

ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПАТТЕРНОВ

Мячин А. Л.¹

*(Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва; ФГБУН Институт
проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)*

Прокофьев В. Н.², Степанов А. А.³

*(Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва)*

Работа посвящена применению порядково-фиксированной и порядково-инвариантной паттерн-кластеризаций для исследования структурной схожести энергетического сектора в регионах Российской Федерации за пятилетний период. Методы анализа паттернов в работе обусловлены независимостью конечных результатов от разности в абсолютных значениях показателей и возможностью объединения регионов, близких по структуре (на основе рассматриваемых показателей). Выбор порядково-инвариантной паттерн-кластеризации обусловлен как эндогенным определением не только состава каждого паттерна, но их количества, так и отсутствием необходимости выбора первоначальной последовательности изучаемых показателей, к которой чувствительны некоторые методы анализа паттернов. Исследование проведено на основе таких показателей, как: снижение уровня потерь электроэнергии в сетях, электровооруженность труда работников, объемы произведенной электроэнергии, удельных расход топлива, стоимость услуг по технологическому присоединению, а также количество фактических подключений. В результате исследования изучены особенности энергетического развития отдельно взятых субъектов. Получены паттерны развития, отражающие схожесть внутренней структуры данных. Построены динамические траектории развития и выделены группы субъектов, придерживающиеся постоянной стратегии из года в год. Приведенные результаты могут быть учтены при разработке государственной политики в области энергоэффективности.

Ключевые слова: паттерн, анализ паттернов, энергетическая устойчивость, кластерный анализ.

¹ Алексей Леонидович Мячин, к.т.н. (amyachin@hse.ru).

² Вадим Николаевич Прокофьев, к.ф.н. (vprokofiev@hse.ru).

³ Александр Андреевич Степанов, студент (aastepanov_3@edu.hse.ru).

1. Введение

Устойчивость энергетического развития российского государства определяется его способностью в полном объеме удовлетворять возникающие потребности в энергии и энергоносителях на внутреннем и внешнем рынке. Стабильное энергетическое развитие должно соотноситься с принципами энергосбережения и энергоэффективности, закрепленными в «Энергетической стратегии России на период до 2035 года» [21].

В настоящий момент энергетический сектор РФ характеризуется наличием достаточно серьезных проблем, ограничивающих дальнейший рост его эффективности. Одной из них является замедление спроса на энергию. На внутреннем рынке это вызвано снижающимися темпами роста экономической активности населения, на внешнем – трендом, связанным с усилением энергетической автономности. Снижение общего уровня энергоэффективности также обуславливается высокой степенью изношенности основных фондов и производственных мощностей. Это, в свою очередь, обнажает проблему серьезного технологического отставания от развитых стран и высокого уровня зависимости от импорта их оборудования [21]. Данные проблемы усугубляются неоднородностью социально-экономического и технико-технологического развития отдельно взятых субъектов страны, что создает дополнительные сложности для проведения эффективных реформ.

Для определения структурных различий и оценки устойчивости траекторий развития энергетического сектора предлагается использовать методы статического и динамического анализа паттернов. Результаты анализа могут быть использованы для формирования эффективной энергетической политики государства, учитывающей региональные энергетические особенности.

Различные методы анализа паттернов успешно применялись при изучении разных областей, как исключительно теоретических, так и практических. Эффективность их применения наглядно демонстрируется в работах по макроэкономике [23], банковскому сектору [22], финансовой устойчивости [3, 5] и изучению региональных особенностей в области науки и образования [1].

В основе методов анализа паттернов лежит простая идея: разбиение всех объектов исследуемого множества на непересекающиеся подмножества на основе системы показателей, значения которых могут меняться с течением времени. Разумеется, данная формулировка схожа с задачей кластерного анализа. Однако отличие состоит в принципе объединения исследуемых объектов в группы: при использовании методов анализа паттернов объединяются именно структурно близкие объекты (несмотря на возможные существенные различия в абсолютных значениях). Именно данная особенность преимущественно обуславливает использование методов анализа паттернов, поскольку некоторые субъекты РФ существенно отличаются друг от друга как по площади, так и по численности населения, что, разумеется, может находить свое отражение в серьезном разбросе значений отдельных показателей. Значительным преимуществом является также способность методов анализа паттернов эндогенно формировать группы объектов, характеризующиеся однородной структурой. Такой подход позволяет избежать неточностей, связанных с ошибочным определением начального числа паттернов.

Таким образом, использование данного подхода в исследовании позволит выявить основные структурные особенности энергетического сектора регионов РФ, а применение динамического анализа паттернов – оценить устойчивость их траекторий развития с течением времени.

