

Анализ тематики публикаций базы Web of Science за 2019–2020 годы по вопросам чистой энергетики

Б.Н. Чигарев

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва

E-mail: bchigarev@ipng.ru

Аннотация. Приводится краткое обсуждение Программы по переходу к чистой энергетике. Проанализированы ключевые слова 2256 публикаций, проиндексированных в реферативной базе данных Web of Science за период 2019–2020 гг. Показано, что доминирующие ключевые слова хорошо описывают рассматриваемую предметную область, связанную с возобновляемой энергетикой, ее оптимизацией, эмиссией углекислого газа, генерацией и хранением энергии, конкретными видами возобновляемой энергии, ростом экономики, инновациями, эффективностью, спросом и устойчивостью развития. При этом авторы чаще употребляют более общие термины для классификации своих публикаций, а ключевые слова плюс платформы Web of Science в большей степени описывают конкретные процессы, связанные с переходом к чистой энергетике. На основе кластеризации ключевых слов выявлено 5 устойчивых подтем в тематике чистой энергетики. Продемонстрирована возможность использования библиометрического анализа для выделения нарождающейся тематики.

Ключевые слова: Программа по переходу к чистой энергетике, Международное энергетическое агентство, ключевые слова, кластеризация, совместная встречаемость, библиометрический анализ, реферативная база Web of Science.

Для цитирования: Чигарев Б.Н. Анализ тематики публикаций базы Web of Science за 2019–2020 годы по вопросам чистой энергетики // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 2(29). С. 111–132. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-29.art9>

Мотивация проведения исследования: в ноябре 2017 г. Международное энергетическое агентство (МЭА), запустило Программу по переходу к чистой энергетике (Clean Energy Transitions Programme – СЕТР)¹, которая представляет собой амбициозную попытку ускорить глобальный переход к более устойчивому производству с минимальным воздействием на изменение климата.

В Программу вовлечены: Бразилия, Китай, Индия, Индонезия, Мексика и Южная Африка, а также другие страны-члены МЭА, основное внимание уделяется регионам:

Юго-Восточная Азия, Латинская Америка и Африка.

Программа СЕТР нацелена на более полное использование более чем 40-летнего опыта МЭА в области технологий и организационных решений для содействия сокращению глобальных выбросов парниковых газов, обеспечению всеобщего доступа к электроэнергии и существенного сокращения отрицательного влияния на экологию. Было определено шесть приоритетных направлений работы: 1) данные и статистика; 2) энергоэффективность; 3) электричество; 4) консультирование по вопросам политики и моделированию; 5) отраслевая работа; 6) инновации.

¹ <https://www.iea.org/programmes/clean-energy-transitions-programme>

В рамках данной Программы МЭА сотрудничает со странами в целях совершенствования анализа расходов на передовые разработки; выявление инновационных решений; расширение многостороннего сотрудничества в области энергетических исследований и инноваций, включая обмен передовым опытом между странами.

Энергетический сектор оставался основным источником выбросов CO₂ в 2019 г. – 41%.

Снижение выбросов предполагается осуществлять за счет перехода на чистую энергетику, использующую низкоуглеродные технологии: возобновляемые и атомные источники энергии, улавливание и хранение парниковых газов. В 2019 г. 37% генерации приходилось на низкоуглеродные технологии – рост чуть более 1% по сравнению с 2018 г. Более детально о Clean Energy Transitions Programme (CETP) изложено в отчетах МЭА [1–3].

Большое внимание уделяется повышению безопасности, эффективности, доступности и устойчивости энергосистем за счет их цифровизации.

9 июля 2020 г. состоялся Clean Energy Transitions Summit, особое внимание которого было уделено не только устойчивому и инновационному развитию энергетического сектора, но и важности чистой энергетики в создании новых рабочих мест, компенсирующих рост безработицы, вызванной пандемией коронавируса².

Вышеперечисленное делает актуальным библиометрический анализ научных публикаций за последние два года.

Цель исследования: построение и анализ ландшафта тем научных публикаций за 2019–2020 гг. по вопросу чистой энергетики.

Объект исследования: метаданные научных публикаций из библиографической и реферативной базы данных Web of Science (WoS), собранные по запросу: «TITLE: («Renewable energy» OR «green energy» OR «clean energy»), Timespan: 2019–2020. Indexes: SCI-EXPANDED, SSCI, CPCI-S, ESCI, 26 мая 2020 г.».

Обоснование формирования запроса: тематика возобновляемой, чистой и зеленой энергетики, вследствие своей актуальности, представлена огромным числом научных публикаций. Например, если использовать фильтр TOPIC, то по запросу «TOPIC: («Renewable energy» OR «green energy» OR «clean energy»), Timespan: 2019–2020» получаем 16280 документов, что позволяет сузить фильтрацию до встречаемости указанных ключевых терминов в заголовках публикаций (TITLE) и получить достаточное для проведения библиометрического анализа 2256 результатов. При этом возрастает гарантия соответствия публикаций заданной теме. Диапазон 2019–2020 гг. выбран из соображений построения актуального на момент проведения исследований ландшафта научных публикаций. Выбор индексов SCI-EXPANDED (Science Citation Index Expanded), SSCI (Social Sciences Citation Index), CPCI-S (Conference Proceedings Citation Index) обусловлен стремлением отразить различные стороны публикационной активности по тематике чистой энергетики, включая как статьи в журналах, так и труды конференций, относящиеся к естественно-научным и общественно-научным дисциплинам.

² <https://www.iea.org/events/iea-clean-energy-transitions-summit>

Ряд российских журналов только начинает процесс включения в базу данных Web of Science, поэтому в формирование запроса включен индекс ESCI (Emerging Sources Citation Index), отражающий список журналов, находящихся на рассмотрении для их включения в основные индексы WOS.

Термины «Renewable energy», «green energy», «clean energy» выбраны как наиболее часто встречаемые в заголовках публикаций по рассматриваемой тематике.

Основная информация по 2256 библиометрическим данным базы Web of Science дана в таблице А-1 Приложения А.

Методы исследования: использовались обычные для библиометрического анализа методы, основанные как на частоте встречаемости ключевых терминов (тегов БД), так и на их совместной встречаемости. Тематика научных исследований определялась по ключевым словам авторов публикаций – «Author Keywords» и ключевым словам, генерируемым системой WoS, – «Keyword Plus» (ключевые слова плюс).

В качестве аналитических инструментов использовались бесплатные программы:

- VOSviewer 1.6.15 – программный инструмент для построения и визуализации библиометрических сетей на основе цитирования, библиографических связей, совместного цитирования, соавторства или совместной встречаемости терминов [4].

- Bibliometrix – инструмент с открытым исходным кодом для количественного исследования в

наукометрии и библиометрии, который включает в себя все основные библиометрические методы анализа [5].

Построение и анализ ландшафта тематик научных публикаций на основе совместной встречаемости терминов и концептов

Использовались метаданные 2256 публикаций, экспортированных из базы WoS, собранные по запросу: «TITLE: («Renewable energy» OR «green energy» OR «clean energy»), Timespan: 2019–2020. Indexes: SCI-EXPANDED, SSCI, CPCI-S, ESCI, актуально на 26 мая 2020 г.».

Построение сети совместной встречаемости ключевых слов и их кластеризация осуществлялась с использованием программы VOSviewer 1.6.15.

