

УДК 91-914/919

ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ США: ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ И СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ

© 2023 г. Т. И. Горкина*

Институт географии РАН, Москва, Россия

**e-mail: gorkinati@yandex.ru*

Поступила в редакцию 22.08.2021 г.

После доработки 03.04.2023 г.

Принята к публикации 22.09.2023 г.

Статья посвящена современным трендам развития электроэнергетики США, которая на протяжении многих десятилетий занимала лидирующее положение в мире по производству электроэнергии. На основе полимасштабного исследования анализируется территориально-производственная структура отрасли, формирование которой началось в 1870-е годы. Кратко охарактеризована динамика развития электроэнергетики с начала ее возникновения. На основе данных по отдельным электростанциям рассмотрено размещение отрасли по территории страны и изменения ее территориально-производственной структуры. Рассчитана степень территориальной концентрации установленных мощностей по трем категориям: электростанции, расположенные на территории городских агломераций (метрополитенских статистических ареалов); электростанции в графствах, граничащих с агломерациями; электростанции, расположенные вне этих ареалов. При расчете концентрации учитывались электростанции мощностью более 50 МВт каждая, что составляет почти 70% суммарной мощности всех станций. Показана роль государства в становлении и развитии отрасли на разных этапах ее развития. Рассматриваются основные факторы размещения, особое внимание уделено факторам размещения АЭС. Проведены расчеты коэффициентов корреляции между: генерацией электроэнергии и размещением обрабатывающей промышленности; генерацией электроэнергии и численностью населения; генерацией электроэнергии и величиной энергетических ресурсов.

Ключевые слова: электростанция, установленные мощности, производство электроэнергии, ВИЭ, государственное регулирование, факторы размещения, США

DOI: 10.31857/S2587556623080071, **EDN:** XWLCBL

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время, когда в мировой энергетике происходит энергетический переход, в значительной мере вызванный обострением экологической проблемы в глобальном масштабе, усиливается роль и значение электроэнергетики как отрасли, которая в наибольшей степени может способствовать улучшению природной среды. Важное место в мире занимает электроэнергетика США, которая на протяжении многих десятилетий была лидером, занимая первое место в мире по установленным мощностям электростанций и производству электроэнергии, поэтому важно провести анализ состояния территориально-производственной структуры (ТПС)¹ электроэнергетики США, как в динамике ее развития, так и с

учетом современных трендов развития мировой энергетике. Для достижения поставленной цели были выявлены основные закономерности размещения отрасли и происходящие в ней структурные и территориальные сдвиги. Также были изучены основные факторы, влияющие на ТПС. Анализ ТПС отрасли произведен на основе девяти районов Бюро цензов США, исторически объединяемых в три крупных экономических района: Север (Новая Англия, Среднеатлантические штаты, Северо-Восточный центр, Северо-Западный центр), Юг (Южно-Атлантические штаты, Юго-Восточный центр, Юго-Западный центр), Запад (Тихоокеанские штаты, Горные штаты).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач использовались различные методы, в первую очередь метод специальных экономико-географических харак-

¹ ТПС – размещение предприятий и подсистем в пределах объектов пространственной структуры системы (мир, макрорегион) (Большая ..., 2007).

теристик, разработанный в 1970-х годах в лаборатории географии мирового хозяйства Института географии РАН (ныне — лаборатория географии мирового развития) под руководством проф. В.М. Гохмана. Он считал, что основная функция таких специальных характеристик — это выявление размещения отдельных составляющих экономического потенциала для того, чтобы показать степень их территориальной концентрации² и установить значение отдельных центров.

При анализе ТПС упор делается на точечные объекты, в данной работе — на электростанции. В качестве исходных данных используется такой показатель, как установленные мощности электростанций, который характеризует как отдельный объект, так и отрасль в целом. Это особенно важно, поскольку он не зависит от случайных колебаний в экономике, затрагивающих весь хозяйственный комплекс.

Для более глубокого изучения ТПС отрасли используются также технико-экономические характеристики, от которых зависят размещение электростанций в каждом районе. Помимо этого, в работе используются традиционные методы экономической географии — сравнительно-географический, типологический, а также элементы математической статистики.

Информационной основой данной статьи стала картотека электростанций США мощностью 50 МВт каждая, на долю которых приходится до 70% всей генерации электроэнергии. Картотека составлена автором на основе справочников по электроэнергетике США с 1960-х годов по настоящее время. Широко использовались справочники, издаваемые US Energy Information Administration, а также другими организациями, в частности International Energy Agency. В последнее десятилетие по географии электроэнергетики США практически не было опубликовано работ в ведущих российских журналах. Последняя отечественная монография по этой теме (Р.П. Куропятник, “Развитие электроэнергетики в США”) была издана в 1961 г. Из доступных автору американских источников можно отметить монографию “America’s electrical utilities; past, present and future” (L.S. Huanan, 1988 г.). В последнее десятилетие не было опубликовано комплексных работ по географии электроэнергетики. Наиболее интересные монографии Р.Дж. Майклс “Политика в области электроэнергетики в Калифорнии” (2004 г.) и Д.М. Ньюбери “Приватизация, реструктуризация и регулирование сетевых компаний” (2003 г.). Большое внимание отводится энергетике в целом, где затрагиваются проблемы электроэнергетики, причем значительная часть в настоящее

время посвящена проблемам развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В рамках настоящей статьи под ВИЭ понимаются ветряные (ВЭС), солнечные (СЭС) электростанции и станции на других видах возобновляемой энергии, кроме гидроэнергии. Как правило, электроэнергетика США представлена или в виде обзоров, публикуемых различными организациями, занимающимися проблемами энергетики в целом, или как отдельные главы в монографиях по страноведению и общим проблемам энергетики. Такое же положение сложилось и с публикациями в американской печати.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Электроэнергетика относится к числу отраслей с высоким уровнем инерционности в размещении. Большие размеры территории привели к тому, что в США нет узлов сосредоточения электростанций национального значения. Современные тренды развития отрасли направлены на выравнивание размещения по штатам. В электроэнергетике можно выделить такие базовые тренды, как развитие низкоуглеродной электроэнергетики, децентрализация, энергосбережение на основе цифровизации отрасли. Энергетическая стратегия США предполагает трансформацию и модернизацию отрасли на основе концепции Smart Grid³. Внедрение этой системы стало возможно благодаря индустрии 4.0, основанной на прорывных цифровых технологиях. В результате появилась новая модель развития высокотехнологической отрасли, которая предполагает органическое соединение базовой электроэнергетики с новыми кластерами на базе ВИЭ. Новая концепция развития предполагает модернизацию сетевых активов с участием потребителей (Smart ..., 2022).

