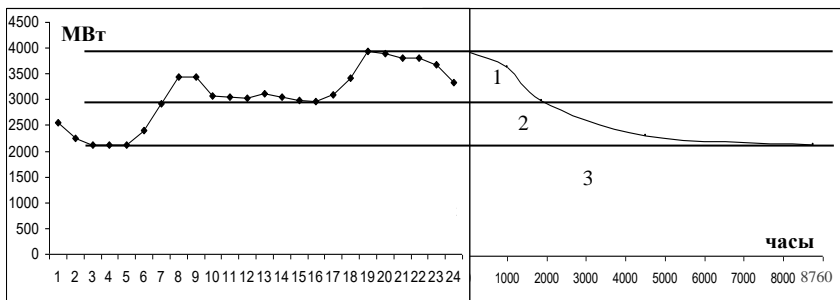


Рис.19 Схема перехода суточного графика нагрузки к годовому графику электропотребления

В соответствии с этими зонами соотношения объемов энергии оказываются похожими с соотношениями мощностей 3:20:77.

В соответствии с базовым вариантом прогноза электропотребления сформированы требования к установленной мощности, пиковой мощности и резервной мощности за соответствующий период (2030 г).

Для получения управляющего функционала электроэнергетической безопасности с помощью нечеткого логического вывода смоделированы различные модели зависимости выходного значения электробезопасности от значений безопасности подсистем электроэнергетики.

База знаний для нечеткого логического вывода ориентирован на срединные значения входных величин, при этом насколько изменится выходная величина (числовое значение) при тех или иных значениях входных величин отличных от срединных значений каждый раз нужно расчетным путем определять и при этом неясно степень влияния входных величин на результирующую безопасность. Другими словами, нужно определить весовые коэффициенты входных

величин в результирующей безопасности. Это позволяет определить наибольший влияющий фактор на уровень безопасности, что приобретает особую важность при определении и управлении безопасностью для среднесрочных и долгосрочных периодов.

Электроэнергетическая безопасность оценивается с помощью уровней безопасности подсистем электроэнергетики, которые в свою очередь оцениваются посредством определяющих индикаторов, как показано на рисунке 20.

Индикаторы подсистем	Безопасность подсистем электроэнергетик и	Электроэнергетическая безопасность для разных временных периодов		
<i>SNGS</i> –выход подсистемы "обеспечение природным газом страны" <i>VF</i> –разнообразии видов топлива <i>SOP</i> – доля морской добычи <i>DPD</i> –диверсификация путей доставки	Топливообеспечение электроэнергетики - PFE	Краткосрочная безопасность	Среднесрочная безопасность	Долгосрочная безопасность
<i>G</i> –выработка электроэнергии собственными источниками <i>R</i> –уровень резерва <i>CI</i> –степень изношенности основного оборудования	Производство электроэнергии - EP			
<i>WS</i> –уровень износа подстанций <i>WT</i> –износ трансформаторов <i>WL</i> –износ воздушных линий <i>SBR</i> –степень сбалансированности регионов	Передача и распределение электроэнергии - TDE			
<i>LI</i> –уровень импорта <i>II</i> –инфраструктура импорта <i>RMC</i> –резерв по пропускной способности межсистемных связей	Связи с соседними энергосистемами импорта электроэнергии - CEI			

<i>DOO</i> – продолжительность отключений	Потребление электроэнергии - EC		
<i>PAI</i> – доля среднедуш. дохода, затрачиваемого на оплату эл.эн.			
<i>RDE</i> -относительное уменьшение потребления эл.эн. за счет энергосбережения			
<i>DQM</i> – доля вводимых генерирующих мощностей за каждые 3 года	Воспроизводства основных фондов - RFA		
<i>DEO</i> – доля вводимого электросетевого оборудования за каждые 3 года			
<i>RG</i> – резерв установленной мощности	Перспективное развитие - PD		
<i>RW</i> – резерв пропускной способности межсистемных связей			
<i>PC</i> -энергоемкость			

Рис. 20 Индикаторы энергетической безопасности

Для задач электроэнергетической безопасности нечеткая модель типа Мамдани, реализованная в пакете Fuzzy Logic Toolbox программы Matlab, является предпочтительней.