Минимальная встречаемость ключевых слов, выбираемых для рассмотрения, равнялась четырем. Общее число ключевых слов в рассматриваемых 2256 публикациях (авторских и Keywords Plus, генерируемых WoS) – 9618. Число ключевых слов, встречаемых по крайней мере 4 раза, – 879, в дальнейшем по ним производился анализ. При проведении анализа написание ключевых слов переводилось в нижний регистр, слова не переводились на русский язык с целью сохранения их исходных значений.

Для сокращения числа кластеров, в которые агрегируются ключевые слова (KW), введено дополнительное ограничение: не менее 100 KW в кластере.

В табл. 1 представлены 40 терминов (Author KW + KW Plus), описывающих рассматриваемую предметную область, связанную с чистой энергетикой.

Доминируют ключевые слова, связанные с возобновляемой энергетикой, ее оптимизацией, эмиссией углекислого газа, генерацией и хранением энергии, перечислены виды возобновляемой энергии: энергия ветра, солнечная энергия, биомассы, используются термины, отражающие экономическую сторону энергетики: цена, управление, интеграция, рост экономики, инновации, эффективность, спрос, устойчивость. Китай также входит в список 40 наиболее часто встречаемых

ключевых слов. Экологическая кривая Кузнецца – данный термин широко используется в публикациях по теме «чистая энергетика», например [6].

Если рассматривать отдельно ключевые слова самих авторов, то при общем числе 6671 KW – 353 KW встречаются не менее четырех раз, при этом общее число ключевых слов плюс (Keywords Plus), генерируемых платформой WoS, – 3634, а встречаемых чаще четырех раз – 547.

Таблица 1

40 наиболее часто встречаемых ключевых слов в выборке из 2256 метаданных (Author Keywords и Keywords Plus)

Keyword	N-kw	Keyword	N-kw	Keyword	N-kw	Keyword	N-kw
renewable energy	641	storage	124	solar	87	power-generation	58
optimization	242	consumption	123	wind energy	85	biomass	56
generation	173	management	123	economic-growth	83	uncertainty	56
wind	169	model	122	technologies	82	cost	55
renewable energy sources	154	impact	112	sustainability	71	operation	55
system	148	power	108	China	66	demand response	53
CO ₂ emissions	137	electricity	100	efficiency	65	environmental Kuznets curve	53
design	132	wind power	96	energy storage	64	emissions	51
performance	130	policy	92	algorithm	60	impacts	50
systems	130	integration	88	innovation	58	solar energy	50

Примечания: keyword – название термина, N-kw – встречаемость термина.

В табл. 2 представлен результат сравнения 30 наиболее встречаемых ключевых слов авторов публикаций и ключевых слов платформы WoS. Из табл. 2 видно, что авторы чаще употребляют более общие термины для классификации своих публикаций: возобновляемая энергетика, источники возобновляемой энергетики, хранение энергии, энергетический переход, устойчивое развитие, изменение климата, а

платформа WoS, которая формирует список «ключевых слов плюс» на основе анализа полных текстов публикаций, несколько по-другому описывает тематику, в этом случае доминируют термины: оптимизация, генерация, система, управление, модель, интеграция, технологии, алгоритм и даже экологическая кривая Кузнецца, которые в большей степени описывают реализацию тем, заявленных в ключевых словах авторов.

Таблица 2

**Сравнение 30 наиболее встречаемых ключевых слов авторов публикаций
и ключевых слов платформы WoS**

Author Keywords	N-kw	Keywords Plus	N-kw
renewable energy	617	optimization	210
renewable energy sources	154	generation	173
energy storage	64	system	148
optimization	52	wind	148
solar energy	50	design	129
wind energy	49	systems	129
economic growth	48	performance	126
CO ₂ emissions	39	consumption	123
energy policy	39	management	123
energy transition	39	model	122
sustainability	38	storage	119
microgrid	36	impact	111
energy	34	CO ₂ emissions	109
sustainable development	34	power	107
uncertainty	33	electricity	93
energy efficiency	32	policy	85
renewable energy consumption	32	integration	84
climate change	31	economic-growth	83
demand response	30	technologies	81
hybrid renewable energy system	28	wind power	76
clean energy	27	solar	71
renewable energy resources	27	algorithm	59
china	25	power-generation	58
biomass	24	efficiency	55
wind	24	cost	54
wind power	24	operation	54
energy management	22	impacts	49
green energy	22	environmental Kuznets curve	48
photovoltaic	22	demand	46
renewables	22	emissions	45

Это отражается и на кластеризации ключевых слов авторов, ключевых слов платформы WoS и суммы данных ключевых слов. Кластеризация основана на совместной

встречаемости ключевых слов в публикации, алгоритм кластеризации детально описан в руководстве пользователя программы VOSviewer 1.6.15.

Выделение доминирующих ключевых слов в каждом кластере позволяет снизить предвзятость в дальнейшем сборе научных публикаций по более узкому вопросу, например, для составления систематического обзора [7]. Известная проблема узких специалистов: они хорошо видят свою тему, завышают значимость близких им ключевых терминов и склонны недооценивать чужую тематику [8, 9]. При этом значительная часть инноваций реализуется именно на стыке областей исследований.

В Приложении Б на рис. Б.1–Б.3 дано графическое представление результатов кластеризации совместной встречаемости ключевых слов, полученное с использованием программы VOSviewer 1.6.15.

Сопоставим 30 наиболее часто встречаемых ключевых слов (Author KW + KW Plus), полученных для пяти кластеров.

30 наиболее часто встречаемых ключевых слов (Author KW + KW Plus) *первого кластера*: renewable energy → 641; wind → 169; impact → 112; power → 108; electricity → 100; policy → 92; integration → 88; wind energy → 85; sustainability → 71; innovation → 58; cost → 55; impacts → 50; demand → 46; climate-change → 42; technology → 40; energy policy → 39; energy transition → 39; policies → 37; strategies → 37; barriers → 35; determinants → 34; energy → 34; investment → 33; resources → 33; transition → 32; climate change → 31; future → 29; acceptance → 28; market → 28; flexibility → 26 публикаций.

Тематика, связанная с данным кластером, касается в большей степени общих вопросов возобновляемой энергетики: задач интеграции, устойчивости, изменения климата, инноваций и технологий, энергетической политики и стратегии, энергетического перехода, ресурсов,

инвестиций, рынка, барьеров, приемлемости и гибкости решений.

Примеры статей, отражающих тематику *первого кластера*:

В статье Child et al. [10] продемонстрировано, что технологии хранения энергии и объединения энергосистем могут способствовать переходу на оптимальную с точки зрения затрат 100-процентную систему возобновляемой энергетики для Европы к 2050 г. В работе проведено сопоставление сценариев, в рамках которых конкретные страны и макрорегионы Европы либо являются энергетическими независимыми, либо связаны между собой, и проанализировано то, как это отразится на стоимости энергетической системы.

Согласно первому сценарию, в 2050 г. на солнечные фотоэлектрические электростанции будет приходиться 45% выработки энергии, на энергию ветра – 30% и 11% – на энергию гидроэлектростанций, в систему обмена возобновляемой энергетики будет включено 73% источников энергии, а согласно второму сценарию – 81%.