Современные тренды развития электроэнергетики меняют ТПС на уровне штатов незначительно (табл. 1). Более заметно эти тенденции отразились на размещении установленных мощностей по метрополитенским статистическим ареалам (МСА), где территориальная концентрация снизилась в среднем на треть. Этот показатель был рассчитан по трем категориям: электростанции, расположенные в пределах МСА; в графствах, граничащих с МСА; на прочих территориях. Исходя из этой типологии можно сделать вывод, что городская электроэнергетика занимает важное место в ТПС отрасли, поскольку в МСА сосредоточена основная часть промышленного потенциала. Так, в структуре потребления электроэнергии на долю промышленности приходится 26%

² Территориальная концентрация — сосредоточение предприятий в отдельных пунктах, ареалах и районах страны (Географический ..., 1988).

³ Smart Grid — интеллектуальная система, включающая в себя все генерирующие источники, распределительные сети, все виды потребителей. Эта система управляется единой сетью в режиме реального времени (Гамонов, 2015).

Таблица 1. 10 ведущих штатов по установленным мощностям электростанций в 1960–2020 гг.

1960 г.		1980 г.		2000 г.		2020 г.	
Штат	ГВт	Штат	ГВт	Штат	ГВт	Штат	ГВт
Калифорния	12.8	Техас	54.9	Техас	81.9	Техас	120.5
Нью-Йорк	11.8	Калифорния	38.2	Калифорния	52.3	Калифорния	74.9
Огайо	10.6	Пенсильвания	34.4	Флорида	41.5	Флорида	60.8
Техас	10.0	Нью-Йорк	31.1	Пенсильвания	36.8	Пенсильвания	47.8
Иллинойс	9.4	Флорида	30.0	Иллинойс	36.3	Иллинойс	44.3
Пенсильвания	9.2	Иллинойс	29.9	Джорджия	27.8	Нью-Йорк	41.1
Теннесси	7.5	Огайо	27.4	Огайо	26.5	Джорджия	36.6
Вашингтон	7.2	Вашингтон	23.3	Алабама	24.0	Северная Каролина	34.7
Мичиган	6.8	Мичиган	22.6	Северная Каролина	23.3	Вашингтон	30.9
Индиана	6.5	Алабама	19.1	Индиана	22.7	Мичиган	29.4
Итого, %	49.2	Итого, %	48.8	Итого, %	46.4	Итого, %	46.8

Составлено по: Statistical Abstract of the U.S. 1962. U.S. Government Printing Office, 1964. 675 p.; Statistical Abstract of the U.S. 1981. U.S. Government Printing Office, 1982. 697 p.; Statistical Abstract of the U.S. 2002. U.S. Government Printing Office, 697 p.; Electrical Power Monthly with Data for January 2021. Washington: EIA, 2021. 275 p.

от итога по отрасли (Electricity ..., 2021). В 1960–2020 гг., по расчетам автора, территориальная концентрация на уровне 5 МСА снизилась с 11.6 до 5%, на уровне 10 МСА – с 18.5 до 7.5%, на уровне 20 МСА – с 27.6 до 11.4%, на уровне 50 МСА – с 42.3 до 18.7% при росте числа МСА, на территории которых есть электростанции. В этот период их число увеличилось с 158 до 199.

Внутри МСА происходят более значительные изменения. Если до 1990 г. на городской территории строились электростанции значительной мощности для покрытия базовой нагрузки, зачастую более 1 ГВт каждая, и газотурбинные установки для покрытия пиковых нагрузок, то в XXI в. крупные электростанции или закрывались, или консервировались, что особенно хорошо видно на примере г. Нью-Йорка (State ..., 2014). Это повлияло на снижение доли крупнейшего энергоузла. В ведущих МСА снижение произошло в Нью-Йорке, Чикаго, Филадельфии и т.п. Рост генерации произошел в семи МСА, которые стали центрами рещоринга (возвращения) предприятий обрабатывающей промышленности в метрополию, в том числе Нью-Хейвен–Милфорд (Коннектикут), Солт-Лейк-Сити (Юта), Новый Орлеан (Луизиана) (Горкина, 2020). Снижение доли МСА в установленных мощностях сказалось также и на смене лидеров. Если в 1980 г. в пятерку лидеров входили Нью-Йорк, Питтсбург, Хьюстон, Чикаго, Лос-Анджелес–Лонг-Бич, то в 2020 г. первые пять мест заняли Нью-Йорк, Даллас, Лос-Анджелес–Лонг-Бич, Лас-Вегас–Хендерсон–Парадайз, Сент-Луис (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Электроэнергетика в США зародилась в 1870-е годы. Первая в США электростанция общего пользования была сооружена в г. Нью-Йорке в 1881 г. и имела мощность 500 КВт (Веселовский, 1976). Первая в США ЛЭП напряжением 10 кВ была сооружена в 1892 г. в Калифорнии. Объединение энергосистем началось в 1920-е годы, когда в 1925 г. были закольцованы электростанции в долине р. Коннектикут в Новой Англии (National ..., 1964). В конце 1920-х годов территория США была “поделена” между компаниями, что практически привело к исчезновению конкуренции между ними.

