Уточнение стадий экономической интеграции стран в торговле электроэнергией

Жиряева Е. В., Наумов В. Н.*, Мохаммад Имран

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Северо-Западный институт управления РАНХиГС), Санкт-Петербург, Российская Федерация;

* naumov122@list.ru

РЕФЕРАТ

В статье анализируется региональное энергетическое сотрудничество в субрегионах Азии с детальным исследованием Южной Азии и СНГ. Цель состоит в развитии теории интеграции энергетических рынков за счет добавления в нее элемента взаимной торговли. Исследование опирается на данные о статистике экспорта электроэнергии по субрегионам Евразии на основе сведений о двухстороннем экспорте. Уровень региональной экономической интеграции оценивался показателем «экспортная доля», а также методами теории графов. Четыре из девяти стран региона Южной Азии пока не включены в энергетическую торговлю. Это не позволяет говорить в целом об успешности усилий, принимаемых международными организациями в субрегионе. Результаты сетевого анализа показывают, что связи между странами региона фрагментарны, проблема интеграции стран Южной Азии в сфере торговли электроэнергией далека от решения. В СНГ только 10% электроэнергии торгуется в пределах региона. В субрегионе существует два кластера стран. Страны большего кластера соединены через торговлю с остальным миром. Страны второго кластера — Казахстан, Таджикистан, Кыргызстан и Узбекистан — связаны между собой, но не с Россией, являясь бенефициарами Программы Центрально-азиатского регионального экономического сотрудничества. Таким образом, сложившаяся архитектура региональных связей может указывать на мелкую интеграцию, созданную усилиями международной организации в регионе. Регион СНГ отвечает описанию уровня интеграции энергетических рынков как находящегося между «взаимосвязью» и «мелким». Для характеристики уровня интеграции рекомендуем исследовать связность графа, показатели центральности, число и размер кластеров. Усилия России в области торговли электроэнергией в Азии рассмотрены в четырех аспектах. Помощь развитию является недостаточной, и, вероятно, членство в Азиатском банке развития становится назревшим вопросом. Сотрудничество со странами СНГ оставляет в стороне две страны постсоветского пространства, оно не способно привлечь к взаимодействию еще четыре страны Центральной Азии. Сотрудничество в рамках ЕАЭС является недостаточным для Беларуси и Армении, поэтому создание единого электроэнергетического рынка к 2025 г. является актуальной задачей.

Ключевые слова: теория региональной интеграции, энергосистема, энергетическое кольцо, электричество, международная торговля, методы сетевого анализа

Economic Integration Stages Clarification of the Countries in Electricity Trade

Elena V. Zhiryaeva, Vladimir N. Naumov*, Mohammad Imran

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (North-West Institute of Management, RANEPa), St. Petersburg, Russian Federation; * naumov122@list.ru

ABSTRACT

The article analyzes regional energy cooperation in sub-regions of Asia with a detailed study of South Asia and the CIS. The aim is to develop the theory of energy markets integration by adding an element

of mutual trade to it. The study is based on statistics data of electricity exports by sub-regions of Eurasia based on the information of bilateral exports. The level of regional economic integration was estimated by the “export share” indicator, as well as by graph theory methods. Four out of nine countries in the South Asian region are not yet included in energy trade. This fact does not allow to speak about the success of the efforts undertaken by international organizations in the subregion as a whole. The results of the network analysis show that the relations between the countries of the region are fragmented, the problem of South Asian countries integration in the field of electricity trade is far from a solution. In the CIS, only 10% of electricity is traded within the region. There are two clusters of countries in the subregion. The countries of the larger cluster are connected through trade with the rest of the world. The countries of the second cluster — Kazakhstan, Tajikistan, Kyrgyzstan and Uzbekistan — are interconnected, but not with Russia, being the beneficiaries of the Central Asian Regional Economic Cooperation Program. Thus, the prevailing architecture of regional ties may indicate small integration created by the efforts of an international organization in the region. The CIS region meets the description of the energy markets’ integration level as being between “interconnection” and “shallow”. To characterize the integration level, we recommend examining the graph connectivity, centrality indicators, and the number and size of clusters. Russia’s efforts in the area of electricity trade in Asia are examined in four aspects. Development assistance is inadequate, and membership in the Asian Development Bank is likely to become a pressing issue. Cooperation with the CIS countries leaves aside two countries of the post-Soviet space, it is not able to attract four more countries of Central Asia to cooperate. Cooperation within the EAEU is insufficient for Belarus and Armenia, therefore, the creation of a single electric energy market by 2025 is an urgent task.

Keywords: theory of regional integration, power grid, energy ring, electricity, international trade

Традиционный подход к региональной экономической интеграции был впервые описан в теории Балаши [7]. Однако есть несколько сфер, интеграция в которых имеет специфический характер. Это можно сказать об электроэнергетике в силу особого характера товара. В статье речь пойдет о региональной интеграции в торговле электроэнергией.

Большое влияние на экономическое развитие регионов мира оказывают торговый режим ВТО, инициативы инвестиционных банков и других международных организаций. Комиссия ООН по Азии и Тихому океану (ЭСКАТО) стимулирует создание транспортных коридоров между странами. Размер территории Азии выдвигает сухопутную транспортную связность на первый план. Этому подходу отвечает и китайская инициатива «Один пояс — один путь».

Консультативный комитет по электроэнергетике Евразийской экономической комиссии определил дату создания Единого энергетического рынка ЕАЭС — не позже 2025 г. Уже подписан договор о рынке электроэнергии, который предусматривает организацию электронной торговли. С учетом такого развития актуальным представляется оценить существующий уровень интеграции.

В статье анализируется региональное энергетическое сотрудничество в субрегионах Азии с детальным исследованием Южной Азии (далее — ЮА) и СНГ.