Используя вышеизложенное, построена модель нечеткого вывода для оценки безопасности каждой подсистемы электроэнергетики в отдельности и на их основе-результатирующая электроэнергетическая безопасность.

Для получения функции зависимости результирующей электроэнергетической безопасности в функции безопасности подсистем электроэнергетики построена имитационная модель получения числовых значений (в процентах) электроэнергетической безопасности при различных вариациях входных величин (индикаторы для определения безопасности подсистем электроэнергетики). На основе полученных числовых значений электроэнергетической безопасности построены

регрессионные зависимости (линейные и нелинейные) электроэнергетической безопасности для среднесрочных и долгосрочных периодов от безопасности подсистем электроэнергетики, как показано в уравнениях (5-9).

Электроэнергетическая безопасность для среднесрочных периодов - U_{cc}

Модель 1: Линейная модель

$$U_{cc} = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 \quad (5)$$

Модель 2: Линейная модель

$$U_{cc} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 \quad (6)$$

Модель 3: Нелинейная модель

$$U_{cc} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_1X_2 + a_7X_1X_3 + a_8X_1X_4 + a_9X_1X_5 + a_{10}X_2X_3 + a_{11}X_2X_4 + a_{13}X_2X_5 + a_{14}X_3X_4 + a_{15}X_3X_5 + a_{16}X_4X_5 + a_{17}X_1^2 + a_{18}X_2^2 + a_{19}X_3^2 + a_{20}X_4^2 + a_{21}X_5^2 \quad (7)$$

Электроэнергетическая безопасность для долгосрочных периодов - U_{dc}

Модель 4: Линейная модель

$$U_{dc} = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + a_7X_7 \quad (8)$$

Модель 5: Линейная модель

$$U_{dc} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + a_7X_7 \quad (9)$$

Для обеспечения электроэнергетической безопасности для среднесрочных и, особенно для долгосрочных периодов нужно в первую очередь контролировать, и, если необходимо, корректировать уровень безопасности подсистем производства электроэнергии собственными источниками, топливообеспечения электроэнергетики и передачи и распределения электроэнергии.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Основные результаты настоящей диссертационной работы следующие.

1. Для оценки энергетической безопасности разработана и реализована трехуровневая система исследования энергобезопасности выбором и контролем соответствующих индикаторов: энергетическая безопасность и экономическая

безопасность; собственно энергетическая безопасность; безопасность подсистем энергетики, в том числе электроэнергетики.

2. Основным методом исследования энергетической безопасности является метод индикативного анализа, при этом взаимовлияниями индикаторов, как правило, пренебрегают. Показано, что индикаторы имеют взаимовлияния, и если для краткосрочных периодов ими можно пренебречь, то для среднесрочных и особенно для долгосрочных периодов, неучет взаимовлияний индикаторов может привести к существенным погрешностям при оценке энергетической безопасности.

3. Разработан метод учета взаимовлияний индикаторов энергетической безопасности для долгосрочных периодов, определены весовые коэффициенты индикаторов в энергетической безопасности с учетом тенденции изменений самих индикаторов.

4. Энергетическая безопасность является подсистемой двух более высоких систем: энергетической устойчивости и энергетической эффективности. Показано, что для энергетически независимых стран задачи энергетической устойчивости и энергетической эффективности необходимо объединить выбором соответствующих индикаторов.

5. Разработан метод оценки устойчивого и эффективного функционирования энергетики, основанный на объединении соответствующих энергетических треугольников. Определены индикаторы, их пороговые значения и на их основе определены условия устойчивого и эффективного функционирования энергетики Азербайджана.

6. Разработаны методы и алгоритмы исследования энергетической безопасности с учетом нечеткости, неопределенности индикаторов энергетической безопасности, числовые значения энергетической безопасности получены на базе теории нечеткого логического вывода, где учитываются взаимозависимость и взаимовлияние, как индикаторов, так и подсистем.

7. Разработаны модели и методы исследования энергетической безопасности на уровне отдельных систем энергетики, в частности электроэнергетики для разных временных периодов.

8. Впервые дано определение электроэнергетической безопасности. Определены индикаторы и их тенденции изменения, разработаны алгоритмы, методы для исследования электроэнергетической безопасности для разных временных периодов.