Развитие электроэнергетики в первой половине XX в. привело к созданию современной ТПС отрасли к концу 1950-х годов (Hooks, 1980). Итоги ее развития были подведены в двух исследованиях, выпущенных в 1964 и 1970 гг. к столетию создания отрасли (National ..., 1964; National ..., 1970). В этих обзорах ТПС была исследована в двух вариантах. Во-первых, по районам Бюро цензов США, во-вторых, по 10 региональным объединениям North American Electric Reliability Corp. (NERC), в которых производство электроэнергии представлено на основе данных компаний, непосредственно работающих на территории, т.е. наиболее приближено к действительному положению. Однако в наших целях использовать эту сетку затруднено, так как ареалы обслуживания не совпадают с районами Бюро цензов, по которым представлены данные как по отрасли в целом, так и по таким показателям, как стоимость условно чистой продукции обрабатывающей промышленности и численность населения, что делает невозможным провести сравнение между этими пока-

Таблица 2. 10 крупнейших МСА по установленной мощности электростанций (в скобках — доля от итога по США, %)

1980 г.	2000 г.	2020 г.
Нью-Йорк (2.39)	Хьюстон (1.37)	Нью-Йорк (1.42)
Питтсбург (1.75)	Нью-Йорк (1.21)	Питтсбург (1.08)
Хьюстон (1.65)	Детройт (1.13)	Хьюстон (0.89)
Чикаго (1.51)	Новый Орлеан (1.10)	Лейк-Чарльз (0.80)
Лос-Анджелес—Лонг-Бич (1.49)	Тампа—Сент-Петербург (0.93)	Новый Орлеан (0.80)
Даллас—Форт-Уэрт (1.17)	Даллас—Форт-Уэрт (0.77)	Даллас (0.57)
Сент-Луис (1.17)	Сент-Луис (0.77)	Лос-Анджелес—Лонг-Бич (0.55)
Филадельфия (1.09)	Цинциннати (0.75)	Лас-Вегас (0.46)
Детройт (0.95)	Акрон (0.73)	Сент-Луис (0.46)
Толидо (0.88)	Филадельфия (0.71)	Шарлотт (0.46)

Составлено по: Inventory of Power Plant of the US. Washington: EIA, 1982. 340 p.; Inventory of Power Plant of the US. Washington: EIA, 2002. 343 p.; Electrical Power Monthly with Data for January 2021. Washington: EIA, 2021. 275 p.

зателями и мощностями электростанций. Для сравнения этого районирования с административным делением приведем примеры. Так, штаты Висконсин и Мичиган, находящиеся в Северо-Восточном центре, частично входят в такие районы NERC, как MAIN и MAPP, шт. Кентукки (Юго-Восточный центр) — в SERC и ECAR (America's ..., 2020).

За первые 100 лет своего функционирования производство электроэнергии возросло в 400 раз благодаря высоким темпам роста — 12% в год в начале XX в., в течение последующих 50 лет производство электроэнергии удваивалось каждые 10 лет. Энергетический кризис 1970-х годов оказал большое влияние на темпы роста, они снизились до 5–6% в год. В настоящее время они не превышают 2%.

Электроэнергетическое хозяйство охватывает всю территорию страны и имеет связи с энергосистемами Канады и Мексики. В настоящее время в США действует почти 9 тыс. электростанций, объединенных в три крупные энергосистемы: Eastern Interconnection, Western Interconnection и Texas Interconnection, *связанные между собой только по вставкам и линиям постоянного тока* (рис. 1). Также слабо развиты связи между энергосистемами отдельных компаний, что отрицательно сказывается при авариях, как это было в 1965 г. в Нью-Йорке и в 2021 г. в Техасе. Каждая компания отвечает за надежность и экономичность в своей “зоне контроля”, с компаниями-соседями связь осуществляется по долгосрочным контрактам в случае аварийных ситуаций, а после образования оптовых бирж по продаже электроэнергии — для скоординированных операций “покупки и продажи”.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Энергетическая ТПС формировалась главным образом под влиянием таких факторов, как наличие потребителей, размещение энергоресурсов, *государственное регулирование*, экологические условия. Такие факторы, как водные ресурсы, капиталоемкость и трудовые ресурсы играли значительно меньшую роль.

Основным фактором размещения отрасли стал фактор “наличие потребителей”. Формирование ТПС отрасли тесно связано с формированием на территории страны основных промышленных центров и зон. Колонизация континента началась с Атлантического побережья, где в непосредственной близости от первых городских поселений находились основные энергоресурсы того времени — гидроресурсы порожистых рек Новой Англии, “линия водопадов” на восточных склонах Аппалачских гор и угольные месторождения Аппалачского бассейна. Такой тип размещения был характерен до 1960-х годов, когда электростанции строились непосредственно в городах или вблизи них. По расчетам автора, в этот период коэффициент корреляции между установленной мощностью и численностью населения был 0.924; между установленной мощностью и стоимостью условно чистой продукции обрабатывающей промышленности — 0.877. С возрастанием роли энергоресурсов он уменьшался незначительно: 1980 г. — соответственно 0.883 и 0.841. В настоящее время он составляет 0.885 и 0.839. Именно во второй половине XX в. образовались основные энергетические узлы, приуроченные к крупным городам (см. табл. 2). Такой тип размещения учитывает размещение населения в стране, где доля городского населения составляет 83%.