Обзор

Если две страны решат устранить коммерческие барьеры, объемы двусторонней торговли не возрастут, если не будет дорог и мостов, соединяющих территории. Стратегия союза Южно-Американских наций (Unasur) 2008 г. вводит физическое измерение в традиционную теорию региональной интеграции. Южно-Американский континент разделен на десять стратегических субрегионов — центров интеграции и развития. В повестке дня Unasur физическое измерение является приоритетом. А. Боланос предполагает, что региональная интеграция имеет три измерения — экономическое, политическое и физическое, включающее региональные инфраструктурные проекты как драйверы интеграции [8].

Электроэнергия — это особый товар в силу большого значения инфраструктуры для торговли. Обычно стимулы для торговли товарами создаются многонациональными компаниями в рамках из производственно-сбытовых цепочек, в то время как общие выгоды от улучшения энергоснабжения неопределенны [13].

Теория стадий интеграции энергетических рынков предложена Всемирным Банком (далее — ВБ) (таблица 1).

Таблица 1

Типичные фазы интеграции энергетических рынков

Typical Phases of Energy Market Integration

Показатель	Взаимосвязь	Мелкая интеграция	Глубокая интеграция
Архитектура региональной связи	Начинается с двух стран, затем появляется более широкая сеть взаимосвязей	Сеть взаимосвязей, вовлекающая определенное число соседних стран	Действует полностью синхронная взаимосвязанная энергетическая система между многими странами
Трансграничные соглашения о торговле	Долгосрочные двухсторонние соглашения о торговле энергией	Долгосрочные соглашения о торговле энергией, дополненные краткосрочными рынками	Через ряд рыночных механизмов достигнута конкуренция в ценообразовании на электричество (рынки спот, на день вперед, аукционы на передающие мощности)
Техническая и / или регуляторная гармонизация	Функционирование взаимосвязанной системы оговаривается простыми правилами	Гармонизация правил, кодов сети, тарифов на передачу	
Координация планов и инвестиций	Национальное планирование и инвестиции	Некоторая координация национальных инвестиций с оптимизированными планами региональных инвестиций	Орган региональной интеграции, наделенный полномочиями требовать осуществления инвестиций для выполнения согласованных региональных планов

Источник: Regional Power Sector Integration. 2010 [Электронный ресурс] // World Bank. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/915931468182329874/pdf/773070v10ESMAP0ISP0Lessons0BN004010.pdf> (дата обращения: 10.05.2020)

Теория (таблица 1) не показывает, в какой мере фактически развита передача электроэнергии между странами.

Энергетическое сотрудничество в Южной Азии

Торговля энергоресурсами на континенте тормозится из-за ряда факторов. Электроэнергия требует больших инвестиций в производственные и передающие сети, трудно получить частные инвестиции, имеющие длительный период окупаемости. Необходимы правила, обеспечивающие справедливое распределение затрат и выгод, что требует диалога на двустороннем и многостороннем уровнях [13]. Общий объем внутрирегиональной торговли в ЮА является одним из самых низких в мире. Энергетический центр Южно-Азиатской организации региональной кооперации (СААРК) констатирует отсутствие внутрирегиональной энергетической торговли. По состоянию на 2018 г. торговля электроэнергией происходила между Бутаном и Индией, Индией и Бангладеш, а также Индией и Непалом. По оценкам, расширение торговли возможно с помощью индийской системы передачи энергии с открытым доступом, объединения энергоснабжения между соседними странами и передачи газа и нефти по трубопроводам [17]. Улучшить ситуацию помогает ряд инициатив. Специальная программа ООН для экономик Центральной Азии (СПЕКА) и Программа Центрально-азиатского регионального экономического сотрудничества (ЦАРЭС), а также СААРК и другие активно участвуют в развитии торговли и транспорта в регионе Большой Центральной Азии.

СААРК

СААРК — экономико-политическая организация восьми стран ЮА (Бангладеш, Бутан, Мальдивы, Непал, Пакистан, Индия, Шри-Ланка, Афганистан). СААРК признает, что энергетическое сотрудничество ведет к миру в регионе. В 2005 г. был создан энергетический центр СААРК с целью создания энергетического кольца в ЮА, что сократило бы перебои в электроснабжении [13]. Энергетический центр СААРК и межправительственные группы экспертов установили, что торговля электроэнергией с Таджикистаном, Казахстаном, Узбекистаном и Туркменистаном может осуществляться через Афганистан до Пакистана и Индии. Планируется, что первоначально торговля будет развиваться в кластерах востока и запада с конечной целью интеграции в одну южно-азиатскую энергетическую сеть. Однако развитие идет медленно. Сохраняются угрозы безопасности в Пакистане и Афганистане [Там же].

В 2015 г. страны подписали рамочное соглашение о региональном сотрудничестве, позволяющее Индии и Бангладеш импортировать электроэнергию из богатых гидроэнергетикой Непала и Бутана.

СПЕКА

Программа СПЕКА осуществляется с 1998 г. с целью интеграции Центральной Азии в мировую экономику. Странами СПЕКА являются Азербайджан, Афганистан, Казахстан, Киргизия, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан. Европейская экономическая комиссия ООН и ЭСКАТО действуют совместно в рамках этой программы. СПЕКА рассматривается участниками как платформа для обсуждения вопросов водно-энергетических ресурсов и окружающей среды в регионе [1].

ЦАРЭС

ЦАРЭС представляет собой сотрудничество одиннадцати стран (Афганистан, Азербайджан, Китай, Грузия, Казахстан, Кыргызстан, Монголия, Пакистан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан) и партнеров по развитию. Партнерами являются Азиатский банк развития (АБР), Европейский банк реконструкции и развития, Международный валютный фонд, Исламский банк развития, Программа развития ООН, ВБ. С момента создания в 2001 г. и до 2019 г. ЦАРЭС мобилизовала инвестиции на более чем 34,5 млрд долл. США, которые помогли заложить основу для развития экономического коридора. Строительство газопровода Туркмения — Афганистан — Пакистан — Индия (TAPI) явилось одним из приоритетных направлений в рамках CAREC-2020. Этот проект начал осуществляться с декабря 2015 г. На сегодня главной платформой сотрудничества для региона выступает программа ЦАРЭС-2030 [11]. Примеры энергетических проектов ЦАРЭС для постсоветских стран и Афганистана представлены в таблице 2.