Основной целью публикации [11] является демонстрация возможностей, которые предоставляет объединение различных видов возобновляемой энергетики, средств аккумулирования энергии и передовых технологий для достижения целевых показателей реализации энергетического перехода.

Авторами разработан алгоритм, позволяющий оценить влияние внедрения ветровых и солнечных фотоэлектрических установок на возрастание доли возобновляемой энергетики в генерации электроэнергии. Результаты работы применены к данным по возобновляемой энергетике Германии.

30 наиболее часто встречаемых ключевых слов (Author KW + KW Plus) *второго кластера*: optimization → 242; generation → 173; renewable energy sources → 154; system → 148; design → 132; systems → 130; storage → 124; management → 123; model → 122; wind power → 96; energy storage → 64; algorithm → 60; uncertainty → 56; operation → 55; demand response → 53; simulation → 42; microgrids → 39; battery → 38; microgrid → 36; reliability → 35; distributed generation → 34; strategy → 31; electric vehicles → 28; solar power → 28; renewable energy resources → 27; implementation → 25; particle swarm optimization → 25; genetic algorithm → 24; unit commitment → 23; allocation → 22 публикации.

В данном кластере публикаций чаще всего рассматриваются вопросы оптимизации генерации электроэнергии из возобновляемых источников – в основном, это энергия ветра и солнца. При этом рассматривается широкий спектр вопросов, включающий управление; операционную деятельность; хранение энергии, включая батареи; развитие электротранспорта, распределенных источников генерации и микросетей; задачи моделирования и алгоритмы.

Примеры статей, отражающих тематику *второго кластера*:

В работе [12] предлагается программная платформа для надежной разработки многокомпонентных энергетических систем в условиях ограниченной информации о вводимых данных. Реализуется оптимальное проектирование децентрализованной системы, которая включает в себя возобновляемые источники энергии и системы хранения энергии. Задача решается

методом смешанного целочисленного линейного программирования, который оптимизирует работу системы с учетом потребностей конечных потребителей энергии, и минимизирует общие годовые затраты и выбросы CO₂.

В работе [13] авторы анализируют статистическую информацию о состоянии энергетической системы: потребности в электроэнергии и тепловой энергии, объемы аккумуляторных батарей и тепловых резервуаров, цены на электроэнергию и т.д.

Далее они решают проблему минимизации эксплуатационных затрат для типичной микросети, интегрированной с ТЭЦ, анализируют воздействие включения возобновляемых источников энергии и энергетических хранилищ на функционирование микросети. Результаты проведенного моделирования показали, что эксплуатационные затраты микросети могут быть значительно снижены при использовании предложенного авторами алгоритма.

30 наиболее часто встречаемых ключевых слов (Author KW + KW Plus) *третьего кластера*: solar → 87; technologies → 82; power-generation → 58; electricity-generation → 43; sustainable development → 43; PV → 42; feasibility → 41; framework → 40; solar-energy → 36; challenges → 35; power-system → 35; rural electrification → 34; decision-making → 28; hybrid renewable energy system → 28; optimal-design → 25; renewables → 22; selection → 22; plants → 21; renewable energies → 20; desalination → 19; network → 19; multiobjective optimization → 18; solar PV → 18; fuel-cell → 17; technoeconomic analysis → 16; topsis → 16; photovoltaics → 15; analytic hierarchy process → 14; hybrid renewable energy systems → 14; Pakistan → 14 публикаций.

Ключевые слова данного кластера в большей степени касаются вопросов генерации и технологий возобновляемой энергетики, ее устойчивому развитию, вызовам, принятию решений, гибридным системам, технологическому анализу, электрификации сельских районов, опреснению, оптимальному проектированию. Пакистан является примером развивающейся страны, для которой актуальны вышеперечисленные задачи.

Примеры статей, отражающих тематику *третьего кластера*:

В работе [14] анализируется применимость опыта Дании в использовании центрального отопления за счет использования солнечной энергии (solar district heating (SDH)) для Китая. Оценка применимости опыта проводилась с использованием методов анализа PEST (политика, экономика, социальные и технологические аспекты) и SWOT (сильные стороны, слабые места, возможности и угрозы). В 2014 г. на долю Китая приходилось 75,8% от общего количества солнечных коллекторов в мире и только менее чем 0,3% солнечных коллекторов были использованы для отопления помещений. Проведены исследования для определения применимости SDH в сельских районах. Обобщена стратегия развития SDH, дорожная карта и процесс принятия решений для проектов на основе SDH. Показана целесообразность использования SDH для таких удаленных районов как Тибет.

Авторы работы [15] изучали возможности электрификации сельских районов с использованием автономных систем возобновляемой энергетики как для отдельного дома, так и для общинной микросети. Проанализированы

шесть домашних систем и 15 микросетей, разработаны и оптимизированы прототипы систем для сельской общины на Филиппинах (рассматривались как автономные, так и гибридные энергосистемы). Показано, что гибридные системы, включающие в себя источники солнечной энергии и энергии ветра, при использовании свинцово-кислотных аккумуляторов, включенных в местную микросеть, имеют высокую эффективность. При этом PV-системы рациональнее использовать для отдельных домов, более крупные ветровые турбины – в общинных микросетях.

30 наиболее часто встречаемых ключевых слов (Author KW + KW Plus) *четвертого кластера*: performance → 130; efficiency → 65; biomass → 56; emissions → 51; solar energy → 50; hydrogen → 38; energy efficiency → 32; sustainable energy → 29; water → 27; green energy → 26; bioenergy → 24; life-cycle assessment → 24; carbon → 20; CO₂ → 18; dynamics → 17; oil → 17; biofuels → 16; biogas → 16; photovoltaic systems → 15; biofuel → 14; decomposition → 14; economy → 14; fuel → 14; circular economy → 13; temperature → 13; conversion → 12; hydrogen-production → 11; nanoparticles → 11; pyrolysis → 11; recovery → 11 публикаций.

В данном кластере обращают на себя внимание ключевые слова, связанные с биотопливом, с использованием биомассы как источника энергии, с водородом и его производством; дополняя это словами: emissions, water, carbon, CO₂, получаем тему зеленой энергетики (green energy). Эффективность энергетики (performance, efficiency, energy efficiency, sustainable energy, life-cycle assessment, dynamics, economy, circular economy) является доминирующей смысловой нагрузкой для данного кластера.

Примеры статей, отражающих тематику *четвертого кластера*:

В статье [16] отмечается, что в настоящее время возрастает потребность в альтернативных, экономичных, возобновляемых и «зеленых» источниках энергии, таких как водород. В последнее время большое внимание привлекают биологические методы производства водорода, так как традиционные методы являются дорогостоящими, энергоемкими и неэкологичными. Применение биологических методов позволит утилизировать отходы для производства энергии. Около 94% отходов в Индии чаще всего просто выбрасывается, а их количество растет примерно на 1,3% в год.

Авторами разрабатывается эффективный, двухступенчатый метод получения водорода из органических отходов. На первом этапе в результате темновой ферментации накапливаются летучие жирные кислоты, которые используются на втором этапе для фотоферментации подходящими бактериями. Основной задачей исследования явилась разработка условий совместного культивирования бактерий для темновой и фотоферментации в одном реакторе для улучшенного выхода водорода.