2. Исследование энергетической отрасли

2.1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР: ОБЗОР

Стабильное функционирование энергетической отрасли становится основой для планового социально-экономического развития государства. К основным задачам отрасли относятся жизнеобеспечение и создание необходимых условий для поддержания производственного потенциала страны. Устойчивое энергетическое развитие является одним из главных факторов, определяющих перспективы роста ВРП отдельных субъектов РФ и, как следствие, ВВП всего государства.

Для поддержания конкурентоспособности экономики России была разработана программа [9], преследующая цели по реализации потенциала энергосбережения и повышению общего уровня энергоэффективности за счет рационального использования ресурсов и технико-технологической трансформации как генерирующих, так и потребляющих электроэнергию предприятий.

Под «энергоэффективностью» принято понимать экономически обоснованное и технически возможное качество использования энергоресурсов и энергии в текущих технологических условиях [10, с. 148].

Одной из проблем достижения устойчивого роста энергоэффективности является высокий уровень энергоемкости – величины потребляемой энергии, затрачиваемой на реализацию основных процессов, связанных с производством и потреблением экономических благ [11]. Постоянно растущий уровень потребления электроэнергии и соответствующий износ основных фондовкратно увеличивают энергоемкость произведённых товаров, выполненных работ и оказанных услуг, что ограничивает устойчивое энергетическое развитие.

Существует ряд исследований, концентрирующихся на изучении проблемы энергетической эффективности с помощью методов кластерного анализа [24, 26].

Например, в [26] авторы изучают модели потребления энергии различными предприятиями. Используя метод кластерного анализа *k-means*, специалисты разбивают все исследуемые объекты по разным группам таким образом, чтобы находящиеся в одном кластере характеризовались схожими моделями энергопотребления.

Изучение производственных циклов промышленных предприятий с использованием методов кластеризации позволило создать модель для оценки энергоэффективности и оптимизации процессов производства сложной и энергоемкой нефтехимической отрасли [24].

В [15] исследовался уровень энергоэффективности регионов РФ. В результате проведенного иерархического кластерного анализа по четырем показателям было выделено четыре группы объектов. Авторы показывают, что большинство регионов РФ при-

надлежат кластерам с высоким уровнем энергоемкости, что свидетельствует о низкой энергоэффективности экономики страны в целом.

Попытка разбиения регионов по группам с учетом их энергоэффективности была предпринята в [14] на основе кластеризация методом Варда. В результате анализа трех показателей все объекты были разбиты на три кластера, включающие в себя регионы с высокой, средней и низкой энергоемкостью соответственно.

Все перечисленные работы описывают процедуру разбиения объектов на основе их абсолютных значений показателей. Такой подход исключает возможность объединения в одну группу разномасштабных объектов, характеризующихся структурной схожестью. Кроме того, упомянутые исследования проводились в статике, т.е. за один конкретный год, что не позволяет делать выводы о тенденциях и закономерностях развития региональной энергетики, происходящих во времени.

Метод анализа паттернов помогает сформировать структурно схожие объединения, успешно справляясь с проблемой абсолютных значений показателей. В свою очередь, проведение динамического анализа паттернов предполагает построение траекторий развития каждого изучаемого объекта и оценку степени изменчивости этих траекторий во времени. Результаты анализа дают основания делать выводы об уровне устойчивости развития отдельно взятого объекта.

2.2. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БАЗОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Для проведения процедуры анализа паттернов необходимо сформировать систему базовых показателей, которая будет удовлетворять определенному набору требований. Прежде всего необходимо удостовериться, что выбранные показатели четко определены и измеримы. Достижение объективных и точных результатов анализа возможно только при использовании достоверных данных, имеющих минимальную погрешность измерения. Стоит отметить, что необходимо использовать полную информацию об объекте исследования. Такой подход исключает любые пропуски данных.

Система базовых показателей формировалась на основе индикаторов, значимость которых подтверждается релевантными статьями, описывающими основные характеристики энергетической отрасли: докладом «Электроэнергетика России: Основные показатели функционирования и тенденции развития» [25] и государственной программой «Развитие энергетики» [9]. Для проведения исследования использовалась информация, предоставленная Федеральной службой государственной статистики. Агрегированные данные, характеризующие состояние энергетического сектора в каждом субъекте РФ, удовлетворяют всем перечисленным выше стандартам качества.

Уровень потерь электроэнергии в сетях является одним из наиболее важных индикаторов, отражающих эффективность работы электросетевых компаний. Эксперты утверждают, что производственные мощности электрогенерирующих компаний более чем на половину выработали свой срок службы, а степень износа электрических сетей в настоящий момент подходит к своей критической точке. Попытки увеличения объемов генерации электроэнергии в текущих условиях могут привести к драматическим последствиям [8]. Учитывая актуальность данной проблемы, было принято решение рассмотреть показатель уровня снижения потерь электроэнергии в сетях, рассчитывающийся как разность отношений величины потерь к общему объему отпущенной электроэнергии текущего и предыдущего годов.