Как видим из таблицы 2, многие энергетические проекты ЦАРЭС не являются интеграционными, многие страны региона нуждаются в воссоздании национальной сети электропередачи.

ТАР и CASA-1000

В феврале 2018 г.¹ было подписано рамочное соглашение по проекту объединения электроэнергии между Туркменистаном, Афганистаном и Пакистаном (ТАР), которое создает условия для торговли и обмена энергией. На первом этапе до 2021 г. будет использована существующая инфраструктура проекта объединения электроэнергии Туркменистан — Узбекистан — Таджикистан — Афганистан — Пакистан (TUTAP), целью которого является экспорт из Туркменистана в Афганистан и Пакистан. Второй этап завершится к 2022 г. Электроэнергия будет передаваться из Туркмении в Афганистан, а затем экспортироваться в Пакистан. Проект ТАР предусматривает строительство около 500 км линии электропередачи. Будут изучены варианты использования избыточных мощностей в зимние месяцы за счет интеграции с системой Центральной и Южной Азии (проект CASA).

¹ Power Interconnection Project to Strengthen Power Trade Between Afghanistan, Turkmenistan, Pakistan. News Release. 28 February 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.adb.org/news/power-interconnection-project-strengthen-power-trade-between-afghanistan-turkmenistan-pakistan> (дата обращения: 10.05.2020).

Таблица 2

Энергетические проекты ЦАРЭС

CAREC Energy Projects

Страна	Проект	Одобен
Афганистан	<i>Инвестиционная программа по улучшению энергоснабжения, Транш 2</i> Расширит импорт электроэнергии из Туркменистана за счет асинхронного объединения энергосистем, создаст единую энергосистему в Афганистане и распространит ее на Центральный Афганистан	5 декабря 2016 г.
Таджикистан	<i>Повторное подключение к проекту Центрально-азиатской энергосистемы</i> Установка современных реле, автоматических выключателей, инструментальных трансформаторов; установка новых линий связи; укрепление потенциала сотрудников	12 ноября 2018 г.
Азербайджан	<i>Подготовка инвестиционной программы расширения распределения электроэнергии</i> Восстановление и расширение устаревшей сети распределения	4 мая 2015 г.
Казахстан	<i>Проект энергоэффективности</i> Подпроекты в поддержку сокращения энергопотребления общественных зданий	22 мая 2013 г.
Кыргызстан	<i>Проект реабилитации «Ошэлектро»</i> Модернизация сетей низкого и среднего напряжения на юге Кыргызской Республики	7 апреля 2015 г.
Туркменистан	<i>Проект по укреплению национальной энергосистемы</i> Строительство 1100 км новых линий электропередач, четырех новых подстанций и расширение существующих. Проект создает взаимосвязанную национальную сеть электропередачи	8 ноября 2018 г.
Узбекистан	<i>Модернизация подстанций</i> Повышение технической эффективности и надежности сетей электропередачи в Узбекистане	23 ноября 2016 г.

Источник: [Электронный ресурс]. URL: https://www.carecprogram.org/?page_id=13630 (дата обращения: 10.05.2020)

Наконец, одним из самых многообещающих в регионе является проект CASA-1000, объединяющий Кыргызстан, Афганистан, Таджикистан и Пакистан. Проект нацелен на использование обильных гидроэнергетических ресурсов Кыргызстана и Таджикистана, которые дают избыточное производство электроэнергии летом, и передачу электроэнергии Афганистану и Пакистану, страдающим от хронической нехватки. Соглашение о покупке мощности для проекта было подписано в апреле 2015 г. [12] Как и многие другие инфраструктурные проекты в регионе, CASA-1000 столкнулся с вопросами безопасности. В проекте имеется семь источников финансирования [16]: ВБ через Международную ассоциацию развития, Европейский инвестиционный банк, Целевой фонд реконструкции Афганистана, Исламский банк развития, правительство США, Министерство международного развития Соединенного Королевства и Европейский банк реконструкции и развития. Такие крупные проекты имеют потенциал для изменения региональной динамики [6]. Отношение России к проекту прокомментировал эксперт по проблемам Центральной Азии Д. Попов, сказав, что стратегически выгоды от CASA-1000 не соответствуют интересам России, поскольку «эта инициатива нацелена на интеграцию Центральной Азии с Афганистаном и Южной Азией. У Москвы вектор совершенно другой, и он направлен на восстановление экономической кооперации Центральной Азии с основным северным партнером, то есть Россией. С этой точки зрения для нас более привлекательными являются проекты, укрепляющие связи энергосистем стран Центральной Азии друг с другом и Россией» [5].

Можно заключить, что поддержка международных институтов, их техническая помощь и инвестиции имеют важнейшее значение для развития электроэнергетики как Афганистана, так и большинства стран СНГ.

Энергетическое сотрудничество России в Азиатско-Тихоокеанском регионе, в том числе в СНГ

Модели спроса на энергию в Азиатско-Тихоокеанском регионе (АТР) продолжают совершенствоваться наряду с экономическим ростом, для которого необходима энергия. Вопросами энергетики занимаются региональные форумы, такие как Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество

(АТЭС), Электроэнергетический совет СНГ (ЭЭС) и другие. Азиатский банк инфраструктурных инвестиций и Новый банк развития БРИКС, как полагают, пополняют инвестиции в инфраструктурное строительство для энергетического сектора. Торговля энергоресурсами происходит между Индией и Непалом, Бутаном и Бангладеш, странами Центральной Азии и Российской Федерацией, между странами АСЕАН, между странами Центральной Азии и Афганистаном, Ираном и Пакистаном. Китай, крупный импортер энергии, предложил инициативу «Один пояс — один путь» с целью обеспечения более тесной интеграции. Внутрорегиональная торговля энергоресурсами выше в субрегионах с более высоким общим объемом внутрорегиональной торговли — Юго-Восточной Азии (ЮВА) и Северо-Восточной Азии, чем в субрегионах с низким уровнем общего объема торговли — Южной и Юго-Западной Азии, Северной и Центральной Азии и Тихоокеанском регионе. Нынешнее состояние взаимодействия в АТР находится на уровне двухсторонних взаимосвязей между энергетическими секторами стран [13].

