

УДК 911.3:33

СТРУКТУРА ЕДИНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РОССИИ В ПОСТСОВЕТСКИЙ ПЕРИОД

© 2023 г. З. А. Атаев*

Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, Рязань, Россия

*e-mail: ataev-rzn@ya.ru

Поступила в редакцию 19.02.2022 г.

После доработки 13.02.2023 г.

Принята к публикации 21.02.2023 г.

В статье рассматривается Единая энергосистема (ЕЭС) России с точки зрения ее современного содержания и связности структурных частей. Показано, как исторически связаны закономерности развития энергетического пространства СССР и России. Главное внимание уделено географическому анализу изменений энергетического пространства в постсоветский период. Выявлено, что в ЕЭС выделяются три структурные части. По критерию отсутствия электрических связей для параллельной работы с иными системами выделена зона технологически изолированных (децентрализованных) энергосистем, т.е. ареал сетевой несвязности. По критерию синхронной работы (с общей частотой электрического тока) выделены еще две зоны. Первая синхронная зона включает шесть объединенных энергосистем. Географический анализ свидетельствует, что элементы слабой связи присущи всем энергосистемам и обусловлены трансформацией постсоветского пространства. Несвязность системы Северо-Запада определяется автономным функционированием электроэнергетики Калининградской области. Энергосистема Юга базируется на транзите электроэнергии по территории Украины. Возможный разрыв связи снизит устойчивость европейского сегмента ЕЭС России, высоки риски потери операционного выхода к Приднестровью, Молдавии и юго-западному сегменту энергосистемы Европы. Поэтому актуальны капиталоемкие сетевые проекты в обход Украины. Энергосистема Урала обеспечивает связку Центр–Сибирь транзитом через Казахстан, нарушение которого угрожает сетевой несвязностью и рисками потери выхода в Центральную Азию. Вторая синхронная зона ЕЭС включает одну объединенную энергосистему Востока, которая функционирует параллельно, но не синхронно с первой зоной (слабая сетевая связь). Энергосистема Востока имеет узкий спектр межсистемной связи, но очень перспективна для интеграции с энергосистемой Китая.

Ключевые слова: единая энергосистема, объединенная энергосистема, изолированная энергосистема, межсистемная связь энергосистем, синхронная зона, устойчивость энергосистемы, Россия, постсоветский период

DOI: 10.31857/S2587556623030044, EDN: QQUMPN

ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы. Единство времени производства–потребления электроэнергии определяет формирование специфичных систем и энергетического пространства, что подразумевает морфологические, структурные, функциональные особенности и свойства энергетической системы, формирующие (наряду с другими звеньями инфраструктуры, расселения, частично производства) каркас социально-экономических систем разного масштаба и ранга. Иными словами, энергетическое пространство – это энергетический каркас территориальной организации общества (Атаев, 2008). Территориальная организация общества практически совпадает с системой расселения (Ридевский, 2022, с. 14).

Географическое исследование структуры Единой энергосистемы СССР и особенно современной России не имеет обширной библиографии (Горлов, 2011; Хрушев, 2010). Анализ работ по теме показывает, что это сфера доминирующего интереса экономистов и энергетиков (Данилова, 2009; Корнюхова, 2013; Мелентьев, 1987; Подковальников и др., 2015; Проблемные ..., 2005; Фомина, 2008; Чайка, 2013; Энергетика СССР ..., 1987; и др.). С распадом СССР возникли вызовы единства энергетического пространства и одновременно предпосылки для новой интеграции. Отсюда объект исследования – структура Единой энергосистемы (ЕЭС) России в условиях трансформации постсоветского пространства. Цель настоящего исследования: выявление связности

структурных частей ЕЭС России и ее постсоветских изменений.

Методика исследования. В работе используются традиционные методы исследования: картографический, статистический, элементы системного анализа. Преобладает географический анализ рангов отраслевого пространства: ЕЭС России и ее структурные части (объединенные энергосистемы). В основе выделения структурных частей лежит методика зонирования (Алаев, 1983). По критерию отсутствия связей для параллельной работы с иными системами выделена зона технологически изолированных (децентрализованных) энергосистем. По критерию возможности параллельной и синхронной работы (с общей частотой электротока) выделены еще две пространственные зоны.