Другим важным индикатором является стоимость услуг по технологическому присоединению к объектам электросетевого хозяйства для устройств, принимающих энергию свыше 150 кВт, рассчитанная в тысячах рублей. Кроме того, необходимо учитывать фактическое количество подключений таких объектов к электрическим сетям. Рост числа подключений энергопринимающих устройств свыше 150 кВт, сопровождающийся невысокой совокупной стоимостью присоединений, может свидетельствовать об эффективном процессе формирования производственной базы с минимальными технологическими затратами [12].

Объемы произведенной и потребленной электроэнергии – следующие два показателя, необходимые к рассмотрению. Их можно считать основополагающими индикаторами, характеризующими

ющими общее состояние энергетического сектора [7]. В настоящее время функционирование любого предприятия требует электроэнергии. Таким образом, генерирующие ее компании становятся неотъемлемой частью всего производственного процесса. В свою очередь, количество потребленной электроэнергии в условиях низкого уровня ее потерь в сетях во многом определяет возможные темпы роста производимых товаров и оказываемых услуг [19].

Еще одним немаловажным показателем является электровооруженность труда работников. Индикатор измеряется в киловатт-часах и рассчитывается как отношение совокупного объема электроэнергии, использованного на производстве, к фактически отработанным человеко-часам [6]. Повышение показателя электровооруженности труда может свидетельствовать о росте производительности и автоматизации труда, что обеспечивает устойчивое развитие социально-экономическое развитие и способствует достижению научно-технического прогресса [13].

Удельный расход условного топлива на отпущенную электроэнергию – последний показатель, определяющий степень технологического состояния генерирующих электричество предприятий. Чем ниже значения данного показателя, тем меньшие издержки несет электростанция. Эффективное использование ресурсов говорит о ее высокой конкурентоспособности [20].

Для проведения динамического анализа паттернов необходимо иметь количественные данные по всем показателям за исследуемый промежуток времени. В связи с этим было принято решение рассмотреть временной интервал равный пяти годам: с 2012 по 2016 г.

На этапе первичной статистической обработки данных необходимо удостовериться, что выбранные показатели не являются взаимосвязанными. Наличие взаимосвязи или ее отсутствие предлагается доказывать, основываясь на результатах корреляционного анализа. Показатели с высоким значением коэффициента корреляции должны быть исключены из базовой системы показателей. Использование двух взаимосвязанных показателей не даст существенной пользы при описании результатов из-за очевидного соотношения между ними.

Все изучаемые индикаторы представлены количественными шкалами, что позволяет использовать коэффициент корреляции Пирсона. Коэффициент принимает значения от -1 до 1 . Чем ближе значение коэффициента к границам диапазона, тем сильнее линейная взаимосвязь между переменными.

Недостатком данного метода корреляционного анализа является его неустойчивость к выбросам – экстремальным значениям, существенно выделяющимся из общей выборки. В связи с чем предлагается исключить объекты, характеризующиеся аномальными значениями.

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра и Тюменская область характеризуются крайне высокими объемами производства и потребления электроэнергии. Уровень снижения потерь электроэнергии в сетях принимает аномально низкие значения в Ингушетии и Дагестане. Рассматривая показатель электрооборуженности труда работников невозможно не отметить экстремально высокие значения по республике Хакасия. Северная Осетия-Алания и Карачаево-Черкесская, Кабардино-Балкарская республики характеризуются низким удельным расходом топлива. Стоимость услуг по технологическому присоединению значительно отклоняется от общей выборки в таких субъектах, как Москва, Московская область и Санкт-Петербург. Наконец, Красноярский край, Орловская и Самарская области далеко оторвались в лидеры по общему числу подключений к объектам электросетевого хозяйства.

Выбросы способны формировать уникальные паттерны, в связи с чем все исключенные объекты будут рассмотрены в отдельной главе.

В результате проведенного корреляционного анализа за пятилетний промежуток времени была выявлена лишь одна пара линейно взаимосвязанных показателей. Для показателей, характеризующих объемы произведенной и потребленной электроэнергии, коэффициент корреляции Пирсона принимает значения выше $0,75$. Исходя из этого предлагается исключить показатель «объем потребленной электроэнергии» из базовой системы показателей.

Для обеспечения однородности и сопоставимости показателей необходимо нормировать их значения. Процедура нормирования будет реализована по методу линейного масштабирования.

3. Анализ паттернов: методология, основанная на парном сравнении показателей

Понятие «паттерн» широко используется в различных областях знаний. В [18] под паттерном «понимается такая комбинация определённых с точностью до погрешности значений некоторого подмножества признаков, что объекты с этими значениями достаточно сильно отличаются от других объектов». В свою очередь, в [4, с. 9] паттерн определяют в качестве комбинации качественно похожих признаков.