Страны Северной и Центральной Азии с 1960 г. были связаны единой Объединенной энергосистемой Советского Союза. Распад СССР и разделение энергетического имущества между государствами привели к резким изменениям в механизмах управления энергетическим сектором. В 90-е гг. первостепенное значение приобрело создание инфраструктуры, которая могла бы поддерживать энергетическую независимость стран. Регион имеет четкие перспективы на субрегиональном уровне в силу сохранения единой энергетической системы. В настоящее время восемь из одиннадцати национальных энергосистем стран СНГ синхронизированы, целесообразно восстановить полноценную параллельную работу всех энергосистем стран [Там же]. В 2015 г. Армения, Казахстан, Киргизия и Российская Федерация приняли Концепцию общего энергетического рынка ЕАЭС. Торговля энергией прямо признается в качестве средства активизации экономической интеграции в рамках Союза. Однако, как указывается в обзоре ЭСКАТО, существуют политические аспекты, препятствующие практической реализации таких проектов. У региона сложный геополитический сценарий. Азиатско-Тихоокеанское региональное сотрудничество могло бы способствовать реализации субрегиональных инициатив [Там же].

В регионе Восточной и Северо-Восточной Азии энерготорговля ограничивается двусторонними сетевыми связями между Китаем и Монголией, Китаем и РФ, а также Монголией и РФ, масштабы двусторонней торговли относительно низки.

Ряд региональных инициатив основан на возобновляемых источниках энергии, в их поддержку энергетические компании Китая, Японии, Республики Корея и РФ в 2016 г. заявили о проведении совместных технических исследований по объединению энергосистем, разработке бизнес-модели и генерального плана [Там же].

Российская Федерация, являющаяся крупным экспортером энергоресурсов, проводит политику «опоры на Восток», направленную на закрепление в АТР. Страна диверсифицирует клиентскую базу, разрабатывает нефтегазовые месторождения в Восточной Сибири [14]. В 2000 г. российский экспорт в страны ЭСКАТО составлял лишь 6% от общего объема экспорта энергоносителей страны. В 2014 г. на страны ЭСКАТО приходилось уже 28% российского экспорта, крупнейшими импортерами являются Китай, Республика Корея и Япония [13]. Имеются двухсторонние соглашения о сотрудничестве в электроэнергетике с КНДР (2015 г.), Монголией (2019 г.) и Грузией (1995 г.). Энергетическая стратегия РФ до 2035 г. подчеркивает важность сотрудничества со странами АТР, особое внимание уделяется экспорту газа.

Цель данной работы состоит в развитии теории интеграции энергетических рынков за счет добавления в нее элемента взаимной торговли, который оценивается рядом показателей.

Методы исследования

Исследование опирается на данные о статистике экспорта электроэнергии (товарная позиция 2716 Гармонизированной системы описания и кодирования товаров) по субрегионам Евразии на основе сведений о двухстороннем экспорте. Данные об экспорте получены из «Торговой карты» Международного

торгового центра¹. В исследование были включены регионы: Юго-Восточной Европы (ЮВЕ); СНГ; Восточной Азии (ВА), ЮВА и ЮА; Европейский союз (ЕС). К региону СНГ отнесены девять стран постсоветского пространства — членов ЭЭС.

Уровень региональной экономической интеграции оценивался показателем «экспортная доля». Экспортная доля — это доля внутрирегионального экспорта в общем объеме экспорта из стран региона. Является показателем значимости торгового блока. Группы стран с высокими экспортными долями в некотором смысле являются «естественными» торговыми партнерами.

Системный подход к изучению вопросов экономической интеграции определяет необходимость описания ее структуры, применения количественных методов, учета статистики экспорта электроэнергии. Многоцелевой характер энергетической интеграции предполагает необходимость многокритериальной оценки, использования частных показателей, в том числе позволяющих оценить энергетическую инфраструктуру регионов мира. Для системного анализа целесообразно использовать математические методы теории графов, а также теории сетевого анализа. Для сравнительного анализа степени интеграции стран ЮА и СНГ использовались методы теории графов и анализа социальных сетей, первоначально разработанные Я. Морено, основателем социометрии [15]. Социальные сети представляют собой граф, вершины которого описывают членов социальных групп, а дуги указывают на взаимосвязь между ними, существующие социальные отношения. Анализ направлен на исследование отдельных характеристик сети, например, важности элементов, наличия подгрупп, сообществ, их сплоченности, динамики поведения и др. Базовые характеристики сети (радиус, диаметр, плотность, коэффициент кластеризации и др.), а также методы и инструментальные средства, разработанные для их анализа, могут быть использованы для исследования торговли между странами [9; 10].

Использовались три группы характеристик сетевого анализа. Характеристики первой группы (плотность графа, радиус и диаметр, число компонент связности, коэффициент кластеризации) определяют общую структуру графа. Плотность графа показывает долю связей по отношению к максимальному числу. Чем больше плотность графа, тем менее он разряжен, ближе к полному графу. Диаметр и радиус графа определяет расстояние между вершинами. Чем больше диаметр, тем граф менее компактный, тем дальше друг от друга находятся периферийные вершины. Число компонент связности определяет наличие подграфов, в каждом из которых все вершины связаны между собой. Если данное число больше единицы, единая система не сформирована, каждая компонента не зависит от другой. Коэффициент кластеризации позволяет проанализировать тенденцию усиления интеграции между вершинами и является одной из основных характеристик сетей. Он определяется как средняя доля закрытых триплетов (треугольников, трех циклов длины) для каждой вершины графа. Каждая «тройка» свидетельствует о наличии циклов, «плотной связи» между тремя элементами. Применительно к социальным сетям это выражается так: «твои друзья являются друзьями друг друга». Доля циклов свидетельствует о наличии подструктур в общей структуре, о степени интеграции. Вторая группа характеристик (показатели центральности) указывает на важность элементов в структуре, позволяет оценить их среднюю важность. Наиболее популярны показатели степенной центральности, центральности по близости и по посредничеству. Под степенной центральностью каждой вершины графа понимается ее важность в структуре, определяемая как нормированное число связей с другими вершинами. Среднее значение определяет среднюю важность вершины. Центральность по близости для каждой вершины определяет важность вершины по отношению к ее близости к другим вершинам. Среднее значение центральности определяет компактность структуры. Показатель центральности по посредничеству определяет важность каждой вершины по ее присутствию во всех кратчайших расстояниях между любыми другими двумя вершинами. Так как показатели нормированы, их среднее значение указывает на важность всех элементов структуры, ее компактность. К третьей группе отнесем характеристики сотрудничества, наличия сообществ, групп, кластеров. В сетевом анализе существует несколько алгоритмов, позволяющих исследовать кластеры [2]. Большинство алгоритмов (посредничества ребер,