Общей целью работы [17] является исследование масштабов спроса на биомассу в системе полностью возобновляемых источников энергии. Экстенсивное землепользование для производства биомассы угрожает превысить допустимые значения, которые, по мнению международных экспертов, в 2050 г. составят около 10–30 ГДж на человека в год.

Из работы следует, что глобальный потенциал биомассы, т.е. сколько биомассы может быть доступно для биоэнергетики в будущем, к 2050 г. может составить не менее

100 ЭДж/год³, что эквивалентно 10 ГДж/чел/год при равномерном распределении потребления энергии. При этом спрос на биомассу для полностью возобновляемых источников энергии лежит в диапазоне от 0 ГДж/чел/год до 25 ГДж/чел/год в случае реализации высоко интегрированных, электрифицированных систем, включающих использование водорода, и более 200 ГДж/чел/год для плохо интегрированных сценариев с использованием биоэнергии без электрификации или водородной интеграции.

30 наиболее часто встречаемых ключевых слов (*Author KW + KW Plus пятого кластера*): CO₂ emissions → 137; consumption → 123; economic-growth → 83; China → 66; environmental Kuznets curve → 53; economic growth → 48; financial development → 45; cointegration → 43; nonrenewable energy → 42; panel-data → 42; clean energy → 40; carbon emissions → 39; countries → 39; electricity consumption → 38; growth → 37; trade → 35; carbon-dioxide emissions → 33; renewable energy consumption → 32; time-series → 31; unit-root tests → 30; empirical-evidence → 25; error-correction → 23; foreign direct-investment → 22; panel → 22; energy consumption → 21; GDP → 20; nexus → 20; urbanization → 20; output → 18; trade openness → 18 публикаций.

Данный кластер в первую очередь касается темы эмиссии углекислого газа, вызванного экономическим ростом в таких странах как Китай, который требует большего потребления энергии как из возобновляемых, так и невозобновляемых источников; для развивающихся стран характерно возрастание урбанизации, важность прямых зарубежных инвестиций и развития торговли.

³ ЭДж – 1 exajoule = 10¹⁸ joules

Примеры статей, отражающих тематику *пятого кластера*:

В работе [18] исследуется причинно-следственная связь между выбросами углекислого газа, потреблением энергии, возобновляемыми источниками энергии, ростом численности населения и экономическим ростом стран региона. Анализ данных проведен для пяти членов АСЕАН (Индонезии, Мьянмы, Малайзии, Филиппин и Таиланда) за период 1971–2014 гг. Результаты не выявили долгосрочной взаимосвязи между рассматриваемыми переменными для Филиппин и Таиланда, однако такая взаимосвязь существует для Индонезии, Мьянмы и Малайзии. Связь между переменными для разных стран значительно варьируется. В Малайзии, Таиланде и Филиппинах связь между выбросами углерода, потреблением энергии и потреблением возобновляемых источников энергии отсутствует. В Индонезии наблюдается однонаправленная зависимость экономического роста от потребления возобновляемой энергии как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе, а также зависимость увеличения выбросов CO₂ от экономического роста и потребления энергии. В Мьянме, до внедрения возобновляемых источников энергии, наблюдался однонаправленный эффект зависимости потребления энергии от роста ВВП и численности населения.

В работе [19] отмечается, что Китай является крупнейшим в мире источником парниковых газов, диоксида серы, оксидов азота и твердых частиц, поскольку он потребляет самое большое в мире количество энергии: 67% потребления – первичная энергия и 73% – выработка электроэнергии из угля. Чтобы справиться с проблемами энергетической безопасности и окружающей

среды, Китай активно развивает возобновляемую энергетику с 2000 г. и добился быстрого прогресса (со среднегодовым темпом роста в 62,5% за последнее десятилетие). Китай планирует достичь 16% потребления возобновляемых источников энергии (ВИЭ) к 2030 г., оптимистические прогнозы показывают, что Китай может достичь 26% к 2030 г. и 60% – к 2050 г., при этом генерация электроэнергии из ВИЭ может составлять 86%. С другой стороны, китайские ветряные и солнечные энергетические технологии недостаточно рентабельны и в настоящее время возобновляемая энергетика все еще не конкурентоспособна.

В качестве примера публикации, отражающей такие ключевые слова пятого кластера как: *consumption, electricity consumption, renewable energy consumption, energy consumption, cointegration, time-series, trade openness*, а также нарождающегося интереса к тематике «Управление спросом» (*Demand response – DR*), показанного на рис. Б.4 Приложения Б, можно предложить работу [20]. Управление спросом нацелено на регулирование цены на электроэнергию, снижение потребности в строительстве генерирующих и сетевых мощностей, интеграцию ВИЭ и электротранспорта, внедрение инновационных цифровых технологий на стороне потребителя.

Государства Евросоюза, Австралия, Китай и Япония внедряют механизмы управления спросом для формирования локальных энергорынков.

Управление спросом начало внедряться в США в 1999 г, в Южной Корее – в 2014 г., в России – в 2017 г. Управление спросом начало внедряться в США в 1999 г, в Южной Корее – в 2014 г., в России – в 2017 г.

Для вовлечения потребителей в процессы управления спросом (DR) необходимо внедрять экономические стимулы, технические решения и правовое регулирование. В ряде зарубежных энергосистем внедрение механизма DR позволило организовать централизованное управление ресурсами потребителей в объеме 2–6% от пикового спроса.

Для эффективного решения задач управления спросом, особенно для систем, включающих ВИЭ, необходимо развивать локальные энергетические рынки [21, 22].

Программа VOSviewer 1.6.15 позволяет не только производить кластеризацию на основе совместной встречаемости ключевых слов в документах, но и рассматривать использование ключевых слов на временной шкале. При этом детальное изучение отдельных участков кластеров позволяет выделить участок нарождающейся тематики исследований. В качестве такого примера на рис. Б.4 Приложения Б графически показан участок кластера, отражающий нарождающуюся тематику «Управление спросом».

В качестве примера сравнения результатов кластеризации ключевых слов, полученных с использованием разных алгоритмов, в таблицах А.2 и А.3 Приложения А представлены по три кластера наиболее часто встречаемых Author Keywords и Keywords Plus. Кластеризация проведена с использованием программы Bibliometrix [5].

Выводы

Тематика, отражающая содержание Программы по переходу на экологически

чистую энергетику (Clean Energy Transitions Programme – CETP) широко представлена в научных статьях, индексируемых в реферативной базе данных Web of Science; за период 2019–2020 гг. опубликовано 2256 работ.

Доминирующие ключевые слова, описывающие рассматриваемую предметную область, связаны с возобновляемой энергетикой, ее оптимизацией, эмиссией углекислого газа, генерацией и хранением энергии, конкретными видами возобновляемой энергии: энергией ветра, солнечной энергией, переработкой биомассы; используются термины, отражающие экономическую сторону энергетики: цена, управление, интеграция, рост экономики, инновации, эффективность, спрос, устойчивость.

Показано, что авторы чаще употребляют более общие термины для классификации своих публикаций: возобновляемая энергетика, источники возобновляемой энергетики, хранение энергии, энергетический переход, устойчивое развитие, изменение климата. Ключевые слова платформы WoS в большей степени описывают конкретные процессы, используя термины: оптимизация, генерация, система, управление, модель, интеграция, технологии, алгоритм, экологическая кривая Кузнецца.