Основная задача методов анализа паттернов заключается в выделении качественно схожих объектов и их объединении в уникальные группы. В этом плане поставленная задача весьма схожа с алгоритмами классификации и кластеризации данных. Однако в данном случае отсутствует тестовая выборка (как и количество предполагаемых групп, а также их типичные представители), как при классификации данных, а также результат не зависит от разности в абсолютных значениях показателей (как при использовании большинства методов кластерного анализа). К примеру, объекты с показателями (10, 5, 10) и (100, 50, 100) при использовании методов анализа паттернов должны быть объединены в единую группу, поскольку, несмотря на существенные отличия в абсолютных значениях, схожи по структуре данных.

Визуализация результатов анализа паттернов, как правило, осуществляется в системе параллельных координат, состоящей из вертикальных осей, число которых соответствует общему числу изучаемых показателей. На данных осях точками отмечаются определенные значения показателей для отдельно взятого объекта. Затем точки соединяются отрезками, образуя кусочно-линейные функции, характеризующие отдельные объекты [16].

Порядково-фиксированная паттерн-кластеризация – один из методов анализа паттернов, работа которого строится на парном сравнении показателей. Отличительная особенность порядково-

фиксированной паттерн-кластеризации заключается в использовании только одной заранее заданной последовательности показателей. Кратко рассмотрим алгоритм работы данного метода.

Предположим, что имеется некоторое множество объектов X , которое содержит в себе k элементов. Каждый объект множества $x_i \in X$ характеризуется набором m показателей и может быть представлен в виде вектора $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij})$, где x_{ij} – значение i -го объекта по показателю j . Кроме того, каждый объект множества X может быть описан последовательностью символов $r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^{m-1}$, которая будет учитывать характер парных отношений между соседними показателями. Данная последовательность определяется следующими формулами:

- (1) $r_i^j = 1$ при $x_{ij} < x_{ij+1}$,
- (2) $r_i^j = 0$ при $x_{ij} = x_{ij+1}$,
- (3) $r_i^j = 2$ при $x_{ij} > x_{ij+1}$.

Процедура разбиения множества объектов X по отдельным группам предлагается осуществлять, основываясь на результатах оценки меры близости позиционных кодов, сформированных на основе последовательностей символов $r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^{m-1}$ каждого отдельно взятого объекта. В данном случае для оценки близости используется расстояние Хемминга. Объекты можно объединить в одну группу, если расстояние между ними равно нулю. Подробнее, данная методология описана в [16].

Другой метода анализ паттернов, основанный на парном сравнении показателей, называется порядково-инвариантная паттерн-кластеризация. Данный метод основан на формировании полного взвешенного ориентированного графа, ребра которого отражают значения парных сравнений показателей. Подобное представление позволяет учитывать все возможные парные сравнения (по формулам (1)–(3)) между показателями. Подробно методология описана в [16–17].

Программы по реализации обоих методов были написаны с помощью языка программирования Python.

4. Анализ паттернов энергетического развития регионов РФ в статике

Как сказано выше, для наглядности визуализация результатов, полученных в ходе применения методов анализа паттернов, осуществляется в системе параллельных координат. Необходимо представить объекты исследования в форме кусочно-линейных функций с вершинами, находящимися на вертикальных осях. На каждой оси, характеризующей изучаемые показатели, откладываются их количественные (в данном случае предварительно нормированные) значения, после чего соседние значения соединяются отрезками.

В результате реализации порядково-фиксированной и порядково-инвариантной паттерн-кластеризаций для всех объектов на пятилетнем промежутке времени удалось получить 16 уникальных паттернов. Каждый паттерн характеризуется индивидуальной структурой данных, свойственной только для включенных в него объектов. Паттерн состоит из множества объектов – регионов Российской Федерации, обладающих схожей структурой развития энергетического сектора в определенный период времени.

Рассмотрим несколько наиболее крупных групп объектов, а также два паттерна, описывающих выбросы. Первый паттерн является самым большим и включает в себя 162 объекта. Он характеризуется достаточно широким разбросом значений по первому показателю и низкими (менее 0,3) значениями электропроизводительности труда и стоимости услуг по технологическому присоединению. Большинство объектов находятся на невысоком (менее 0,5) уровне по объемам произведенной электроэнергии и количеству фактических подключений. Что касается значений показателя удельного расхода топлива на отпущенную электроэнергию, то они концентрируются в диапазоне между 0,2 и 0,8.

Второй паттерн включает в себя 142 объекта. В данном случае можно обнаружить некоторые сходства с паттерном, представленном выше. Однако главное различие между первым и вторым паттерном развития можно заметить при рассмотрении показателя «объемы произведенной электроэнергии». В отличие от

первого паттерна второе объединение объектов характеризуется крайне низкими (менее 0,2) значениями показателя.