Материалы исследования включают фактические данные ЕЭС России и ее филиалов. При отборе материала ставка делалась на первоисточники: отраслевая статистика, региональные схемы и программы развития, картографический материал и др. (по состоянию на 1 января 2021 г.). Использован понятийный аппарат отраслевого стандарта России¹.

Единая энергосистема – совокупность объединенных энергосистем, соединенных межсистемными связями, охватывающими значительную часть территории страны при общем управлении и режиме работы. *Объединенная энергосистема* – это совокупность нескольких энергосистем, объединенных общим режимом работы, имеющая общее диспетчерское управление. *Изолированная энергосистема* – не имеющая электросвязей для параллельной работы с другими энергосистемами. *Межсистемная связь энергосистем* – участок линии электропередачи, непосредственно соединяющий электростанции или подстанции разных энергосистем. *Синхронная зона* – совокупность синхронно работающих энергосистем генерирующего оборудования, имеющих общую частоту тока.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Единая энергосистема СССР формировалась как вертикально интегрированная система, что учитывало саму природу электроэнергии: время ее производства должно синхронно совпадать со временем потребления. Поэтому под централизованным управлением были сосредоточены все функциональные цепочки: производство, передача, сбыт и потребление электроэнергии (Энергетика СССР ..., 1987).

¹ ГОСТ Р 57114-2016. Национальный стандарт Российской Федерации “Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы, термины и определения” (введен в действие 01.06.2017 г.). <http://www.docs.cntd.ru/document/1200139922> (дата обращения 30.01.2022).

Единая энергосистема СССР была одной из крупнейших в мире (1989 г.): установленная мощность электростанций – 341 ГВт; производство электроэнергии – 1722 млрд кВт ч; длина линий электропередач 35–800 кВ почти 1025 тыс. км (Народное ..., 1989). Структурно ЕЭС Советского Союза состояла из 11 объединенных энергосистем: Северо-Запада, Центра, Юга, Поволжья, Северного Кавказа, Урала, Сибири, Дальнего Востока, Северного Казахстана, Средней Азии и Закавказья (Мелентьев, 1987).

Концентрация производства оставалась важнейшим направлением развития электроэнергетики Советского Союза (Хрущев, 2010, с. 98), что обрекало энергосистемы на наращивание протяженных электросетей. Здесь показательны результаты сравнительного анализа факторов развития энергосистем в СССР и США. В Советском Союзе наблюдалось хроническое отставание темпов ввода сетей от требований развития зональных энергосистем, а фактором формирования их конфигурации являлось размещение крупных электростанций. В США широкое распространение получила практика строительства средних электростанций с узкой операционной зоной обслуживания (Файбисевич, Зейлигер, 1990).

Конфигурация ЕЭС СССР позволяла связать в параллельной и синхронной работе энергосистемы стран восточной и южной Европы (через Украину и Белоруссию). В 1962 г. была создана энергосистема “Мир” в рамках Совета экономической взаимопомощи (СЭВ): СССР, Болгария, Польша, Венгрия, Румыния, Чехословакия, ГДР. Таким образом, к началу 1990-х годов границы западноевропейских энергетических объединений и их сетевых комплексов вплотную приблизились к оперативным границам функционирования ЕЭС СССР и энергосистемы “Мир”. Возникли объективные предпосылки для согласованной работы с Трансъевропейским объединением энергосистем (TESIS), что позволяло прогнозировать усиление межгосударственных связей в западном направлении (Бондаренко и др., 1991; Central-European ..., 1990; Central-European ..., 1991; Situation ..., 1990).

Анализ конфигурации ЕЭС СССР подтверждал перспективность расширения отраслевой интеграции и в Азии. Из Советского Союза осуществлялось электроснабжение части потребителей в Китае и Монголии. На юге энергосистема советского Закавказья вышла к границам Турции и Ирана, а энергосистема Средней Азии граничила с Афганистаном. Сложившиеся предпосылки таили в себе масштабные возможности для расширения интеграции. Уже в постсоветский период обсуждался проект энергетического кольца (PEACE): Россия–Япония–Южная Корея–КНДР–Китай–Россия (Подковальников и др.,

2015; Проблемные ..., 2005, с. 211–214; Энергетика XXI века ..., 2004).