¹ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.trademap.org> (дата обращения: 10.05.2020).

информационных карт, случайного блуждания, Левене, «жадный алгоритм» и др.) используется для неориентированных графов. В результате работы алгоритмов определяется значение показателя модулярности, число сообществ (кластеров), а также их состав. Модулярность — степень неслучайности включения вершин в кластер, доля связей, включенных в кластер с помощью алгоритма, по сравнению со случайным включением.

Таким образом, имеется большое число характеристик, с помощью которых можно исследовать графы экспорта электроэнергии. Нет одной характеристики, позволяющей сделать однозначный выбор, определить лучший вариант, задать идеальную структуру. Однако их комплексная оценка позволяет выполнить сравнительный анализ вариантов структур. Другие характеристики не являются информативными для поставленной цели.

Результаты

Экспорт электроэнергии представлен в таблице 3.

Таблица 3

Экспорт электроэнергии регионов, 2019 г.

Electricity Exports within the Regions, 2019

Регион	Экспортная доля, %	Всего стран в регионе	Страны, не получающие электроэнергию от поставщиков региона
ЮВЕ	35	5	0
СНГ	10	12	5
ВА	89	7	2
ЮВА	98	11	5
ЮА	99	9	6
ЕС	82	28	0

Источник: расчеты авторов

ЕС и ЮВЕ полностью интегрированы. Наименее интегрированы СНГ, ЮВА и ЮА. Однако в ЮВА и ЮА электроэнергия практически не продается за пределы региона. В СНГ только 10% электроэнергии торгуется в пределах региона. Исследуем объемы экспорта между странами в СНГ и ЮА. В расчет брались данные за последний год, по которому доступна информация в Trade map. В большинстве случаев — за 2019 г. (для Индии — 2012 г.). Представим каждый регион неориентированным графом (сетью), вершины которого соответствуют странам, а ребра — наличию экспорта между странами. Дуги взвесим объемом экспорта в тысячах долларов. На рисунках 1 и 2 приведены графы, построенные в интегрированной среде Rstudio.

Рисунки 1 и 2 показывают, что в пределах обоих регионов имеются изолированные вершины (страны, не взаимодействующие с другими странами региона), что позволяет предположить отсутствие интеграции. Наиболее низка интеграция в ЮА, несмотря на помощь международных организаций в становлении рынка региона. Из обзора мы выяснили, что страны СНГ частично сохранили объединенную энергосистему СССР. Страны ЮА не имели такой системы. Соответственно, интеграцию региона СНГ можно рассматривать, опираясь на показатели таблицы 1, по меньшей мере, как мелкую, а интеграцию ЮА — как «взаимосвязь». Для сравнения в анализ включен регион с «глубокой» интеграцией — ЕС (рисунки 3). Изолированные вершины на рисунке 3 отсутствуют.

Рис. 1. Неориентированный граф экспорта электроэнергии между странами СНГ

Undirected Graph of Electricity Exports between CIS Countries

Источник: построено авторами

Рис. 2. Неориентированный граф экспорта электроэнергии между странами ЮА

Undirected Graph of Electricity Exports between South Asian Countries

Источник: построено авторами

Рис. 3. Неориентированный граф экспорта электроэнергии между странами ЕС

Undirected Graph of Electricity Exports between EU Countries

Источник: построено авторами

Рис. 4. Результаты кластеризации для стран ЮА методом оптимальной кластеризации

South Asian Best Clustering Results

Источник: построено авторами

Рис. 5. Результат кластеризации для стран СНГ

Result of Clustering for CIS Countries

Источник: построено авторами

Рис. 6. Результат кластеризации для стран ЕС

Clustering result for EU countries

Источник: построено авторами

Воспользуемся характеристиками, применяемыми в сетевом анализе (таблица 4). Будем рассматривать в качестве эталона ЕС.

Таблица 4

Основные характеристики графа экспорта электроэнергии

Main Characteristics of the Electricity Export Graph

Показатель	ЮА	СНГ	ЕС
Плотность графа	0,156	0,282	0,217
Число компонент связности	4	3	1
Число изолированных вершин	3	2	0
Коэффициент кластеризации	0	0,6	0,413
Диаметр	3	3	5
Центральность по близости	0,129	0,145	0,511
Степенная центральность	0,289	0,301	0,459
Центральность по посредничеству	0,25	0,213	0,340
Оптимальная модулярность	0,224	0,343	0,256
Число кластеров	6	4	4
Средний размер кластера	1,67	3	7,25
Среднее квадратическое отклонение размера кластера	0,82	2,4	1,71

Источник: составлено авторами

Первая группа характеристик (плотность графа) показывает, что только граф региона ЕС является связным. Число компонент связности равно единице. В графах других регионов есть изолированные вершины, что свидетельствует о наличии интеграционных проблем.

На основе второй группы характеристик (число компонент связности) заключаем, что для ЕС все показатели центральности достигают максимального значения. Данные показатели оценивают разные аспекты структуры. Например, полный граф имеет нулевые значения показателей центральности. Значения зависят не только от структуры, но и от размера графа. Данные показатели не позволяют определить идеальную структуру, но могут оценить важность ее элементов и их среднюю важность. Если считать, что идеальной является централизованная структура, то наилучшим является тот граф, у которого данные характеристики стремятся к единице.