9. Установлено, что электроэнергетическая безопасность для краткосрочных периодов является суммой безопасности четырех подсистем энергетики, для среднесрочных режимом пяти подсистем, а для долгосрочных периодов она является суммой безопасности семи подсистем энергетики.

10. Впервые получены функционалы электроэнергетической безопасности, с помощью которых можно определить текущее состояние электроэнергетической безопасности и управлять ее состоянием для повышения уровня безопасности.

11. Для обеспечения электроэнергетической безопасности для среднесрочных и, особенно для долгосрочных периодов нужно в первую очередь контролировать, и если необходимо, корректировать уровень безопасности подсистем производства электроэнергии собственными источниками, топливообеспечения электроэнергетики и передачи и распределения электроэнергии.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Статьи опубликованные в рецензируемых научных изданиях по перечню ВАК

1. Yusifbeyli N.A., Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Factors affecting the scale and pattern of generation capacity expansion and Azerbaijan's energy security // The Caucasus & globalization, CA & CC Press, Sweden, Vol. 4, issue 1-2, 2010. pp. 117–123

2. Yusifbəyli N.A., Nəşibov V.X., Əlizadə R.R. Elektroenergetikanın inkişafının bəzi məsələləri // Bakı, Az ET və LAEİ-nin Elmi Əsərlər Toplusu, 2010, s. 17-31

3. Yusifbəyli N.A., Nəşibov V.X., Əlizadə R.R. Enerji təhlükəsizliyinə ümumi yanaşma // Bakı, Az ET və LAEİ-nin Elmi Əsərlər Toplusu, 2010, s. 32-43

4. Yusifbəyli N.A., Nəşibov V.X., Əlizadə R.R. Azərbaycan Respublikası şəraitində enerji təhlükəsizliyinin xarakterik xüsusiyyətlərinin bəzi məsələləri // Bakı, Az ET və LAEİ-nin Elmi Əsərlər Toplusu, 2011, s. 13-26

5. Nəşibov V.X. Enerji təhlükəsizliyinin tədqiq olunmasının bəzi məsələləri // Bakı, Energetikanın problemləri, №4, 2011, s. 18-24.

6. Yusifbəyli N.A., Nəşibov V.X., Əlizadə R.R. Enerjisistemin texniki-iqtisadi, ekoloji göstəriciləri və enerji təhlükəsizliyinin bəzi məsələləri // Bakı, Az ET və LAEİ-nin Elmi Əsərlər Toplusu, 2012, s. 6-15

7. Насибов В.Х. Некоторые вопросы регулирования частоты в энергосистеме в свете современных требований // Bakı, Energetikanın problemləri, № 2, 2012, c. 35-40

8. Yusifbəyli N.A., Nəşibov V.X., Əlizadə R.R. Qısa müddətlər üçün enerji təhlükəsizliyinin tədqiq olunma metodikası // Bakı, Az ET və LAEİ-nin Elmi Əsərlər Toplusu, 2012, s. 22-35

9. Nəşibov, V.X. Enerji təhlükəsizliyinin təsir göstərən faktorların qarşılıqlı əlaqə tənlikləri üzrə tədqiq olunması // Bakı, Energetikanın problemləri, №1, 2013, s. 13-24

10. Yusifbəyli N.A., Nəşibov V.X. Azərbaycan Respublikasında enerji fəaliyyəti arxitekturasının effektivliyi indeksinin qiymətləndirilməsi // Bakı, Energetikanın problemləri, №4, 2013, s. 28-35

11. Yusifbayli N.A., Nasibov V.Kh. Energy sustainability index of Azerbaijan and the potentials of its improvement // Electroenergetics, electrotechnics, electromechanics + control, Baku, Vol. 4, No 4, 2013, p. 13-23

12. Юсифбейли Н.А., Насибов В.Х. Модели исследования электроэнергетической безопасности Азербайджана // Институт

энергетической стратегии, научный, общественно-деловой журнал «Энергетическая политика», Москва, №3, 2013, стр.50-59.