После распада СССР из новых государств синхронную работу смогли обеспечить только энергосистемы России, Украины, Белоруссии, стран Балтии. В 1992 г. страны-бывшие члены СЭВ вышли из энергосистемы “Мир”, сохранив параллельную работу в рамках нового объединения стран Восточной Европы (CENTRAL). В 1995 г. они, опираясь на иностранные кредиты, начали реконструкцию национальной энергетики, и в 1999 г. CENTRAL была включена на параллельную работу с Западно-Европейской энергосистемой (UCPTE). В 2009 г. электроэнергетические комплексы 36 стран интегрировались в более масштабную общеевропейскую энергосистему ENTSO-E².

ЭЭС России. После распада СССР началась реформа электроэнергетики России. В 1992 г. было организовано РАО “ЭЭС России” в форме естественной монополии на рынке производства, передачи и сбыта электроэнергии. Региональные энергосистемы также начали процесс акционирования³. В 2002 г. дан старт новому этапу реформы, его суть заключалась в создании множества компаний по функциональному признаку: сетевые, генерирующие, сбытовые. Важной задачей реформы было формирование Федерального оптового рынка электроэнергии и мощности, началась консолидация магистральных сетей в уставном фонде Федеральной сетевой компании (Данилова, 2009).

После отраслевой реформы наглядно проявились новые тенденции в пространственной организации электроэнергетики России: территориальный принцип был заменен на доминирующий принцип консолидации финансовых потоков (Горлов, 2011). Реформа не создала достаточные условия для решения ключевой задачи – создания конкурентного рынка электроэнергии и мощности (Корнюхова, 2013).

В 2008 г. РАО “ЭЭС России” прекратил свое существование. Сегодня электроэнергетика страны функционирует по схеме: конкурентная среда (генерация и сбыт) – частная собственность; диспетчеризация, передача (транспорт) – естественная монополия ОАО “Системный оператор ЭЭС России” (“СО ЭЭС России”).

На 1 января 2021 г. установленная мощность электростанций ЭЭС России составляла 245.3 ГВт (880 станций единичной мощностью минимум

5 МВт), производство электроэнергии – более 1047 млрд кВт ч. Сетевое хозяйство – свыше 490 тыс. км линий электропередач (110–750 кВ). Параллельно с ЭЭС России работают энергосистемы Азербайджана, Белоруссии, Грузии, Казахстана, Монголии, Украины и стран Балтии. Параллельно через Казахстан работают энергосистемы Центральной Азии (Киргизия, Узбекистан), а через Украину – Молдавии. Россия имеет связь с Абхазией и Южной Осетией. Через вставки постоянного тока осуществляется переток электроэнергии в Китай, Норвегию и Финляндию⁴. Структурно ЭЭС России состоит из 71 региональной энергосистемы и семи объединенных энергосистем (ОЭС): Северо-Запада, Центра, Юга, Средней Волги, Урала, Сибири и Востока. Каждая ОЭС имеет свои особенности локализации, содержания и структуры (Фомина, 2008). ОЭС имеют межсистемную связь, работают параллельно и образуют две специфичные зоны (по частоте тока). С учетом зоны изолированных энергосистем ЭЭС России включает три структурные части (рис. 1, табл. 1).

Зона изолированных энергосистем России почти совпадает с районами Крайнего Севера, в том числе в европейской части страны (Бердин и др., 2017; Иванов и др., 2021; Корчак, 2017; Орлов, 2022; Чайка, 2013). По территориально-технологическим и экономическим причинам четыре субъекта полностью изолированы от ЭЭС России: Камчатский край, Сахалинская и Магаданская области, Чукотский автономный округ. Частично к этой зоне относятся и отдельные районы Республики Саха (Якутия). Это огромные территории с экстремальными природно-климатическими условиями, где по причине удаленности и слабой доступности представлена очаговая структура расселения (0.37 чел./км²). В 2020 г. объем производства в зоне составил 10.6 млрд кВт ч, а потребление – 10.4 млрд кВт ч⁵.