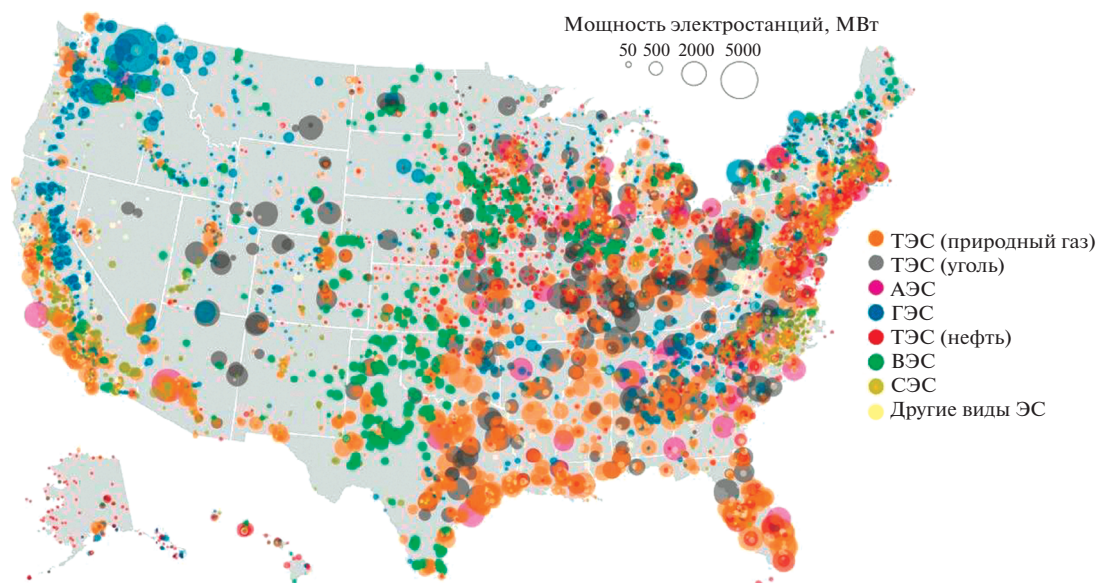


Рис. 1. Размещение электростанций по типам и мощностям на территории США.
Источник: Geoformat, 2020.

По мере развития техники передачи электроэнергии и ухудшения экологической обстановки в промышленных центрах усилилось значение энергетического и экологического факторов, особенно после принятия в 1970-х годах законов в области охраны природной среды. До середины XX в. отрасль потребляла в основном местные энергоресурсы, расположенные благоприятно по отношению к местам размещения станций. Расстояния от мест добычи до ТЭС не превышало 600 км. После выхода на мировой энергетический рынок ближневосточных стран произошла переориентация ТЭС Атлантического побережья с собственных энергоресурсов на дешевую ближневосточную нефть. Стоимость такой нефти для ТЭС была значительно ниже стоимости собственных угля и нефти. Энергетический кризис 1970-х годов вызвал удорожание импортной нефти на несколько раз, что стало причиной перевода ТЭС Атлантического побережья с ближневосточной нефти на собственные энергоресурсы, прежде всего на уголь. Такая быстрая переориентация произошла благодаря тому, что ТЭС были оборудованы топками для сжигания двух и более видов топлива.

Энергетический кризис 1970-х годов вызвал сдвиг в размещении отрасли к источникам энергии, особенно к угольным месторождениям, и способствовал приведению топливно-энергетического баланса (ТЭБ) электроэнергетики в соответствии с национальной ресурсной базой, на которую приходится 23% угля, 6.5% природного газа и 4% нефти от итога по миру. В угледобывающих штатах Севера мощности ТЭС увеличились за

1960–1980-е годы в среднем в 2 раза, а в шт. Вайоминг (Горные штаты) – почти в 7 раз. В соответствии с этим ТЭБ отрасли в 1980 г. был следующим (в %): уголь – 51.1; нефть – 10.7; газ – 15.1; ГЭС – 12.1; АЭС – 11.0⁴. Значительный рост добычи газа усилил значение газодобывающих штатов, но развитие сети газопроводов смягчило его влияние – электростанции стали строить на “концах” трубы вблизи центров потребления. Тем не менее в силу большой инерционности отрасли территориальный разрыв между производством и потреблением не увеличился, так как значительные мощности оставались в пределах МСА. В последующие годы на структуру ТЭБ повлияли новые тренды развития энергетики в целом (сланцевая революция) и ужесточение экологических норм. В 2020 г. ТЭБ выглядел следующим образом (в %): уголь – 20.7; нефть – 3.0; газ – 45.5; ГЭС – 8.5; АЭС – 8.6; ВИЭ – 13.7 (Энергетический ..., 2021).

Особо выделим факторы размещения АЭС. Первая АЭС общего пользования Шиппингпорт в шт. Пенсильвания мощностью 60 МВт вошла в строй в 1957 г. после отмены в 1955 г. закона о запрещении использования атомной энергии в невоенных отраслях. На ранних стадиях строительство АЭС осуществлялось с помощью государства. Большое внимание отводилось географической составляющей – наличию пригодных площадок, гидроресурсов, климатических факторов и т.п. Быстрый рост спроса на электроэнергию со стороны

⁴ Statistical Abstract of the U.S. 1962. U.S. Government Printing Office, 1964. 675 p.; Statistical Abstract of the U.S. 1981. U.S. Government Printing Office, 1982. 697 p.

промышленности и населения способствовал ускорению темпов строительства АЭС в 1970-е годы.

Технические особенности АЭС потребовали разработки новых критериев размещения. При выборе площадки для строительства требуется зона отчуждения с низкой плотностью населения из-за вероятной утечки радиации и наличие в больших объемах воды для охлаждения, что сокращает количество точек размещения АЭС в густонаселенных районах. *Размещение АЭС должно соответствовать рекомендациям, определившим зону с низкой плотностью населения с радиусом в 30–35 км (Demographic ..., 1979).*

Несмотря на эти рекомендации, размещение АЭС на первом этапе проходило вопреки им. Первые АЭС были построены в густонаселенных районах Севера, где в пределах зоны отчуждения находилось значительное число городов с населением свыше 100 тыс. чел. Основная часть мощностей располагалась в пределах МСА и в графствах, граничащих с ними, что составляло почти 90% мощностей АЭС, т.е. размещение АЭС было ориентировано на потребителя. По мере развития АЭС произошел сдвиг в размещении, когда районами нового строительства стали штаты Юга и Запада, где более строго стали соблюдаться законы о размещении АЭС.