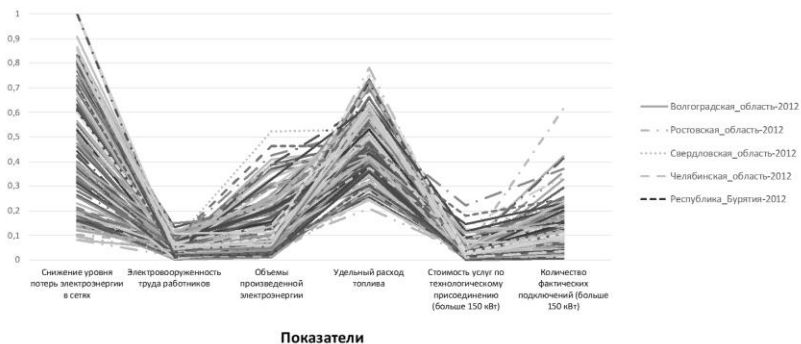


Рис. 1. Кусочно-линейные функции, описывающие объекты паттерна №1

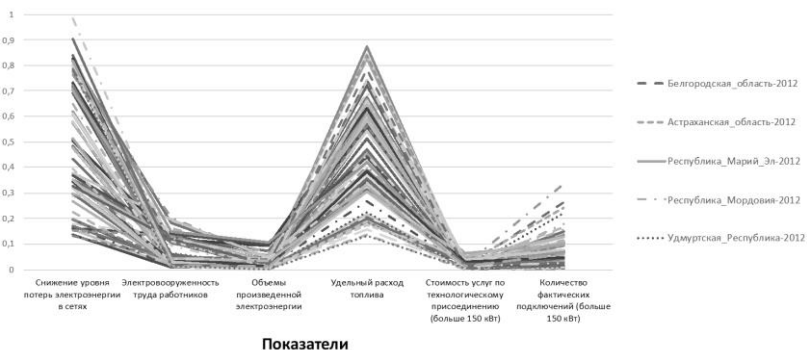


Рис. 2. Кусочно-линейные функции, описывающие объекты паттерна №2

Объекты, которые характеризуются крайне высокими или, наоборот, чрезвычайно низкими значениями по отдельным показателям, определяются как выбросы. Стоит отметить, что такие объекты часто образуют уникальные паттерны. Рассмотрим два субъекта РФ: Московскую область и город федерального значения Санкт-Петербург (рис. 3 и рис. 4 соответственно) и паттерны, к которым они относятся. Оба паттерна характеризуются крайне

низкими (менее 0,1) значениями электровооруженности труда. Объемы произведенной электроэнергии и удельный расход топлива расположены в диапазоне от 0,1 до 0,3. Стоимость услуг по технологическому присоединению преимущественно демонстрирует растущую динамику для обоих паттернов.

Можно заметить, что рисунки схожи между собой, однако ключевое различие, которое сразу бросается в глаза, связано со значениями показателя числа фактических подключений к объектам электросетевого хозяйства. Московская область в четырёх из рассматриваемых пяти лет существенно превосходила Санкт-Петербург по данному показателю.

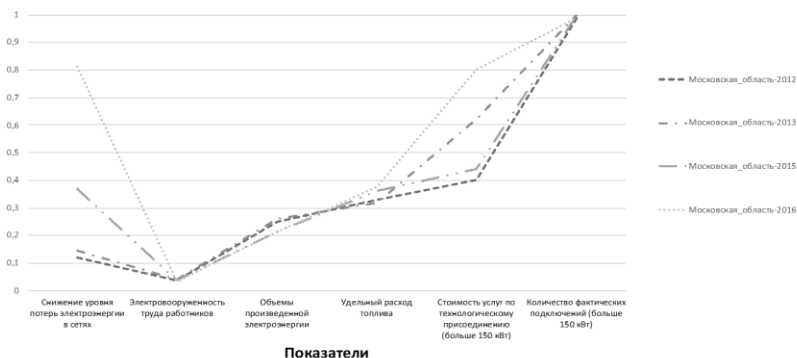


Рис. 3. Кусочно-линейные функции, описывающие объекты паттерна №3

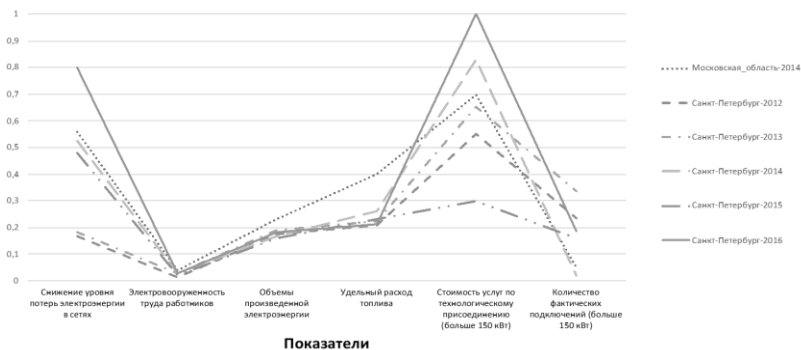


Рис. 4. Кусочно-линейные функции, описывающие объекты паттерна №4

5. Результаты динамического анализа паттернов

Динамический анализ паттернов основывается на построении «траекторий развития» для каждого рассматриваемого объекта. В данном случае нам необходимо понять, к какому паттерну энергетического развития относился регион в определенный момент времени.