Перспективы развития зоны изолированных энергосистем связаны с включением автономных энергетических районов на параллельную работу с ОЭС Востока. Так, в 2019 г. ряд районов Якутии вошли в состав Единой энергосистемы (впервые с 1980 г.)⁶.

Первая синхронная зона ЭЭС России. ОЭС Северо-Запада включает 10 субъектов (12.8 млн чел.).

² European Network of Transmission System Operators for Electricity. <https://www.entsoe.eu> (дата обращения 01.02.2022).

³ Указ Президента Российской Федерации № 923 от 15.07.1992 г. “Об организации управления электроэнергетическим комплексом Российской Федерации в условиях приватизации”. М., 1992. 40 с. Приложения. <http://www.dase.carant.ru> (дата обращения 15.01.2022).

⁴ Системный оператор ЭЭС России (СО ЭЭС России). Единая энергетическая система России. <http://www.so-ups.ru/functioning/ees/ups2021/> (дата обращения 10.01.2022).

⁵ Мировая энергетика. Информационно-аналитический, энергетический сайт. Изолировано работающие энергосистемы России. <http://www.eeseaacc.org> (дата обращения 30.01.2022).

⁶ Схема и программа развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2020–2024 гг. <https://docs.cntd.ru/document/570789897> (дата обращения 04.02.2022).

Таблица 1. Синхронные зоны Единой энергосистемы России: операционная зона, связи и сальдо обмена электроэнергией, 2020 г.

Объединенная энергосистема (сальдо обмена, млрд кВт ч)	Субъект обмена электроэнергией (сальдо, млрд кВт ч)	Зона обслуживания (площадь, тыс. км ² /население, млн чел.)
Первая синхронная зона Единой энергосистемы России		
ОЭС Северо-Запада (–14.154)	Финляндия (–2.965)	1544.4/12.8
	Норвегия (–0.032)	
	Эстония (+1.110)	
	Литва (–2.031)	
	Латвия (–0.751)	
	Беларусь (+0.343)	
	ОЭС Урала (+0.067)	
ОЭС Центра (+9.129)	ОЭС Центра (–9.895)	794.7/40.4
	Беларусь (–0.659)	
	Украина (–1.557)	
	ОЭС Северо-Запада (+9.895)	
	ОЭС Юга (+1.791)	
	ОЭС Средней Волги (–0.545)	
	ОЭС Урала (+0.204)	
ОЭС Средней Волги (–4.810)	Казахстан (+0.017)	450/19.5
	ОЭС Центра (+0.545)	
	ОЭС Урала (–2.409)	
ОЭС Юга (–2.181)	ОЭС Юга (–2.962)	618.3/26.5
	Украина (–2.584)	
	Казахстан (–0.078)	
	Азербайджан (+0.03)	
	Грузия (–0.268)	
	Южная Осетия (–0.146)	
	Абхазия (–0.306)	
	ОЭС Средней Волги (+2.962)	
ОЭС Центра (–1.791)		
ОЭС Урала (–0.445)	Казахстан (–1.579)	2380/24.6
	ОЭС Средней Волги (+2.409)	
	ОЭС Центра (–0.204)	
	ОЭС Сибири (–1.004)	
	ОЭС Северо-Запада (–0.068)	
ОЭС Сибири (+2.355)	Казахстан (+1.478)	4944.3/19
	Монголия (–0.272)	
	ОЭС Урала (+1.004)	
	ОЭС Востока (+0.145)	
Вторая синхронная зона Единой энергосистемы России		
ОЭС Востока (–3.205)	Китай (–3.060)	4457.4/5.1
	ОЭС Сибири (–0.145)	

Примечание: положительное сальдо (+) – прием электроэнергии в энергосистему, отрицательное сальдо (–) – выдача электроэнергии из энергосистемы.

Составлено по данным официального сайта СО ЕЭС России (<http://www.so-ups.ru/functioning/ees/ups2021/> (дата обращения 10.01.2022)).