Электроэнергетика является одним из крупнейших потребителей воды. Для этого используются не только пресные источники, но и морская вода и солоноватая вода подземных источников. В первой половине XX в. использовали прямые системы охлаждения, поэтому основная часть ТЭС и АЭС располагалась на берегах естественных водоемов. После принятия законов об охране природы водный фактор стал лимитирующим условием при размещении станций. Практически все новые станции стали использовать градиры и охлаждающие пруды. *Применение градира позволило возводить ТЭС в засушливых штатах (Юта, Аризона, Нью-Мексико).*

Высокая степень монополизации отрасли была характерна до 1990-х годов. Энергетическая политика стала одним из важнейших направлений в деятельности правительства, так как потребность в государственном регулировании особенно необходима в кризисные периоды. Во время Великой депрессии 1930-х годов на средства государства строились новые станции. Так, в депрессивном Юго-Восточном центре было создано новое региональное образование “Администрация долины р. Теннесси” для снабжения электроэнергией предприятий оборонного комплекса. В 1970-е годы для смягчения последствий энергокризиса была разработана и внедрена программа “Независимость”, которая способствовала приведению ТЭБ электроэнергетики в соответствие с местной

ресурсной базой (Карпов, 1986; 25th Anniversary ..., 1998).

Еще одна сторона деятельности государства — это выдача лицензий на строительство станций на федеральных землях, хотя при размещении станций в штате основная роль отводится местным властям. Система лицензирования проектов позволяет регулировать размещение генерации по территории страны, выравнивая “плотность” размещения по штатам и снижая техногенную нагрузку на среду. Однако влияние государства на отрасль снижается. Происходит сокращение государственных капиталовложений в традиционную энергетику. Доля государства в генерации снизилась с конца 1980-х годов почти вдвое, до 5.5% от итога по отрасли⁵. Однако возрастает роль государства в развитии ВИЭ путем снижения налоговой нагрузки на компании и преференций для потребителей энергии ВИЭ.

После либерализации отрасли в 1990-е годы была образована Федеральная комиссия по регулированию (FERC), что усилило роль государства как регулятора. На основании Закона 1992 г. об энергетической политике и Закона о либерализации 2005 г. правительство регулирует оптовые поставки между штатами, определяя зоны избытка электроэнергии.

По мнению американских исследователей, началом экологического кризиса можно считать 1968 г., когда нагрузка на среду впервые превысила допустимые показатели (Thorndike, 1976). В связи с этим были приняты первые экологические законы, которые оказали большое влияние на новое строительство. Произошел сдвиг в размещении — станции стали строить там, где загрязнение окружающей среды или невелико, или законы об охране природы более либеральные. В тех районах, где плотность установленных мощностей была велика (долина р. Огайо, побережье в Калифорнии и т.п.), экологический фактор стал препятствием для дальнейшего интенсивного строительства. Соблюдение природоохранных норм привело к увеличению стоимости строительства, также более внимательно стали относиться к выбору площадки для строительства, учитывая климатические и метеорологические условия данной местности, рельеф и т.п. (Горкина, 2003).

Такой фактор, как капиталоемкость не оказал существенного влияния на размещение отрасли, хотя она является одной из наиболее капиталоемких отраслей. Сдвиг электроэнергетики в южные штаты, обеспеченные собственными энергоресурсами (уголь, нефть, газ) был обусловлен также ростом потребления, так как пик потребления сместился с зимних месяцев на Севере на летние

⁵ Statistical Abstract of the U.S. 2002. U.S. Government Printing Office. 697 p.

Таблица 3. Установленная мощность (ГВт) электростанций по районам и доля от итога по США (%)

Район	1960 г.		1980 г.		2000 г.		2020 г.	
	ГВт	%	ГВт	%	ГВт	%	ГВт	%
США, всего	186.7	100.0	637.9	100.0	804.3	100.0	1091.4	100.0
СЕВЕР	89.3	47.8	265.9	41.7	303.5	37.7	382.9	35.1
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ВОСТОК	77.0	41.2	208.0	32.6	243.2	30.2	286.1	26.2
Новая Англия	8.2	4.4	21.0	3.3	28.1	3.4	35.6	3.3
Среднеатлантические штаты	27.8	14.8	79.2	12.4	89.0	11.1	106.2	9.7
Северо-Восточный центр	41.0	22.0	107.8	16.9	126.1	15.7	144.3	13.2
Северо-Западный центр	12.3	6.6	57.9	9.1	60.3	7.5	96.8	8.9
ЮГ	63.5	34.0	262.5	41.2	355.6	44.3	492.9	45.2
Южно-Атлантические штаты	25.8	13.8	115.7	18.1	159.9	19.9	217.0	19.9
Юго-Восточный центр	17.6	9.4	57.8	9.1	68.8	8.5	83.8	7.7
Юго-Западный центр	20.1	10.8	89.0	14.0	126.9	15.9	192.1	17.6
ЗАПАД	33.9	18.2	109.5	17.1	145.2	18.0	215.6	19.7
Горные штаты	9.5	5.1	39.3	6.1	55.6	6.9	93.0	8.5
Тихоокеанские штаты	9.5	5.1	70.2	11.0	89.7	11.1	122.6	11.2

Составлено по: Statistical Abstract of the U.S. 1962. U.S. Government Printing Office, 1964. 675 p.; Statistical Abstract of the U.S. 1981. U.S. Government Printing Office, 1982. 697 p.; Statistical Abstract of the U.S. 2002. U.S. Government Printing Office, 697 p.; Electrical Power Monthly with Data for January 2021. Washington: EIA, 2021. 275 p.

в штатах Юга. Благодаря теплоте климату здесь строили станции открытого или полукрытого типа, что снижало стоимость строительства ТЭС на 20–40% (Адливанкина и др., 1965). В то же время соблюдение экологических норм удорожает стоимость станции на 20–28%. Однако кризис в Техасе в 2021 г. показал, что отсутствие утеплителей на станциях и газопроводах стало одной из причин массовых аварий при низких температурах в штате. В настоящее время происходит изменение технико-экономических показателей в отрасли. Произошло увеличение капитальных вложений для ТЭС (с 750 до 1100 долл./КВт) и для АЭС (с 1.5 до 2.2 тыс. долл./КВт). Одновременно происходит снижение капитальных вложений в ВИЭ — для ВЭС они снизились с 4 до 0.9 тыс. долл./КВт, для СЭС — с 50 до 5 тыс. долл./КВт.