Для исследования третьей группы характеристик применялись различные алгоритмы. Сходимость результатов позволила в дальнейшем использовать алгоритм оптимизации значения модулярности и анализировать его результаты. Их графическое представление для двух регионов с помощью данного алгоритма приведено на рисунках 4 и 5. В результате работы алгоритма сформированы сообщества (кластеры), каждое из которых на рисунках обозначено затененной областью.

Рисунки 4 и 5 показывают, что в процессе международной интеграции сформировались сообщества. Однако четыре из девяти стран региона ЮА не включены в данный процесс (затененные области состоят только из одной вершины). Это не позволяет говорить в целом об успешности усилий, предпринимаемых международными организациями в субрегионе. Связи между странами региона фрагментарны, проблема интеграции стран ЮА в сфере торговли электроэнергией далека от своего решения. На графе стран ЮА сформировано шесть кластеров со средним числом элементов в кластере 1,67. Это значительно меньше, чем для двух других регионов, значит, сообщества в данном регионе недостаточно сформированы.

Страны самого большого кластера в СНГ (рисунок 5) соединены через торговлю с остальным миром. Страны второго кластера — Казахстан, Таджикистан, Кыргызстан и Узбекистан — связаны между собой, но не с Россией, являясь бенефициарами ЦАРЭС. Таким образом, сложившаяся архитектура региональных связей может отражать результат усилий ЦАРЭС в регионе.

Обсуждение

Показатель экспортной доли, которым обычно описывается уровень связи стран в региональном экономическом блоке, не подходит для описания энергетических рынков в ситуации, когда страны практически не экспортируют за пределы блока, но связи между большинством из них слабы. Более пригодными здесь являются показатели, полученные методами теории графов.

Первоначально мы отнесли СНГ к уровню «мелкой интеграции» по той причине, что экспортная доля для региона является минимальной в Евразии.

Как было указано в таблице 1, фазы интеграции энергетических рынков определяются по показателям архитектуры региональной связи, наличия трансграничных соглашений о торговле, технической гармонизации и координации планов и инвестиций. Об архитектуре региональной связи в СНГ можно судить по рисунку 5. Что касается трансграничных соглашений о торговле, то отметим, что между Беларусью, Россией, Эстонией, Латвией и Литвой существует соглашение о параллельной работе энергосистем. На уровне стран СНГ существует ЭЭС [4], действующий на основе Соглашения о координации межгосударственных отношений в области электроэнергетики СНГ [3]. Содержание Соглашения позволяет судить, что в части технической гармонизации и координации планов достигнут «мелкий» уровень интеграции, поскольку отсутствуют единые тарифы на передачу электроэнергии между странами, нет требования осуществлять инвестиции.

Мы предлагаем определенную схему описания внутрирегионального экспорта электроэнергии. Исследование экспортной доли показало, что субрегион ЮА находится на первичном уровне интеграции — стадии «взаимосвязи», рынок СНГ — на стадии «мелкой», а рынок ЕС — глубокой интеграции. Эти стадии нашли отражение в значениях следующих показателей графов: число компонент связности; число изолированных вершин; центральность по близости; степенная центральность; центральность по посредничеству; средний размер кластера.

Чем больше число компонент, тем слабее интеграция. Высокое значение показателя означает, что страны существуют изолированно. В СНГ число таких компонент невелико. Число изолированных вершин, равное двум, показывает, что некоторые страны СНГ изолированы. Чем больше центральность по близости, тем лучше. Высокое значение указывает, что страны не удалены друг от друга. По этому показателю регион СНГ находится между ЮА и ЕС. Отставание от ЮА наблюдается в центральности по посредничеству. Это означает, что в СНГ в среднем мало маршрутов проходит через отдельную страну. Наконец, чем больше размер кластера, тем сильнее интеграция. Средний размер кластера региона СНГ соответствует «мелкой» интеграции.

Таким образом, интеграция энергетических рынков в СНГ находится между «взаимосвязью» и «мелким» уровнем. Для оценки рекомендуем исследовать связность графа, показатели центральности, число и размер кластеров.

Дополним описание типичных фаз интеграции энергетических рынков (таблица 1) набором показателей, приведенных в таблице 5.

Выводы

Системный подход к исследованию подтвердил необходимость построения модели регионов, применения количественных методов теорий графов и социальных сетей. Полученные значения показателей анализируемых сетей позволили сравнить уровни экономической интеграции ЮА и СНГ. Вклад статьи в теорию интеграции энергетических рынков отражен в таблице 5. По мнению авторов, теория графов применима для исследования интеграции в других сферах с построением интегрированного графа.

Россия стремится к выходу на рынок АТР. Сотрудничество ведется с относительно сильными и успешными странами. В области торговли электроэнергией отметим экспорт в Китай, Казахстан, Монголию и Азербайджан.

Рекомендуемый алгоритм описания внутрирегионального экспорта

Recommended Intra-regional Export Description Algorithm

Показатели	Уровень интеграции		
	Взаимосвязь	Мелкая интеграция	Глубокая интеграция
Наличие и число изолированных вершин	Относительно большое	Малое число	Нет
Число компонент связности	Несколько	Малое число	Одна
Значения показателей центральности	Малые	Средние	Выше средних
Средний размер кластеров	Малый	Малый-средний	Большой

Источник: составлено авторами

Помощь в целях развития в Азии оказывают международные организации — СПЕКА, ЦАРЭС и АБР. В этих проектах Российская Федерация не принимает участия. В то же время Россия участвует в АТЭС и БРИКС, но другие страны СНГ — нет. Россия через членство в ВБ связана с проектом CASA-1000. Более того, механизм «открытого доступа», заложенный в проект, позволил бы РФ использовать передающие мощности в зимнее время [16]. Помимо международных институтов, CASA-1000 финансируют также правительства развитых стран. Министр иностранных дел России в 2011 и 2019 гг. говорил о готовности подключиться к проекту¹. При этом, по информации ВБ, существует небольшой дефицит финансирования для Кыргызской Республики [Там же]. Тем не менее пока об участии России в проекте не упоминается.