Основная идея динамического анализа паттернов заключается в распределении объектов анализа по отдельным динамическим группам в соответствии с устойчивостью их принадлежности к одному и тому же паттерну. Принято выделять следующие категории устойчивости: абсолютно устойчивые, устойчивые, полуустойчивые, неустойчивые и абсолютно неустойчивые [2, с. 8].

В результате проведенного анализа удалось определить группу абсолютно устойчивых регионов. Она состоит из 30 субъектов РФ, которые ни разу не сменили паттерн своего энергетического развития за пятилетний промежуток времени.

Большинство регионов, которые попали в группу абсолютно устойчивых объектов, принадлежат первому и второму паттерну. Первый паттерн включает в себя 16 объектов, а второй – 11. Кроме того, абсолютно устойчивыми являются следующие регионы: г. Москва, г. Санкт-Петербург и республика Хакасия (рис. 5).

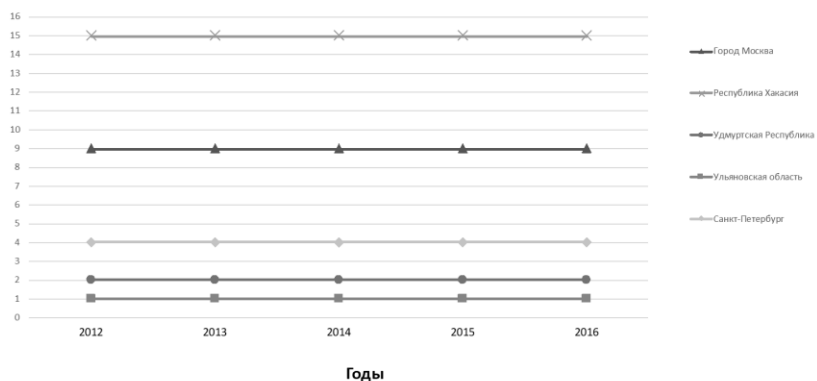


Рис. 5. Группы «абсолютно устойчивых» регионов РФ

Группа абсолютно неустойчивых объектов состоит из пяти субъектов РФ. Данные регионы меняли принадлежность паттерну каждый год в течение пяти лет: Архангельская обл., Иркутская обл., Краснодарский край, Красноярский край и Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.

Результаты динамического анализа паттернов отражают тенденции развития энергетического сектора в Российской Федерации. Методы анализа паттернов не определяют причины, которые влияют на смену отдельными субъектами РФ паттернов своего энергетического развития, но описывают фактическое положение дел в исследуемой отрасли. Траектории развития отдельных субъектов РФ, полученные в ходе анализа, могут сигнализировать о наличии каких-либо проблем или, наоборот, улучшений в состоянии энергетического сектора субъектов РФ.

Республика Хакасия относится к группе абсолютно устойчивых объектов. На всем пятилетнем промежутке данный субъект РФ принадлежит паттерну №15 (рис. 6).

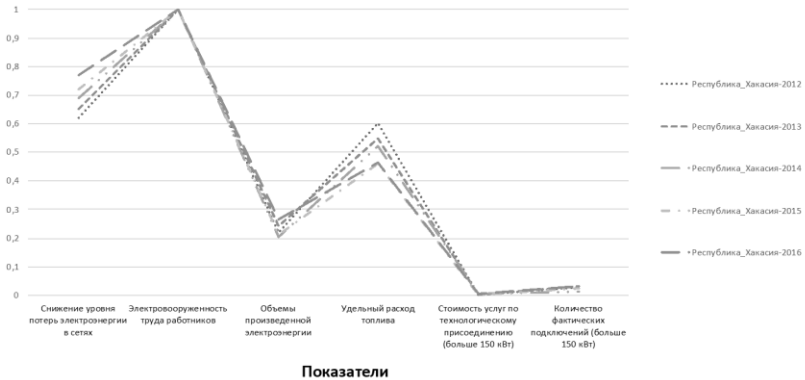


Рис. 6. Кусочно-линейные функции, описывающие объекты паттерна №15

Паттерн характеризуется достаточно высокими значениями первого показателя (более 0,6) и самыми высокими значениями электровооруженности труда среди всех регионов страны. Объекты находятся на крайне низком (менее 0,1) уровне по количе-

ству фактических подключений и стоимости услуг по технологическому присоединению. Объемы произведенной электроэнергии концентрируются в диапазоне между 0,2 и 0,3. Что касается значений показателя удельного расхода топлива на отпущенную электроэнергию, то они находятся на среднем уровне (от 0,4 до 0,6).