Проведена кластеризация ключевых слов на основе их совместной встречаемости в документах, которая позволила выявить 5 устойчивых подтем (кластеров) в тематике чистой энергетики.

На примере термина Demand response показана возможность использования библиометрического анализа для выделения нарождающейся тематики.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)», № АААА-А19-119013190038-2).

Литература

1. Special report on clean energy innovation. Accelerating technology progress for a sustainable future. IEA report, July 2020. 185 p. <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation> (Дата обращения 10.07.2020).
2. Nuclear power in a clean energy system. IEA report, May 2019. 103 p. <https://webstore.iea.org/download/direct/2779> (Дата обращения 10.07.2020).
3. World energy investment 2020. IEA report, May 2020. 207 p. <https://webstore.iea.org/download/direct/3003> (Дата обращения 10.07.2020).
4. van Eck N.J., Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping // *Scientometrics*. 2009. Vol. 84, No. 2. P. 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
5. Aria M., Cuccurullo C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis // *Journal of Informetrics*. 2017. Vol. 11, No. 4. P. 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
6. Шкуперова Г.Т. Экологическая кривая Кузнеца как инструмент исследования регионального развития // *Экономический анализ: теория и практика*. 2013. № 19. С. 8–16. <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-krivaya-kuznetsa-kak-instrument-issledovaniya-regionalnogo-razvitiya> (Дата обращения 10.07.2020).
7. Li D., Wang Z., Wang L., Sohn S., Shen F., Murad M.H., Liu H. A text-mining framework for supporting systematic reviews // *American Journal of Information Management*. 2016. Vol. 1, No. 1. P. 1–9. <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=105&doi=10.11648/j.infomgmt.20160101.11> (Дата обращения 10.07.2020).
8. Blankson S.K.K. Past, present and future as time in the age of science. 2nd ed. London: Blankson Enterprises Ltd., 2016. 212 p.
9. Breit W., Culbertson W.P., Jr. Science and ceremony: The institutional economics of C. E. Ayres. Austin: University of Texas Press, 2014. 228 p.
10. Child M., Kemfert C., Bogdanov D., Breyer C. Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe // *Renewable Energy*. 2019. Vol. 139. P. 80–101. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.077>
11. Tafarte P., Eichhorn M., Thrän D. Capacity expansion pathways for a wind and solar based power supply and the impact of advanced technology – A case study for Germany // *Energies*. 2019. Vol. 12, No. 2. P. 324. <https://doi.org/10.3390/en12020324>
12. Gabrielli P., Fürer F., Mavromatidis G., Mazzotti M. Robust and optimal design of multi-energy systems with seasonal storage through uncertainty analysis // *Applied Energy*. 2019. Vol. 238. P. 1192–1210. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.064>
13. Zhang G., Shen Z., Wang L. Online energy management for microgrids with CHP co-generation and energy storage // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2020. Vol. 28, No. 2. P. 533–541. <https://doi.org/10.1109/tcst.2018.2873193>
14. Huang J., Fan J., Furbo S. Feasibility study on solar district heating in China // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 108. P. 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.014>

15. *Aberilla J.M., Gallego-Schmid A., Stamford L., Azapagic A.* Design and environmental sustainability assessment of small-scale off-grid energy systems for remote rural communities // *Applied Energy*. 2020. Vol. 258. P. 114004. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114004>
16. *Sharma S., Basu S., Shetti N.P., Aminabhavi T.M.* Waste-to-energy nexus for circular economy and environmental protection: Recent trends in hydrogen energy // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 713. P. 136633. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136633>
17. *Mortensen A.W., Mathiesen B.V., Hansen A.B.* et al. The role of electrification and hydrogen in breaking the biomass bottleneck of the renewable energy system – A study on the Danish energy system // *Applied Energy*. 2020. Vol. 275. P. 115331. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115331>
18. *Vo A.T., Vo D.C., Le Q.T.* CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth: new evidence in the ASEAN countries // *Journal of Risk and Financial Management*. 2019. Vol. 12, No. 3. P. 145. <https://doi.org/10.3390/jrfm12030145>
19. *Yang X.J., Hu H., Tan T., Li J.* China's renewable energy goals by 2050 // *Environmental Development*. 2016. Vol. 20. P. 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.10.001>
20. Demand response на российском рынке: барьеры и перспективы. VYGON Consulting. Декабрь 2018. 58 с. http://vygon.consulting/upload/iblock/7c7/vygon_consulting_dr.pdf (Дата обращения 10.07.2020).
21. *Siano P., De Marco G., Rolan A., Loia V.* A survey and evaluation of the potentials of distributed ledger technology for peer-to-peer transactive energy exchanges in local energy markets // *IEEE Systems Journal*. 2019. Vol. 13, No. 3. P. 3454–3466. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2903172>
22. *Etukudor C., Couraud B., Robu V.* et al. Automated negotiation for peer-to-peer electricity trading in local energy markets // *Energies*. 2020. Vol. 13, No. 4. P. 920. <https://doi.org/10.3390/en13040920>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А

Таблица А.1

**Основная информация по 2256 библиометрическим данным базы Web of Science
по теме «Чистая энергетика»**

Description	Results	Описание
<i>Main information about data</i>		<i>Основная информация</i>
Timespan	2019:2020	Временной диапазон
Sources (Journals, Books etc.)	665	Источники (журналы, книги и т.д.)
Documents	2147	Число документов
Average years from publication	0.747	Среднее время с момента публикации
Average citations per documents	2.044	Средняя цитируемость документа
Average citations per year per doc	1.094	Средняя цитируемость в год
References	80193	Число ссылок
<i>Document types</i>		<i>Типы документов</i>
Article	1577	Статьи
book chapter	1	Главы из книг
data paper	4	Публикация данных
Book review	11	Рецензии на книгу
Correction	11	Исправления
Editorial material	62	Редакционные материалы
Letter	2	Письма
Meeting abstract	15	Аннотации совещаний
News item	13	Новостные материалы
Proceedings paper	303	Материалы конференций
Review	148	Обзоры
<i>Document contents</i>		<i>Содержание документов</i>
Keywords Plus (ID)	3594	Ключевые слова плюс
Author Keywords (DE)	6810	Авторские ключевые слова
<i>Authors</i>		<i>Авторы</i>
Authors	6446	Число авторов
Author Appearances	7658	Встречаемость авторов
Authors of single-authored documents	206	Авторы без соавторов
Authors of multi-authored documents	6240	Авторы в соавторстве
<i>Authors collaboration</i>		<i>Сотрудничество авторов</i>
Single-authored documents	224	Число документов с одним автором
Documents per Author	0.333	Число документов на одного автора
Authors per Document	3	Число авторов на один документ
Co-Authors per Documents	3.57	Среднее число авторов на документ
Collaboration Index	3.24	Индекс сотрудничества