Для электроэнергетики трудовые ресурсы не являются лимитирующим фактором. В ней занято 2.3 млн чел., что составляет 1.2% от общего числа занятых. Структура занятых такова (в %): *передача и распределение электроэнергии — 60.9; ВИЭ — 19.4; ТЭС — 10.7; ГЭС — 4.3; АЭС — 4.7*⁶.

⁶ U.S. Energy & Employment Report 2020. National Association of State Energy Officials. 2020. 251 p.

РАЗМЕЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПО РАЙОНАМ

Размещение отрасли представлено по районам (табл. 3). В данной статье рассматриваются континентальные штаты, Аляска и Гавайи не включены, поскольку их значение в ТПС невелико, и они не имеют связи с континентальными штатами.

Ведущее место в ТПС отрасли до 1980 г. принадлежало штатам Индустриального Востока (*Новая Англия, Среднеатлантические штаты, Северо-Восточный центр*) — ведущему промышленному району страны. В последующий период в связи с ростом значения энергетического фактора и ростом потребления электроэнергии в промышленном и бытовом секторе лидерство перешло к штатам Юга. Запад в силу своей слабой связи с восточными штатами всегда обладал генерацией, полностью обеспечивающей район электроэнергией. Его доля остается практически на одном уровне — 18.2% от итога по стране в 1960 г. и 19.7% в 2020 г. (см. табл. 3). Наиболее значительные изменения произошли в штатах Индустриального Востока, которые уступили лидерство штатам Юга.

Заметные изменения происходят в ТЭБ, на него оказывают большое влияние энергетический и

Таблица 4. Структура установленной мощности электростанций США по видам энергии, %

Год	Всего	В том числе					
		Природный газ	Уголь	Нефть	ВИЭ	ГЭС	АЭС
1960	100.0	22.0	52.3	7.0	—	18.7	—
1980	100.0	15.1	51.1	7.0	—	18.7	11.0
2000	100.0	18.6	39.9	6.5	8.8	13.0	13.2
2020	100.0	43.7	20.9	2.8	13.9	9.3	9.4

Составлено по: Statistical Abstract of the U.S. 1962. U.S. Government Printing Office, 1964. 675 p.; Electrical Generation, Capacity and Sales in the US 2021. Washington: EIA, 2021; Electricity Explained 2021. Washington: EIA, 2021.

Таблица 5. Структура установленной мощности электростанций США мощностью более 50 МВт по зонам размещения, %

Зона размещения	1960 г.	1980 г.	2000 г.	2020 г.
Электростанции в пределах МСА	67.5	61.4	53.4	42.7
Электростанции граничат с МСА	20.8	26.9	32.0	32.3
Электростанции вне этих зон	11.7	12.0	14.6	25.0
Итого, ГВт	114	430	567	629
Доля от итога по США, %	61	67	70	57

Рассчитано по данным: Inventory of Power Plant of the US. Washington: EIA, 1982. 340 p.; Inventory of Power Plant of the US. Washington: EIA, 2002. 343 p.; Electrical Power Monthly with Data for January 2021. Washington: EIA, 2021. 275 p.

экологический факторы (табл. 4). В первой половине XX в. отрасль была ориентирована на местные энергоресурсы, поэтому в ТЭБ превалировал уголь. Его доля к 1980-годам снизилась незначительно за счет роста мощностей АЭС. С начала XXI в. *благодаря* экологической политики правительства возросли доли природного газа и ВИЭ, т.е. происходит переориентация на более экологичный ТЭБ, что соответствует энергетическому переходу, который проходит во всех экономически развитых странах. Однако США не стремятся полностью перейти на “зеленую энергетику”. Они соблюдают паритет между основными компонентами ТЭБ при росте ВИЭ. Коэффициент использования мощностей на традиционных станциях выше, чем у ВИЭ (в %): АЭС — 93.5; газ — 56.8; уголь — 47.5; ГЭС — 39.1; ВЭС — 34.9; СЭС — 24.5 (What ..., 2020). Для надежного энергообеспечения компании имеют резерв на традиционных станциях до 25–30% от общей мощности станции (US Power ..., 2021).

Как было сказано выше, основной фактор размещения станций — это наличие потребителей. Поэтому на всем протяжении развития электроэнергетики города остаются основным местом размещения станций, несмотря на то, что удельный вес МСА снижается при увеличении их числа с наличием станций. Концентрация мощностей на уровне 50 МСА снизилась более чем в 2 раза. Рост мощностей наиболее заметен в графствах, граничащих с МСА, где сосредоточено более трети мощностей (табл. 5). Этот вариант наиболее

рационален с учетом факторов потребления и экологического. В этом случае снижается уровень загрязнения в городе, но не снижаются объемы поставок электроэнергии.

Субурбанизация во второй половине XX в. и перевод НИОКР и инновационных производств в пригороды и на городские окраины вызвали рост населения в них и, соответственно, рост потребления электроэнергии (Темиргалеев, 2014). Поэтому происходит перемещение электростанций в эту зону, поскольку новые отрасли в качестве основного вида энергии используют электроэнергию. Особенно это заметно в штатах Новой Англии, Южно-Атлантических штатах и Техасе.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ США

Развитие электроэнергетики проходит в значительной степени в соответствии с энергетическими программами федерального правительства, в которых определяется главная цель на определенный период. В программе Ф. Рузвельта — это гидротехническое строительство, так называемый “период больших плотин”; Д. Эйзенхауэра — внедрение в ТЭБ атомной энергии. После энергетического кризиса 1970-х годов упор в программах делался на достижение национальной энергетической безопасности. Законы, *принятые после энергетического кризиса*, способствовали переориентации

ТЭБ на более экологичные виды энергии – природный газ и ВИЭ (Зонова, 1987).