Стоит отметить, что республика Хакасия демонстрирует стабильное энергетическое развитие на рассматриваемом промежутке времени. В течение пяти лет регион характеризовался одними из самых высоких темпов снижения уровня потерь электроэнергии в сетях. Кроме того, наблюдаются улучшения в значениях показателя удельного расхода топлива. С каждым годом динамика данного показателя улучшалась, что свидетельствует о повышении энергоэффективности в регионе.

Устойчивость региона может рассматриваться с двух точек зрения: стабильное развитие или, напротив, деградация. Это зависит от того, какому паттерну принадлежит объект в каждый период времени. Так, если в регионе проводится эффективная энергетическая политика, значения ключевых показателей будут улучшаться. В свою очередь, следование неправильной политике в области энергетического развития найдет свое отражение в ухудшающейся или неменяющейся динамике значений показателей энергоэффективности и принадлежности объектов соответствующим паттернам.

6. Заключение

Использование методов анализа паттернов позволило выявить основные структурные особенности функционирования энергетического сектора в регионах Российской Федерации в статике и динамике.

В результате исследования изучены характеристики энергетического развития субъектов Российской Федерации за пятилетний промежуток времени. Для разбиения регионов по отдельным группам, характеризующимся уникальной качественной структурой данных, использовались порядково-фиксированная и порядково-инвариантная паттерн-кластеризации. Результатом статиче-

ского анализа паттернов стало выделение 16 уникальных объединений объектов, качественно отличающихся друг от друга. Для оценки устойчивости энергетического развития регионов была проведена процедура динамического анализа паттернов. Проанализировав полученные траектории развития, удалось обнаружить типовые динамические группы.

Разбиение регионов на группы объектов, характеризующиеся схожей структурой энергетического развития, и определение траекторий развития энергетического сектора субъектов РФ с помощью предложенного метода анализа паттернов может способствовать выработке более эффективной государственной политики в области энергоэффективности, которая будет учитывать особенности функционирования энергетического сектора в различающихся по масштабу и социально-экономическому развитию регионах.

Литература

1. АЛЕСКЕРОВ Ф.Т. и др. *Анализ данных науки, образования и инновационной деятельности с использованием методов анализа паттернов* // Высшая школа экономики. – Серия WP7. – 2012. – №7. – 62 с.
2. АЛЕСКЕРОВ Ф.Т. и др. *Анализ паттернов в статике и динамике, часть 2: Примеры применения к анализу социально-экономических процессов* // Бизнес-информатика. – 2013. – №4(26). – С. 3–20.
3. АЛЕСКЕРОВ Ф.Т., ШЕРМАН И.В., ЭНТОВ Р.М. *Анализ эффективности конкурсного управления при банкротстве банков* // Банковское дело. – 2008. – №12. – С. 70–76.
4. АЛЕСКЕРОВ Ф.Т., БЕЛОУСОВА В.Ю., ЕГОРОВА Л.Г., МИРКИН Б.Г. *Анализ паттернов в статике и динамике, часть 1: Обзор литературы и уточнение понятия* // Бизнес-информатика. – 2013. – №3(25). – С. 3–18.
5. АЛЕСКЕРОВ Ф.Т., СОЛОДКОВ В.М., ЧЕЛНОКОВА Д.С. *Динамический анализ паттернов поведения коммерческих банков России* // Экономический журнал Высшей школы экономики. – 2006. – №1. – С. 48–61.

6. БАКЛАНОВ Г.И., АДАМОВ В.Е., УСТИНОВ А.Н. *Статистика промышленности. Учебник.* / Под ред. В.Е. Адамова. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 439 с.
7. БЕЛОВА Т.Д. *Методика оценки энергоэффективности региональной экономики* // Региональная экономика: теория и практика. – 2016. – №3. – С. 82–91.
8. ГОРЮНОВ В.Н., ДЕД А.В., ЖИЛЕНКО Е.П., ЛАВРИКОВ Ю.П., СМИРНОВ П. С. *Анализ сведений о потерях электрической энергии в филиалах ПАО «МРСК Сибири» за период с 2010 по 2017 год* // ОНВ. – 2018. – №6. – С. 25–30.
9. *Государственная программа российской федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»* // Министерство энергетики Российской Федерации.
10. ЕФРЕМОВ В.В., МАРКМАН Г.З. *«Энергосбережение» и «энергоэффективность»: уточнение понятий, система сбалансированных показателей энергоэффективности* // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2007. – Т. 311, №4. – С. 146–148.
11. КОЗЛОВА Е.И., НОВАК М.А., ЧЕРНИКОВА О.А. *Развитие электроэнергетики как фактор повышения конкурентоспособности отечественной экономики на мировой арене* // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2018. – №3. – С. 81–87.
12. КОСЯКОВ С.В., САДЫКОВ А.М. *Метод зонирования территории по стоимости технологического присоединения к электрическим сетям* // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – №5. – С. 1–5.
13. МАЗУРОВА О.В. *Электровооруженность промышленности как фактор качественного скачка в росте производительности труда* // Промышленная энергетика. – 2017. – №5. – С. 2–8.
14. МАРЧЕНКО Е.М., БЕЛОВА Т.Д. *Кластеризация регионов с учетом показателей энергоэффективности* // Региональная экономика: теория и практика. – 2016. – №1. – С. 51–60.