Таблица А.2

**35 наиболее часто встречаемых ключевых плюс слов для трех кластеров:
consumption, impact и optimization**

KW_N	Cluster_1	KW_N	Cluster_2	KW_N	Cluster_3
130	<i>consumption</i>	111	<i>impact</i>	220	<i>optimization</i>
98	CO ₂ emissions	99	electricity	174	generation
85	economic-growth	89	policy	155	system
64	emissions	55	efficiency	150	wind
48	environmental Kuznets curve	50	impacts	132	systems
45	cointegration	46	innovation	131	performance
43	China	42	climate-change	129	design
42	panel-data	39	technology	126	management
40	countries	39	framework	125	model
35	nonrenewable energy	38	wind energy	123	storage
34	growth	38	sustainability	112	power
33	determinants	36	policies	84	integration
33	electricity consumption	32	challenges	82	technologies
32	trade	31	transition	76	wind power
31	time-series	31	acceptance	72	solar
30	financial development	30	barriers	64	algorithm
30	carbon-dioxide emissions	28	market	58	power-generation
29	unit-root tests	28	future	56	operation
28	renewable energy	25	support	54	cost
27	carbon emissions	25	implementation	48	demand
25	empirical-evidence	23	attitudes	43	electricity-generation
25	panel	23	risk	41	feasibility
24	carbon	20	climate	38	biomass
23	error-correction	20	security	36	simulation
22	CO ₂	20	benefits	36	solar-energy
22	prices	19	politics	35	strategies
20	nexus	19	deployment	35	power-system
19	foreign direct-investment	18	diffusion	33	resources
18	tests	18	investment	32	PV
17	output	17	models	32	strategy
16	natural-gas	16	projects	28	water
16	gdp	16	costs	28	uncertainty
16	oil	15	drivers	25	microgrids
16	dynamics	15	governance	25	optimal-design
15	decomposition	15	green	25	rural electrification

Примечания: KW_N – встречаемость ключевого слова.

Алгоритм кластеризации – Louvain, минимальное число ключевых слов в кластере – 5, для анализа использовались 250 наиболее часто встречаемых ключевых слов. Кластер «Оптимизация» доминирует в ключевых словах платформы WoS (Keyword Plus) темы «Чистая энергетика».

Таблица А.3

**Наиболее часто встречаемые авторские ключевые слова для трех кластеров:
renewable energy, power и renewable energy sources**

KW_N	Cluster_1	KW_N	Cluster_1	KW_N	Cluster_2	KW_N	Cluster_3
648	<i>renewable energy</i>	32	<i>renewable energy consumption</i>	34	<i>power</i>	132	<i>renewable energy sources</i>
131	energy	32	sustainable development	27	wind power	65	energy storage
69	renewable	29	energy efficiency	20	control	37	uncertainty
63	optimization	28	battery	20	renewable energy system	28	demand response
47	wind energy	27	clean energy	18	power system	23	system
46	economic growth	25	photovoltaic	18	sources	22	reliability
44	solar energy	25	China	17	power grids	18	energy storage system
43	sustainability	24	biomass	17	hybrid	17	programming
41	energy policy	23	renewable energy resources	16	solar power	15	systems
39	wind	23	energy management	16	smart grid	14	planning
36	microgrid	22	hybrid renewable energy system	16	power generation control	13	scheduling
36	solar	22	renewables	15	electric vehicles	13	power generation
34	energy transition	21	green energy	14	generation	12	management
34	CO ₂ emissions	21	investment	14	electricity	11	wind turbines
32	climate change	20	hydrogen	12	voltage control	11	demand side management

Примечания: Первые два столбца KW_N относятся к одному кластеру, который существенно доминирует над остальными.

В авторских ключевых словах существенно доминирует термин «возобновляемая энергетика». По мнению автора данной работы, ключевые слова, генерируемые алгоритмами машинного обучения на базе текстов, индексируемых реферативными базами, представляют больший интерес для библиометрического анализа, чем авторские ключевые слова, которые более подвержены влиянию доминирующих шаблонов (renewable energy является типичным примером такого шаблона).

Графическое представление некоторых результатов библиометрического анализа, полученное с использованием программы VOSviewer

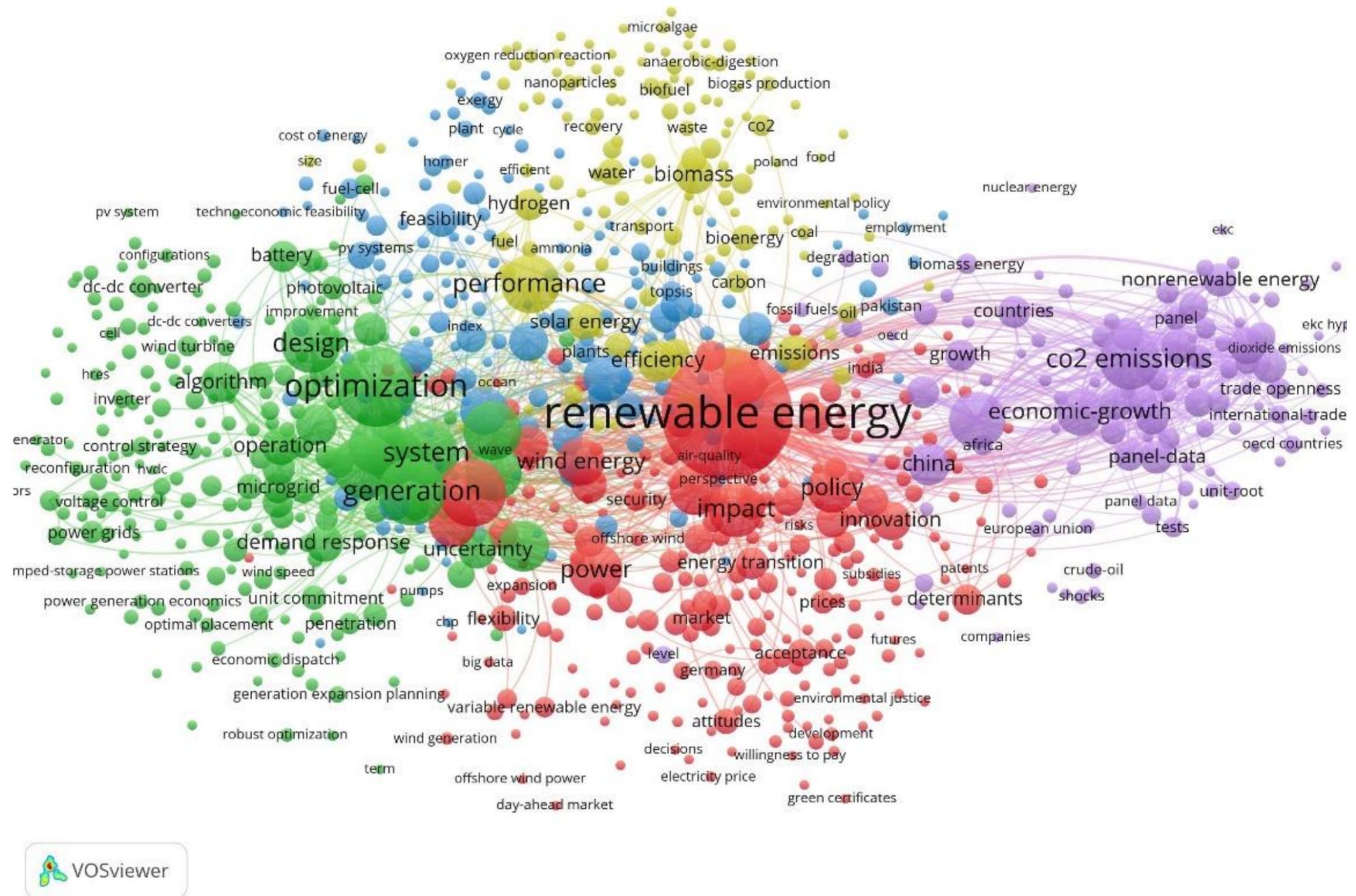


Рис. Б.1. Графическое представление кластеризации совместной встречаемости всех ключевых слов (Author KW + KW Plus)