13.Nasibov V.Kh. Application of the fuzzy-set theory to the tasks of Azerbaijan electroenergetics security for short-term periods // Journal is registered in the library of the US congress, USA, Vol 9 № 4(35), 2014, p. 37-50

14.Насибов В.Х. Оценка энергетической безопасности Азербайджанской республики с учетом влияния тенденции изменения индикаторов // Энергетика, №1, 2014, с. 25–33

15.Насибов В.Х. Модели исследования электроэнергетической безопасности для среднесрочного и долгосрочного периодов // Национальная Академия Наук Белоруси "Вести", №1, 2014, стр. 90-99

16.Насибов В.Х. Некоторые аспекты определения эффективности архитектуры функционирования энергетики // Проблемы энергетики, 2014, №3, с. 36–43

17.Yusifbəyli N.A., Nəsirov V.X., Əlizadə R.R. Azərbaycanın enerji təhlükəsizliyi indikatorlarının tərkibinin və qiymətlərinin dəyişmə tendensiyaları // Az ET və LAEİ-nin Elmi Əsərlər Toplusu, Bakı, 2014, s. 19-32.

18.Yusifbəyli N.A., Nəsirov V.X., Əlizadə R.R. Azərbaycanın enerji təhlükəsizliyi indikatorunun tərkibinin və qiymətlərinin dəyişmə tendensiyaları // Az ET və LAEİ-nin Elmi Əsərlər Toplusu, Bakı, 2014, s. 19-32

19.Насибов В.Х. Определение электроэнергетической безопасности Азербайджана для среднесрочных периодов на основе нечеткого логического вывода // Вестник Фонда фундаментальных исследований, №1/15, 2015, с. 51–67

20.Nəsirov V.X., Səlimova A.K., Əlizadə R.R. Azərbaycan Respublikasında elektrik enerjisinə tələbatın proqnozlaşdırmasının bəzi məsələləri // Bakı, Energetikanın problemləri, №1, 2015, s. 23-34

21.Mikhalevich A.A., Nasibov, V.Kh. Energy policy of the former soviet union republics by the example of Belarus and

Azerbaijan // Journal of International Scientific Publications, Materials, Methods & Technologies, Volume 9, 2015, pp. 109-122

22. Nasibov V.Kh. Determination of Azerbaijan electric power industry security for long-term periods on the basis of fuzzy deduction // Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS), Berlin, Vol. 2 Issue 3, March - 2016, pp. 363-373

23. Nasibov V.Kh. Clustering of states of Azerbaijan electric power industry's security for medium-term and long-term periods // EJERS, European Journal of Engineering Research and Science, Geneva, Switzerland, Vol. 1, No. 2, August 2016, pp. 14-17

24. Насибов В.Х. Управление электроэнергетической безопасностью Азербайджана для среднесрочных и долгосрочных периодов на основе нечеткого логического вывода // Электро, № 6, 2016, с. 22-28

25. Юсифбейли Н.А., Рабчук В.И., Гусейнов А.М., Насибов В.Х. и др. Энергетическая безопасность прикаспийских регионов России и Азербайджана: анализ проблем и пути обеспечения // Москва, Энергетическая политика, Выпуск 6, 2018, с. 108-117

26. Сендеров С.М., Юсифбейли Н.А., Рабчук В.И., Насибов В.Х. и др. Геополитика на шельфе Каспия и её влияние на добычу Азербайджана // Энергетическая политика, № 1(143), 2020, с. 52-59

Статьи, опубликованные в зарубежных изданиях, входящих в Web of Science и Scopus

27. Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Models of electric power industry security study for medium-term periods // 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, TECIS 2018, 13-15th September 2018 Baku, Azerbaijan, Volume 51, Issue 31, pp. 405-409

28. Nasibov V.Kh. Sustainability and efficiency of Azerbaijan energy performance and the potentials of their improvement // 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, TECIS 2018, 13-15th September 2018 Baku, Azerbaijan, Volume 51, Issue 31, pp. 575-579

29.S.M. Senderov, N.A. Yusifbeyli, V.I. Rabchuk, A.M. Huseynov, V.Kh. Nasibov and oth. Modern problems of energy security of the Caspian regions of Russia and Azerbaijan // International Conference Green Energy and Smart Grids (GESG 2018), Volume 69, 2018

30.S.M. Senderov, N.A. Yusifbeyli, V.I. Rabchuk, A.M. Huseynov, V.Kh. Nasibov and oth. Geopolitical features of energy security in the Caspian regions of Russia and Azerbaijan // Geopolitics of Energy, 41(1), 2019, pp. 5-12