15. МИНИНА Е.А., БАКУМЕНКО Л.П. *Анализ уровня энергоэффективности в регионах российской федерации* // Редакционная коллегия. – 2017. – С. 92.
16. МЯЧИН А.Л. *Анализ паттернов в системе параллельных координат на базе парного сравнения показателей* // Автоматика и телемеханика. – 2019. – №1. – С. 138–152.
17. МЯЧИН А.Л. *Анализ паттернов: порядково-инвариантная паттерн-кластеризация* // Управление большими системами. – 2016. – №61. – С. 41–59.
18. МЯЧИН А.Л. *Определение центроидов для повышения точности порядково-инвариантной паттерн-кластеризации* // Управление большими системами. – 2019. – №78. – С. 6–22.
19. ХАБИБРАХМАНОВ Р.Р. *Моделирование влияния энергетического фактора на динамику изменения валового внутреннего продукта России* // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – №82. – С. 1–12.
20. ЧУЧУЕВА И.А. *Вычислительные методы определения удельных расходов условного топлива ТЭЦ на отпущенную электрическую и тепловую энергию в режиме комбинированной выработки* // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2016. – №2. – С. 135–165.
21. *Энергетическая стратегия России на период до 2035 года* // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации.
22. ALESKEROV F., ERSEL H., YOLALAN R. *Clustering Turkish commercial banks according to structural similarities* // Yapi Kredi Discussion Paper Series. – 1997. – P. 97–102.
23. ALESKEROV F.T., ALPER C.E. *Inflation, Money, and Output Growths: Some Observations* // Bogazici Univer. Res. Paper. 1996. – No. SBE 96-06. – P. 3–13.
24. GENG Z., ZENG R., HAN Y., ZHONG Y., FU H. *Energy efficiency evaluation and energy saving based on DEA integrated affinity propagation clustering: Case study of complex petrochemical industries* // Energy. – 2019. – Vol. 179. – P. 863–875.
25. <https://ipcrem.hse.ru/news/147589655.html> (дата обращения: 01.01.2021).

26. LIU G., YANG J., HAO Y., ZHANG Y. *Big data-informed energy efficiency assessment of China industry sectors based on K-means clustering* // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Vol. 183. – P. 304–314.

THE STUDY OF ENERGY SUSTAINABILITY OF REGIONS OF RUSSIAN FEDERATION BASED ON PATTERN ANALYSIS

Alexey Myachin, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Cand.Sc., associate professor, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, senior research fellow (amyachin@hse.ru).

Vadim Prokofiev, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Cand.Sc., associate professor (vprokofiev@hse.ru).

Alexander Stepanov, National Research University Higher School of Economics, Moscow, student (aastepanov_3@edu.hse.ru).

Abstract: The study is devoted to the application of ordinal-fixed and ordinal-invariant pattern clustering to study the structure of the energy sector in regions of Russian Federation over a five-year period. Methods for pattern analysis in the work are due to the independence of the final results from the difference in the absolute values of indicators and the possibility of combining regions that are similar in structure (based on the indicators under consideration). The choice of ordinal-invariant pattern clustering is due to both the endogenous determination of not only the composition of each pattern, but their number, and the lack of the need to choose the initial sequence of the studied indicators, to which some methods of pattern analysis are sensitive. The study was carried out on the basis of such indicators as: a decrease in the level of electricity losses in the networks, the electric power supply of workers, the volume of electricity produced, specific fuel consumption, the cost of services for technological connection, as well as the number of actual connections. As a result of the study, the features of the energy development of individual subjects were studied. The development patterns were obtained, reflecting the similarity of the internal data structure. Dynamic trajectories of development have been built and groups of subjects have been identified that adhere to a constant strategy from year to year. The above results can be taken into account in the development of state policy in the field of energy efficiency.

Keywords: pattern, pattern analysis, energy sustainability, cluster analysis.

УДК 021.8 + 025.1

ББК 78.34

DOI: 10.25728/ubs.2021.92.3

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Я.И. Квинто.*

Поступила в редакцию 14.04.2021.

Опубликована 31.07.2021.