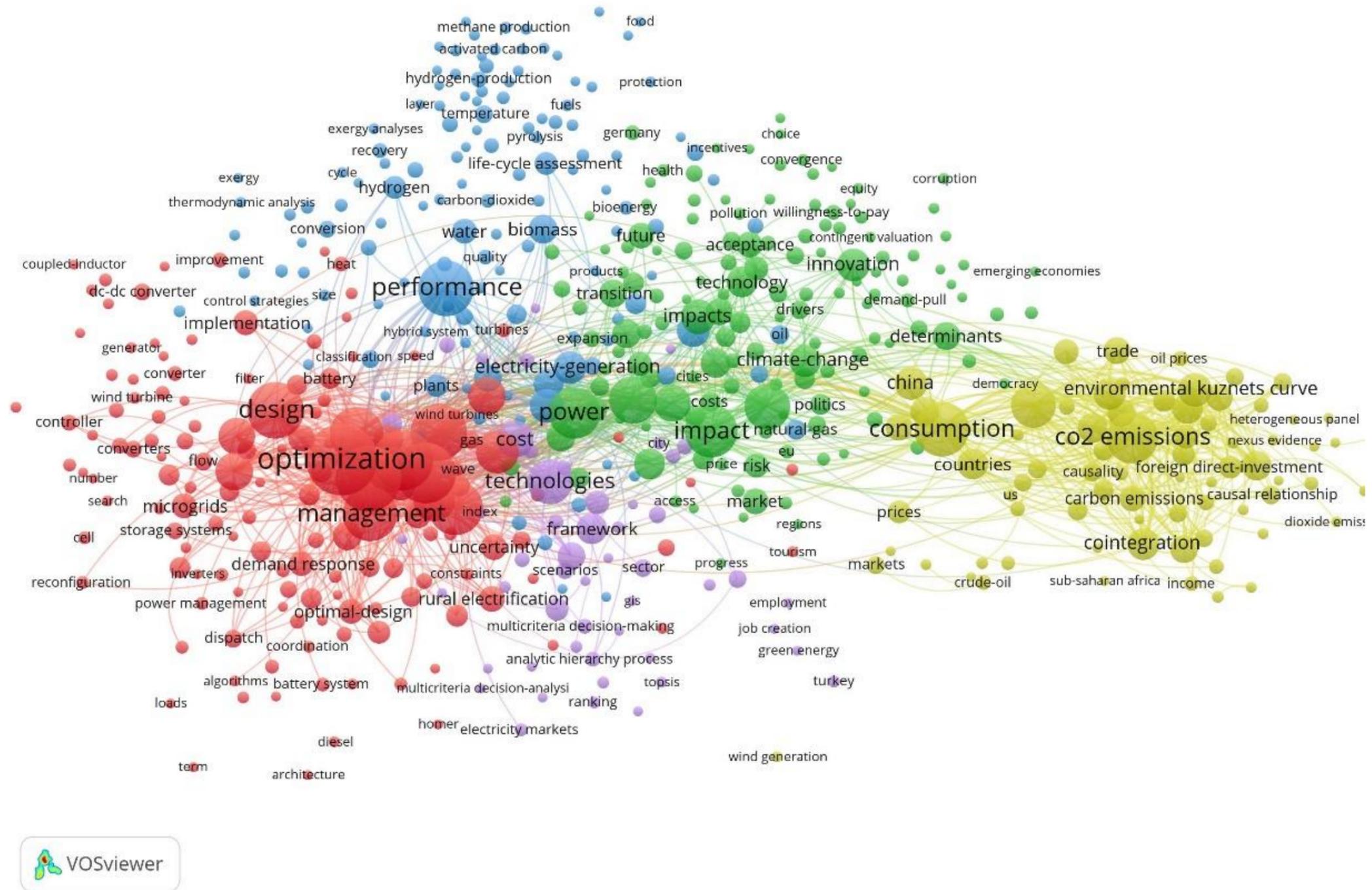


Рис. Б.3. Графическое представление кластеризации совместной встречаемости «ключевых слов плюс» платформы WoS