31.S.M. Senderov, N.A. Yusifbeyli, V.I. Rabchuk, V.Kh. Nasibov and oth. Analysis of Geopolitical Factors During Development of Oil and Gas Shelf of the Caspian Sea by Azerbaijan // Geopolitics of Energy, 42, Issue 1, January 2020, pp. 13-19,

32.Yusifbayli N.A., Nasibov V.Kh. Trends in Azerbaijan's Electricity Security for Short-term Periods // 14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020, Baku, Azerbaijan, pp 565-571

33.Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Comparative analysis of trend of change of Azerbaijan's energy sector functioning stability at the current development stage // High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020 (HSTED-2020), Volume 178, 2020 7-11 September 2020, Irkutsk, Russia

34.Yusifbayli N.A., Nasibov V.Kh. Comparative analysis of Azerbaijan's energy sector efficiency trend at the current development stage // ENERGY-21 – Sustainable Development & Smart Management, Volume 209, 2020, Irkutsk, Russia.

35.Yusifbayli N.A., Huseynov A.M., Nasibov V.Kh., Alizade R.R., Garadagi A.E. Analysis of the state of regime reliability of the Azerbaijan power system in the conditions of development and expansion of intersystem communications // Rudenko International Conference “Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems” (RSES 2021), Volzhsky, Russia, p. 030002-1–030002-7

36.Yusifbayli N.A., Huseynov A.M., Nasibov V.Kh., Alizade R.R., Suleymanov K.A. Strategy of provision of energy security of Azerbaijan under conditions of peculiarities and intensive

development of the electric power system // Rudenko International Conference “Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems” (RSES 2021), Volzhsky, Russia, p. 020001-1–020001-8

37. Yusifbayli N.A., Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Determination of electroenergetics security of Azerbaijan for medium-term period based on fuzzy inference // ICAFS-2021

38. Yusifbayli N.A., Nasibov V.Kh. Some problems of energy security in the context of widespread use of RES // SOCAR Proceedings, Renewable energy, Issue No. 1, 2022, Baku, Azerbaijan

Статьи, опубликованные в других изданиях

39. Yusifbayli N.A., Nasibov V.Kh. Some factors features, influencing the scales and structure of new generating capacities development in Azerbaijan // ICTPE-2010 6-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 14-16 September, 2010, Tebriz, Iran, p. 642-645.

40. Юсифбейли Н.А., Насибов В.Х. Модели исследования электроэнергетической безопасности Азербайджана // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, Выпуск 63 «Проблемы надежности систем энергетики в рыночных условиях», Баку, 2013, с. 176–186

41. Nasibov V.Kh. The structural analysis of power engineering for energy security study, ICTPE-2012 8-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 5-7 September, 2012, Norway, p. 99-101

42. Юсифбейли Н.А., Насибов В.Х. Модели исследования электроэнергетической безопасности для среднесрочного и долгосрочного периода // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, Выпуск 64 «Надежность систем энергетики: достижение, проблемы, перспективы», Россия, г. Иркутск, 2014, с. 17–30

43. Насибов В.Х., Ализаде Р.Р., Ибрагимов Ф. Ш. Применение теории нечетких множеств к задачам электроэнергетической безопасности Азербайджана для краткосрочных периодов // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, Выпуск

65 «Надежность либерализованных систем энергетики», Иркутск, Россия, 2015, с. 457–470

44. Юсифбейли Н.А., Насибов В.Х. Динамика векторов индикаторов индекса эффективности архитектуры функционирования энергетики Азербайджанской Республики // ERRA, 13-ая конференция по инвестициям и регулированию энергетики, 27-28 октября 2014, Баку

45. Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Inductors change tendency over time and their influence on estimation of energy security in Azerbaijan // ICTPE-2014 10-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 7-8 September, Baku, Azerbaijan, p. 186-189

46. Юсифбейли Н.А., Насибов В.Х. Определение индекса эффективности архитектуры функционирования энергетики Азербайджана // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, Выпуск 65, «Надежность либерализованных систем энергетики», 2015, Иркутск, Россия, с. 446-456