Более подробно рассмотрим программу Дж. Байдена. Она опирается на новые тренды развития энергетики, связанные с энергетическим переходом. Ее основу составляют следующие положения: 1) возвращение в Парижское соглашение; 2) выход на нулевой выброс парниковых газов на основе нового законодательства к 2050 г.; 3) инвестирование в течение ближайших 10 лет 400 млрд долл. в чистую энергетику; 4) приоритет “экологической справедливости” и ужесточение ответственности за загрязнение окружающей среды; 5) создание 10 млн рабочих мест для представителей среднего класса, занятых в реализации этого плана (Энергетический ..., 2021).

В США, несмотря на приверженность принципам энергетического перехода, до 2040 г. прогноз развития электроэнергетики, представленный группой исследователей из National Renewable Energy Laboratory, носит более консервативный характер по сравнению с мировым прогнозом. Так, в США структура ТЭБ составляет (в %): ТЭС – 60; АЭС – 17; ВИЭ – 23, а в мировом прогнозе – ТЭС – 54; АЭС – 12; ВИЭ – 34⁷. Государственная поддержка будет направлена на энергосбережение и внедрение безуглеродных технологий и ВИЭ, что окажет влияние на ТПС отрасли (Annual ..., 2019). По мере совершенствования технологий производства электроэнергии на ВИЭ, повышается их конкурентоспособность по сравнению с традиционными станциями, в результате чего стоимость 1 мВт-ч не только сравняется с таким же показателем для обычных станций, но будет несколько ниже. Более широкому внедрению ВИЭ в ТЭБ будут способствовать также накопители электроэнергии в основном на СЭС, стоимость которых составляет сейчас 10 долл./кВт-ч (US Power ..., 2021). Исследователи из университетов Вайоминга и Монтаны, разместившие свои прогнозы на Портале Nedwater Economics, считают, что на ТПС это будет оказывать значительное влияние, так как основной прирост мощностей ВИЭ придется на 18 штатов, в том числе Калифорнию, Флориду, Техас, но в большинстве штатов рост генерации будет происходить за счет газовых ТЭС.

ВЫВОДЫ

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы. 1) Происходит снижение доли отдельных МСА в ТПС, но они остаются важными звеньями в генерации, так как именно здесь сосредоточен основной экономический потенциал и МСА стали центрами притяжения но-

вых инновационных производств. 2) Исследование показало, что при сопоставлении разных факторов размещения приоритет остается за фактором “наличие потребителей”. 3) Изменения в структуре ТЭБ будут продолжаться в соответствии с новыми трендами развития отрасли: рост мощностей ВИЭ при сокращении значения угольной и атомной генерации. 4) Внедрение ВИЭ в генерацию будет оказывать все возрастающее влияние на ТПС, повысится значение штатов с высокой долей ВИЭ. 5) Роль государства как регулятора сохранится. Оно будет выступать гарантом энергетической безопасности.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119022190170-1 (FMGE-2019-0008).

FUNDING

The article was prepared within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS АААА-А19-119022190170-1 (FMGE-2019-0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адливанкина Р.Я., Гладцинов Б.Н., Качевский В.И. Энергетика США. М.: Наука, 1965. 258 с.
- Большая экономическая энциклопедия. М.: Эксмо, 2007. 816 с.
- Веселовский О.Н., Шнейберг Я.А. Энергетическая техника и ее развитие. М.: Высшая школа, 1976. 304 с.
- Воздействие либерализации рынка на политику и программы в области энергетической эффективности / Докл. Секретариата Энергетической хартии. Женева, 2002. 99 с.
- Гамонов К.Г. Перспективы и экономическая эффективность внедрения интеллектуальных сетей в России и мире // Вестн. РУДН. Серия Экономика. 2015. № 2. С. 25–35.
- Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины. М.: Советская энциклопедия, 1988. 432 с.
- Горкина Т.И. Тенденции развития мировой электроэнергетики на рубеже веков // Изв. РАН. Сер. геогр. 2003. № 4. С. 69–76.
- Горкина Т.И. Решоринг: его влияние на территориально-производственную структуру обрабатывающей промышленности США // Географический вестн. 2020. № 3 (54). С. 46–54.
- Зонова Л.М. Энергетическая политика США. М.: Наука, 1987. 141 с.
- Карнов Л.Н. США: энергетическая стратегия. М.: Наука, 1986. 182 с.
- Куропятник Р.П. Развитие электроэнергетики в США // Акад. наук СССР. Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. 206 с.

⁷ Electricity Generation Baseline Report 2017. National Renewable Energy Laboratory, 2017. 289 p.

- Майклс Р.Дж. Политика в области электроэнергетики в Калифорнии. 2004.
- Темиргалиев Р.Ф. Социально-экономический портрет окраинных городов агломераций США // Инновации и инвестиции. 2014. № 3. С. 133–140.
- America's Electricity Generation Capacity 2020 Update. American Public Power Ass, 2020. 22 p.
- 25th Anniversary of the 1973 oil embargo. Washington: EIA, 1998. 30 p.
- Annual Energy Outlook 2019 Perspective to 2050. Washington: EIA, 2019. 375 p.
- Demographic Statistics Pertaining to Nuclear Power Reactor Sites. Washington: Nuclear Regulatory Commission, 1979. 178 p.
- Hooks D.L. Treated Water Demand and the Economics of Regionalization: the Electric Power Example. Cincinnati: Environmental Protection Agency, 1980. 16 p.
- Human L.S. America's Electrical Utilities: Past, Present, and Future. Public Utilities Reports, 1988. 299 p.
- National Power Survey 1960. Part 1, 2. Wash. Federal Power Commission, 1964. Part 1. 296 p., Part 2. 423 p.
- National Power Survey 1970. Part 1, 2. Wash. Federal Power Commission, 1970. Part 1. 243 p., Part 2. 350 p.
- Newbery D.M.G. Privatization, Restructuring, and Regulation of Network Utilities. London: The MIT Press, 1999. 466 p.
- Power of change innovation for development and development of increasingly clean electrical power technologies. Washington: EIA, 2016. 219 p.
- Smart Grid System Report 2020. Washington: Department of Energy, 2022. 165 p.
- State of New York. Energy Sector Risk Profile 2014. NY: Department of Energy, 2014. 8 p.
- Thorndike E.N. Energy and Environment: A Primer for Scientists and Engineers. Redding. Addison Wesley Publishing Company. Redding: Addison Wesley Publishing Company, 1976. 112 p.
- US Power sector outlook 2021. Washington: EIA, 2021. 31 p.
- What is Generation Capacity? Washington: Office of Nuclear Energy, 2020. 99 p.