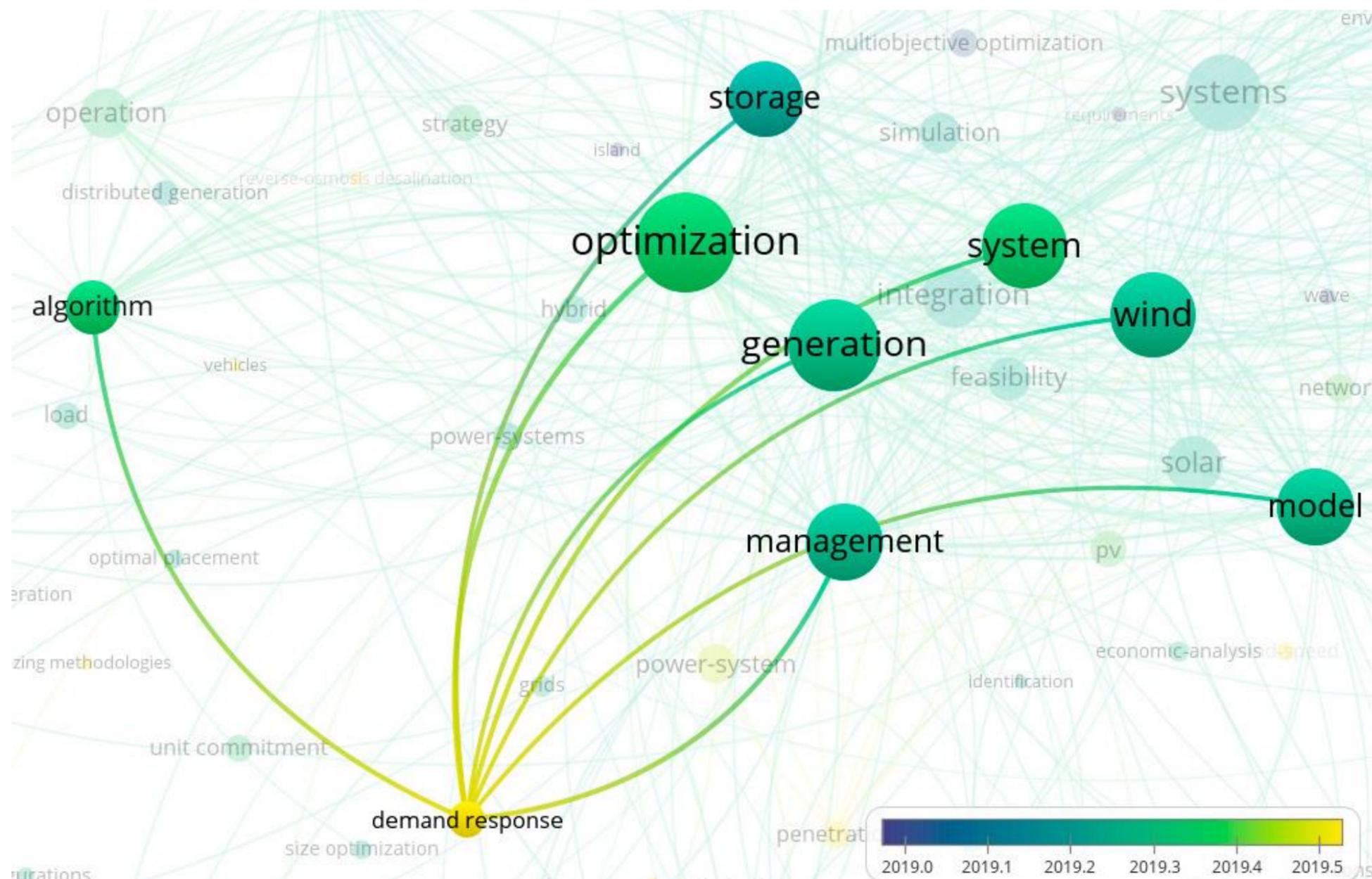


Рис. Б.4. Пример выделения нарождающейся тематики

Управление спросом – нарождающаяся тематика, которая отражает развитие систем управления генерацией в зависимости от спроса на энергоресурс, оптимизация работы таких систем требует как разработки моделей и алгоритмов управления, так и создания систем хранения, например, для ветровой энергетики.

Web of Science publications for 2019–2020 on clean energy issues: an analysis of subject areas

B.N. Chigarev

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

E-mail: bchigarev@ipng.ru

Abstract. A brief discussion on the Clean Energy Transitions Programme is presented. The keywords of 2256 publications indexed in the Web of Science abstract database for the period 2019–2020 are analyzed. It is shown that the dominant keywords describe well the subject area under review related to renewable energy, its optimization, carbon dioxide emission, energy generation and storage, specific types of renewable energy, economic growth, innovation, efficiency, demand and sustainability. In doing so, authors are more likely to use more general terms to classify their publications, and keywords plus of the Web of Science platform are more likely to describe specific processes related to the transition to clean energy. Basing on keyword clustering, 5 sustainable sub-themes in the clean energy theme are identified. It is demonstrated that bibliometric analysis can be used to highlight emerging topics.

Keywords: Clean Energy Transition Programme, International Energy Agency, keywords, clustering, co-occurrence, bibliometric analysis, Web of Science abstract database.

Citation: *Chigarev B.N.* Web of Science publications for 2019–2020 on clean energy issues: an analysis of subject areas // Actual Problems of Oil and Gas. 2020. Iss. 2(29). P. 111–132. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-29.art9> (In Russ.).

References

1. Special report on clean energy innovation. Accelerating technology progress for a sustainable future. IEA report, July 2020. 185 p. <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation> (Accessed on 10.07.2020).
2. Nuclear power in a clean energy system. IEA report, May 2019. 103 p. <https://webstore.iea.org/download/direct/2779> (Accessed on 10.07.2020).
3. World energy investment 2020. IEA report, May 2020. 207 p. <https://webstore.iea.org/download/direct/3003> (Accessed on 10.07.2020).
4. *van Eck N.J., Waltman L.* Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping // *Scientometrics*. 2009. Vol. 84, No. 2. P. 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
5. *Aria M., Cuccurullo C.* Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis // *Journal of Informetrics*. 2017. Vol. 11, No. 4. P. 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
6. *Shkiperova G.T.* The environmental Kuznets curve as a tool for regional development research // *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2013. No. 19. P. 8–16. <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-krivaya-kuznetsa-kak-instrument-issledovaniya-regionalnogo-razvitiya> (Accessed on 10.07.2020). (In Russ.).
7. *Li D., Wang Z., Wang L., Sohn S., Shen F., Murad M.H., Liu H.* A text-mining framework for supporting systematic reviews // *American Journal of Information Management*. 2016. Vol. 1, No. 1. P. 1–9. <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=105&doi=10.11648/j.infomgmt.20160101.11> (Accessed on 10.07.2020).

8. *Blankson S.K.K.* Past, present and future as time in the age of science. 2nd ed. London: Blankson Enterprises Ltd., 2016. 212 p.
9. *Breit W., Culbertson W.P., Jr.* Science and ceremony: The institutional economics of C. E. Ayres. Austin: University of Texas Press, 2014. 228 p.
10. *Child M., Kemfert C., Bogdanov D., Breyer C.* Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe // *Renewable Energy*. 2019. Vol. 139. P. 80–101. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.077>
11. *Tafarte P., Eichhorn M., Thrän D.* Capacity expansion pathways for a wind and solar based power supply and the impact of advanced technology – A case study for Germany // *Energies*. 2019. Vol. 12, No. 2. P. 324. <https://doi.org/10.3390/en12020324>
12. *Gabrielli P., Fürer F., Mavromatidis G., Mazzotti M.* Robust and optimal design of multi-energy systems with seasonal storage through uncertainty analysis // *Applied Energy*. 2019. Vol. 238. P. 1192–1210. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.064>
13. *Zhang G., Shen Z., Wang L.* Online energy management for microgrids with CHP co-generation and energy storage // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2020. Vol. 28, No. 2. P. 533–541. <https://doi.org/10.1109/tcst.2018.2873193>
14. *Huang J., Fan J., Furbo S.* Feasibility study on solar district heating in China // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 108. P. 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.014>
15. *Aberilla J.M., Gallego-Schmid A., Stamford L., Azapagic A.* Design and environmental sustainability assessment of small-scale off-grid energy systems for remote rural communities // *Applied Energy*. 2020. Vol. 258. P. 114004. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114004>
16. *Sharma S., Basu S., Shetti N.P., Aminabhavi T.M.* Waste-to-energy nexus for circular economy and environmental protection: Recent trends in hydrogen energy // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 713. P. 136633. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136633>
17. *Mortensen A.W., Mathiesen B.V., Hansen A.B.* et al. The role of electrification and hydrogen in breaking the biomass bottleneck of the renewable energy system – A study on the Danish energy system // *Applied Energy*. 2020. Vol. 275. P. 115331. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115331>
18. *Vo A.T., Vo D.C., Le Q.T.* CO₂ emissions, energy consumption, and economic growth: new evidence in the ASEAN countries // *Journal of Risk and Financial Management*. 2019. Vol. 12, No. 3. P. 145. <https://doi.org/10.3390/jrfm12030145>
19. *Yang X.J., Hu H., Tan T., Li J.* China's renewable energy goals by 2050 // *Environmental Development*. 2016. Vol. 20. P. 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.10.001>
20. Demand response on the Russian market: barriers and prospects. VYGON Consulting. December 2018. 58 p. http://vygon.consulting/upload/iblock/7c7/vygon_consulting_dr.pdf (Accessed on 10.07.2020). (In Russ.).
21. *Siano P., De Marco G., Rolan A., Loia V.* A survey and evaluation of the potentials of distributed ledger technology for peer-to-peer transactive energy exchanges in local energy markets // *IEEE Systems Journal*. 2019. Vol. 13, No. 3. P. 3454–3466. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2903172>
22. *Etukudor C., Couraud B., Robu V.* et al. Automated negotiation for peer-to-peer electricity trading in local energy markets // *Energies*. 2020. Vol. 13, No. 4. P. 920. <https://doi.org/10.3390/en13040920>