47. Насибов В.Х., Ализаде Р.Р. Устойчивое и эффективное развитие энергетики Азербайджана и потенциалы его улучшения // X Международная Научно-Практическая Конференция: «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия». Россия, г. Новосибирск, 2015, 3(10), с. 115–122

48. Huseynov A.F., Yusifbeyli N.A., Nasibov V.Kh. Operational–medium-term forecast of electrical energy consumption based on the regional modeling approach // The 5th International Conference on Control and optimization with industrial applications (COIA), 27-29 August 2015, Baku, Azerbaijan, pp. 335-338

49. Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Characteristics of energy sustainability index of Azerbaijan // ICTPE-2015 11-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 10-12 September, Bucharest, Romania, pp. 67-71

50. Nəsimov, V.X., Səlimova, A.K., Əlizadə, R.R. Elektrik enerjisinə tələbatın proqnozlaşdırılması // "Energetikanın müasir

elmi-texniki və tətbiqi problemləri" mövzusunda beynəlxalq elmi konfrans, Sumqayıt, 27-28 oktyabr, 2015

51.Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Some electric power security problems of Azerbaijan at fuzziness the information // ICTPE-2016 12-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 7-9 September, 2016, Bilbao, Spain, pp. 72-77

52.Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Some problems of clustering of states of Azerbaijan electric power industry's security // ICTPE-2017 13-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 21-23 September, 2017, Van, Turkish, pp. 159-162

53.Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Indicators of electric power industry security of Azerbaijan for medium-term periods // ICTPE-2018 14-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 15-17 October, 2018, Nakhchivan, Azerbaijan, pp. 59-62

54.Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Application of the fuzzy-set theory to the tasks of Azerbaijan electroenergetics security for short-term periods // ICTPE-2019 15-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, 14-15 October, 2019, Istanbul, Turkey, pp. 22-26

55.Насибов В.Х., Ализаде Р.Р. Сравнительный анализ тенденции изменения устойчивости и эффективности функционирования энергетики Азербайджана // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, Выпуск 71, «Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации», 2020, Иркутск, Россия, стр. 90-99

56.Юсифбейли Н.А., Гусейнов А.М., Насибов В.Х., Ализаде Р.Р. Стратегия обеспечения энергетической безопасности Азербайджана в условиях особенностей и интенсивного развития электроэнергетической системы // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, Выпуск 72, книга 1, «Надежность систем энергетики в условиях их цифровой трансформации», 2021, Волжский, Россия, стр. 23-32

57. Юсифбейли Н.А., Гусейнов А.М., Насибов В.Х., Ализаде Р.Р. Анализ состояния режимной надежности Азербайджанской энергосистемы в условиях развития и расширения межсистемных связей // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, Выпуск 72, книга 1, «Надежность систем энергетики в условиях их цифровой трансформации», 2021, Волжский, Россия, стр. 89-98

58. Nəşibov, V.X., Əlizadə, R.R. Bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişaf perspektivləri və onların enerji sisteminə inteqrasiya problemləri // “Energetika ixtisasları üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri” II Respublika elmi konfransı, Sumqayıt, 25-26 noyabr, 2021, s. 12-17.

59. Yusifbayli N.A., Nasibov V.Kh., Alizade R.R. Chalanges of integration of RES in power system of Azerbaijan // “Machine-building and Energy: New Concepts and Technologies” International Scientific-practical Conference, December 2-3, 2021, Baku, Azerbaijan.

Личный вклад автора

Работы [5,7,9,13-16,19,22-24,28,41], приведенные в списке научных трудов по докторской диссертации, написаны лично автором. В работах [1-4,6,8,10-12,17-18,20,21,25-27,29-40,42-59], написанных в соавторстве, постановка научной проблемы, пути и методы ее решения принадлежат автору.

Защита диссертации состоится 12 января 2024-го года в 16:00 на заседании Диссертационного совета ЕД 2.04, действующего на базе Азербайджанского Технического Университета.

Адрес: AZ1073, г. Баку, пр. Гусейн Джавида, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанского Технического Университета.

Электронная версия диссертации и автореферата размещена на официальном сайте Азербайджанского Технического Университета.

Автореферат разослан по _____ 2023 года.

Подписано в печать:

Формат бумаги: А5

Объём: 91252

Тираж: 70