В СНГ было выявлено два энергетических кластера, один из которых создан, по всей видимости, усилиями ЦАРЭС. Обособленными являются Молдова и Туркменистан (рисунок 5). Вместе с другими странами СНГ Россия участвует в двух региональных структурах — ЭЭС и Азиатском банке инфраструктурных инвестиций (банк финансирует 21 энергетический проект, в том числе в Казахстане, Таджикистане и Азербайджане). Исследование позволило судить об интеграции в регионе СНГ как о «мелкой».

Существуют проблемы торговли электроэнергией и в рамках ЕАЭС. На момент создания ЕАЭС (в 2014 г.) экспортная доля стран Союза составляла 25%, в 2019 г. она упала до 8%. Армения не экспортировала и не экспортирует электроэнергию в страны ЕАЭС. Беларусь перестала это делать (по данным за 2018 г.). В планах ЭЭС на 2011–2012 гг.² было намечено «проведение мероприятий, направленных на восстановление параллельной работы энергосистемы Армении с объединением энергосистем государств — участников СНГ». Эти усилия, как видим, не увенчались успехом. Следует признать, что программа создания единого электроэнергетического рынка ЕАЭС является насущной вследствие существующей дезинтеграции рынков.

Таким образом, об усилиях России в области торговли электроэнергией в Азии можно говорить в следующих аспектах:

- как о помощи развитию, которая является недостаточной, и, вероятно, членство в АБР становится назревшим вопросом;
- как о сотрудничестве со странами СНГ, которое оставляет в стороне две страны СНГ и не способно привлечь к взаимодействию еще четыре страны Центральной Азии;
- как о сотрудничестве в рамках ЕАЭС, которое должно к 2025 г. увенчаться созданием единого электроэнергетического рынка.

¹ [Электронный ресурс]. URL: <https://orient.tm/lavrov-zayavil-cto-rossiya-gotova-podkl/> (дата обращения: 10.05.2020).

² П. 3.4. плана.

Литература

1. План работы СПЕКА на 2020–2021 гг. [Электронный ресурс] // United Nations Economic Commission for Europe. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/SPECA/documents/gc/session14/SPECA_WORK_PLAN_FOR_2020-2021_Russian.pdf (дата обращения: 10.05.2020).
2. Люк Д. Анализ сетей (графов) в среде R. Руководство пользователя. М. : ДМК Пресс, 2017. 250 с.
3. О статусе, основных направлениях и перспективах деятельности Электроэнергетического Совета СНГ и его рабочего органа — Исполнительного комитета ЭЭС СНГ [Электронный ресурс] // Электроэнергетический Совет СНГ. URL: <http://energo-cis.ru/rumain11/> (дата обращения: 10.05.2020).
4. Соглашение о координации межгосударственных отношений в области электроэнергетики Содружества Независимых Государств от 14 февраля 1992 г. [Электронный ресурс] // Системный оператор Единой энергетической системы. URL: https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/international/projects/SOGLASHENIE_o_koordinacii_mezhgosudarstvennykh_otnoshenii.pdf (дата обращения: 10.05.2020).
5. США вошли в список инвесторов CASA-1000 в Центральной Азии. [Электронный ресурс] // Российский институт стратегических исследований. URL: <https://riss.ru/smi/4546/> (дата обращения: 10.05.2020).
6. Afghanistan and Central Asia: Strengthening Trade and Economic Ties. [Электронный ресурс] // United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. URL: <https://www.unescap.org/sites/default/files/TID%20Publication%20-%20Afg%20Central%20Asia%20March%202015%20Executive%20Summary.pdf> (дата обращения: 10.05.2020).
7. Balassa B. Towards a Theory of Economic Integration. 1961. [Электронный ресурс] // Wiley Online Library. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-6435.1961.tb02365.x> (дата обращения: 10.05.2020).
8. Bolaños A. A Step Further in the Theory of Regional Integration: a Look at the Unasur's Integration Strategy. 2016. [Электронный ресурс] // Archive ouverte en Sciences de l'Homme et de la Société. URL: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01315692/document> (дата обращения: 10.05.2020).
9. Brandes U., Dellling D., Marco Gaertler M. [et al.] On Modularity Clustering // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2008. 20 (2). P. 172–188.
10. Butts C. T. (2008). Network: a Package for Managing Relational Data in R // *Journal of Statistical Software*. 2008. No 24 (2). P. 1–36.
11. CAREC Energy Strategy 2030: Common Borders. Common Solutions. Common Energy Future [Электронный ресурс] // Central Asia Regional Economic Cooperation. URL: [publication=carec-energy-strategy-2030](https://www.carec.org/publication=carec-energy-strategy-2030) (дата обращения: 10.05.2020).
12. Central Asia South Asia Electricity Transmission and Trade Project (CASA-1000) [Электронный ресурс] // WorldBank. URL: <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P145054?lang=en> (дата обращения: 10.05.2020).
13. Energy for Sustainable Development in Asia and the Pacific. 2016 Regional Trends Report. [Электронный ресурс] // United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. URL: <https://www.unescap.org/sites/default/files/2016%20Regional%20Trends%20Report%20on%20Energy%20for%20Sustainable%20Development.pdf> (дата обращения: 10.05.2020).
14. Jenkins J. Russia's Turn to the East: Expanded Oil and Gas Exports to East Asia Help Reduce Dependence on European Buyers, 2 December 2014 [Электронный ресурс] // EnergyCentral. URL: <https://energycentral.com/c/ec/russias-turn-east-expanded-oil-and-gas-exports-east-asia-help-reduce-dependence> (дата обращения: 10.05.2020).
15. Moreno J. Sociometry, Experimental Method and the Science of Society: an Approach to a New Political Orientation. Beacon N. Y. : Beacon House, 1951.
16. Q&A: Central Asia — South Asia Electricity Transmission and Trade Project (CASA-1000) [Электронный ресурс] // WorldBank. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/speech/2016/05/10/central-asia-south-asia-electricity-transmission-and-trade-project-casa-1000> (дата обращения: 10.05.2020).