Territorial and Production Structure of the US Power Industry: Historical Aspect and Modern Development Trends

T. I. Gorkina*

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*e-mail: gorkinati@yandex.ru

The article is devoted to modern trends in the development of the US electric power industry, which, as an important component of the energy sector in general, is a driver of the country's economy. For many decades, the US electric power industry has been the world's leader in electricity generation. Based on a multiscale study, the territorial and production structures of the electric power industry, whose formation began in the 1870s, are analyzed. The dynamics of the development of the electric power industry from the beginning of its inception is briefly characterized. The location of the industry on the territory of the country and changes in its territorial and production structures are considered in detail. The use of data on individual power plants made it possible to reveal the real picture of the distribution of the industry from the 1960s until now. Based on this detailed analysis, the degree of territorial concentration of installed capacities was calculated in three categories: power plants located on the territory of the MSA; power plants in counties bordering the MSA; and power plants located outside these areas. When calculating the concentration, power plants with a capacity of more than 50 MW each were taken into account, which is almost 70% of the total for the industry. The main factors of placement are considered, special attention paid to the factors of NPP placement. The calculation of the correlation coefficient between generation and location of the manufacturing industry, generation and population, and generation and energy resources revealed the tightness of the links in each combination.

Keywords: power plant, installed capacity, electricity generation, liberalization, renewable energy sources, government regulation, location factors

REFERENCES

- 25th Anniversary of the 1973 oil embargo. Washington: EIA, 1998. 30 p.
- Adlivankina R.Ya., Gladtsinov B.N., Kachevskii V.I. *Energetika SShA* [Energy of the United States]. Moscow: Nauka Publ., 1965. 258 p.
- America's-Electricity Generation Capacity 2020 Update. Crystal City: American Public Power Association, 2020. 22 p.
- Annual Energy Outlook 2019 Perspective to 2050. Washington: EIA, 2019. 375 p.
- Bol'shaya ekonomicheskaya entsiklopediya [Great Economic Encyclopedia]. Moscow: Eksmo Publ., 2007. 816 p.
- Demographic Statistics Pertaining to Nuclear Power Reactor Sites. Washington: Nuclear Regulatory Commission, 1979. 178 p.
- Gamonov K.G. Prospects and Economic Efficiency of the Introduction of an Intelligent network in Russia and

- the World. *Vestn. RUDN. Ser. Econ.*, 2015, no 2, pp. 25–35. (In Russ.).
- Geograficheskii entsiklopedicheskii slovar'. Ponyatiya i terminy* [Geographic Encyclopedic Dictionary. Concepts and Terms]. Moscow: Sovet. Entsiklop., 1988. 432 p.
- Gorkina T.I. Reshoring: its influence on the territorial and production structure of the manufacturing. *Geogr. Vestn.*, 2020, vol. 54, no. 3, pp. 46–54. (In Russ.).
- Gorkina T.I. Trends in the development of the world electric power industry at the turn of century. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2003, no. 4, pp. 69–76. (In Russ.).
- Hooks D.L. *Treated Water Demand and the Economics of Regionalization: the Electric Power Example*. Cincinnati: Environmental Protection Agency, 1980. 16 p.
- Human L.S. *America's Electrical Utilities: Past, Present, and Future*. Public Utilities Reports, 1988. 299 p.
- Impacts of Market Liberalisation on Energy Efficiency Policies and Programmes*. Geneva: Energy Charter Secretariat, 2002. 82 p.
- Karpov L.N. *SShA: Energeticheskaya strategiya* [United States: Energy Strategy]. Moscow: Nauka Publ., 1986. 182 p.
- Kuropyatnik R.P. *Razvitie elektroenergetiki v SShA* [Development of the Electric Power Industry in the USA]. Moscow: Izd-vo Akad. Nauk SSSR, 1961. 206 p.
- Mikles R.G. *Politika v oblasti elektroenergetiki v Kalifornii* [Electricity Policy in California], 2004.
- National Power Survey 1960. Part 1, 2*. Washington: Federal Power Commission, 1964.
- National Power Survey 1970. Part 1, 2*. Washington: Federal Power Commission, 1970.
- Newbery D.M.G. *Privatization, Restructuring, and Regulation of Network Utilities*. London: The MIT Press, 1999. 466 p.
- Power of change innovation for development and development of increasingly clean electrical power technologies*. Washington: EIA, 2016. 219 p.
- Smart Grid System Report 2020*. Washington: United States Department of Energy, 2022. 165 p.
- State of New York. Energy Sector Risk Profile 2014*. New York: United States Department of Energy, 2014. 8 p.
- Temirgaleev R.F. Socioeconomic portrait of the outlying cities of the US agglomerations. *Innov. Invest.*, 2014, no. 3, pp. 133–140. (In Russ.).
- Thorndike E.N. *Energy and Environment: A Primer for Scientists and Engineers*. Redding: Addison Wesley Publishing Company, 1976. 112 p.
- US Power sector outlook 2021*. Washington: EIA, 2021. 31 p.
- Veselovskii O.N., Shneiberg Ya.A. *Energeticheskaya tekhnika i ee razvitie* [Power Engineering and Its Development]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1976. 304 p.
- What is Generation Capacity?* Washington: Office of Nuclear Energy, 2020. 99 p.
- Zonova L.M. *Energeticheskaya politika SShA* [Energy Policy of the United States]. Moscow: Nauka Publ., 1987. 141 p.