17. SAARC Energy Outlook 2030. 2018. [Электронный ресурс] // SAARC Energy Centre. URL: <https://www.saarcenergy.org/wp-content/uploads/2019/05/SAARC-Energy-Outlook-2030-Final-Report-Draft.pdf> (дата обращения: 10.05.2020).

Об авторах:

Жиряева Елена Васильевна, профессор кафедры экономики Северо-Западного института управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Санкт-Петербург, Российская Федерация), доктор экономических наук, доцент; Zhiryayeva-ev@ranepa.ru

Наумов Владимир Николаевич, профессор, заведующий кафедрой бизнес-информатики Северо-Западного института управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Санкт-Петербург, Российская Федерация), доктор военных наук, профессор; naumov122@list.ru

Мохаммад Имран, магистрант Северо-Западного института управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (Санкт-Петербург, Российская Федерация); imranmohammad2017@mail.ru

References

1. Plan raboty SPEKA na 2020–2021 gg. [Elektronnyi resurs] // United Nations Economic Commission for Europe. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/SPECA/documents/gc/session14/SPECA_WORK_PLAN_FOR_2020-2021_Russian.pdf (data obrashcheniya: 10.05.2020).
2. Lyuk D. Analiz setei (grafovy) v srede R. Rukovodstvo pol'zovatelya. M. : DMK Press, 2017. 250 s.
3. O statuse, osnovnykh napravleniyakh i perspektivakh deyatel'nosti Elektroenergeticheskogo Soveta SNG i ego rabocheho organa — Ispolnitel'nogo komiteta EES SNG [Elektronnyi resurs] // Elektroenergeticheskii Sovet SNG. URL: <http://energo-cis.ru/rumain11/> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
4. Soglasenie o koordinatsii mezhgosudarstvennykh otnoshenii v oblasti elektroenergetiki Sodruzhestva Nezavisimyykh Gosudarstv ot 14 fevralya 1992 g. [Elektronnyi resurs] // Sistemnyi operator Edinoi energeticheskoi sistemy. URL: https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/international/projects/SOGLASHENIE_o_koordinatsii_mezhgosudarstvennykh_otnoshenii.pdf (data obrashcheniya: 10.05.2020).
5. SShA voshli v spisok investorov CASA-1000 v Tsentral'noi Azii. [Elektronnyi resurs] // Rossiiskii institut strategicheskikh issledovaniy. URL: <https://riss.ru/smi/4546/> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
6. Afghanistan and Central Asia: Strengthening Trade and Economic Ties. [Elektronnyi resurs] // United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. URL: <https://www.unescap.org/sites/default/files/TID%20Publication%20-%20Afg%20Central%20Asia%20March%202015%20Executive%20Summary.pdf> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
7. Balassa B. Towards a Theory of Economic Integration. 1961. [Elektronnyi resurs] // Wiley Online Library. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-6435.1961.tb02365.x> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
8. Bolaños A. A Step Further in the Theory of Regional Integration: a Look at the Unasur's Integration Strategy. 2016. [Elektronnyi resurs] // Archive ouverte en Sciences de l'Homme et de la Société. URL: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01315692/document> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
9. Brandes U., Delling D., Marco Gaertler M. [et al.] On Modularity Clustering // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2008. 20 (2). P. 172–188.
10. Butts C. T. (2008). Network: a Package for Managing Relational Data in R // Journal of Statistical Software. 2008. No 24 (2). P. 1–36.

11. CAREC Energy Strategy 2030: Common Borders. Common Solutions. Common Energy Future [Elektronnyi resurs] // Central Asia Regional Economic Cooperation. URL: [publication=carec-energy-strategy-2030](#) (data obrashcheniya: 10.05.2020).
12. Central Asia South Asia Electricity Transmission and Trade Project (CASA-1000) [Elektronnyi resurs] // WorldBank. URL: <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P145054?lang=en> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
13. Energy for Sustainable Development in Asia and the Pacific. 2016 Regional Trends Report [Elektronnyi resurs] // United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. URL: <https://www.unescap.org/sites/default/files/2016%20Regional%20Trends%20Report%20on%20Energy%20for%20Sustainable%20Development.pdf> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
14. Jenkins J. Russia's Turn to the East: Expanded Oil and Gas Exports to East Asia Help Reduce Dependence on European Buyers, 2 December 2014 [Elektronnyi resurs] // EnergyCentral. URL: <https://energycentral.com/c/ec/russias-turn-east-expanded-oil-and-gas-exports-east-asia-help-reduce-dependence> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
15. Moreno J. Sociometry, Experimental Method and the Science of Society: an Approach to a New Political Orientation. Beacon N. Y. : Beacon House, 1951.
16. Q&A: Central Asia — South Asia Electricity Transmission and Trade Project (CASA-1000) [Elektronnyi resurs] // WorldBank. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/speech/2016/05/10/central-asia-south-asia-electricity-transmission-and-trade-project-casa-1000> (data obrashcheniya: 10.05.2020).
17. SAARC Energy Outlook 2030. 2018. [Elektronnyi resurs] // SAARC Energy Centre. URL: <https://www.saarcenergy.org/wp-content/uploads/2019/05/SAARC-Energy-Outlook-2030-Final-Report-Draft.pdf> (data obrashcheniya: 10.05.2020).

About the authors:

Elena V. Zhiryaeva, Professor of the Department of Economics of North-West Institute of Management of RANEPa (St. Petersburg, Russian Federation), Doctor of Economics, Associate Professor; Zhiryaeva-ev@ranepa.ru

Vladimir N. Naumov, Professor, Head of the Department of Business-Informatics of North-West Institute of Management of RANEPa (St. Petersburg, Russian Federation), Doctor of Military Sciences, Professor; naumov122@list.ru

Mohammad Imran, Undergraduate of North-West Institute of Management of RANEPa (St. Petersburg, Russian Federation); imranmohammad2017@mail.ru