Здесь высока доля крупных ТЭС и АЭС (87% мощности), потенциал гидроэнергетики недостаточен для регулирования нагрузки (12.5%). Поэтому ГРЭС работают в неэффективном режиме, отсюда низкий коэффициент использования установленной мощности – 38%. Регулирование нагрузки Северо-Запада достигается извне за счет транзита мощности, сальдо отрицательное (–14.154 млрд кВт ч). Серьезным дефектом несвязности Северо-Запада является Калининградская область (Атаев, 2018). Регион не имеет связи с ЕЭС России, в политике стран-соседей (Польша, страны Балтии) доминируют меры блокады. Не поддержан и вариант работы в составе ENTSO-E. Поэтому с 2014 г. ОАО “Янтарьэнерго” развивается как самодостаточная система, но она не отнесена к изолированной зоне из-за наличия сетевой связи с энергосистемой Литвы (см. рис. 1). Слабым звеном Северо-Запада являются протяженные сети, не выражена связь с Уралом (ЛЭП-220 кВ).

Объединенная энергосистема Центра включает 19 субъектов (40.4 млн чел.). Центр страны перенасыщен ГРЭС и АЭС (96.5% мощности). Потенциал гидроэнергетики не достаточен для регулирования нагрузки (3.5%). Поэтому ГРЭС вынуждены работать неэффективно, коэффициент использования мощности – 36.6%. Значимость Центра определяет широкие связи по обмену электроэнергией (+9.129 млрд кВт ч). Наибольшие объемы поступают из ОЭС Северо-Запада (+9.895 млрд кВт ч), актуально сооружение новой цепи ЛЭП-750 кВ. Требуется решения и проблема укрепления связности ОЭС Центра и Юга (в наличии ЛЭП-500 кВ, по две линии 110–220 кВ). Недостаточно усилена широтная межсистемная связь по линии Центр–Урал.

Объединенная энергосистема Средней Волги включает 9 субъектов (19.5 млн чел.). Для энергосистемы характерна высокая доля гидроэнергетики Волжско-Камского каскада (25.6% мощности). Потенциал ГЭС позволяет обеспечить перетоки электроэнергией, централизованно регулировать нагрузку объединенных энергосистем Центра, Юга, Урала и Казахстана (сальдо – 4.81 млрд кВт ч). ОЭС обеспечивает реверсный транзит электроэнергии по линии Центр–Урал–Сибирь (запад–восток).

Объединенная энергосистема Юга включает 15 субъектов (26.5 млн чел.). В структуре электропотребления самая большая доля коммунально-бытовой нагрузки и самая большая доля генерации на основе возобновляемых источников энергии (32% мощности с учетом потенциала ГЭС). Потенциал гидроэнергетики используется как сезонный регулятор нагрузки других энергосистем. В результате ГЭС не загружены, коэффициент использования мощности – 38.8%. Наблюдается

отрицательное сальдо обмена электроэнергией (–2.18 млрд кВт ч): наибольший с Украиной (отдает) и Средней Волги (получает). Связь между ОЭС Юга и Средней Волги слабая по пропускной способности (ЛЭП-500 кВ “Балаковская АЭС–Трубная”; ЛЭП-220 кВ “Балашовская–Хопер”, четыре ЛЭП-110 кВ). Доминирование связи Центр–Юг по территории Украины получило развитие еще в рамках СССР, что тогда имело географическое, техническое и экономическое основание. Сегодня это серьезный дефект несвязности ЕЭС России. В СССР Украина была основным “коридором” экспорта электроэнергии в Европу (через энергосистему “Мир”). На постсоветском пространстве Украина занимала второе место по отраслевому потенциалу: мощность свыше 54 ГВт, объем производства более 170 млрд кВт ч/год. Пропускная способность межсистемной связи Украины со странами Евросоюза была ниже, чем с Россией (Украина ..., 2003).

Отношения между Россией и Украиной усложнились, усилилась стагнация отраслевых связей, наметилась ориентация Украины на Евросоюз. С 2003 г. юго-запад Украины (“Бурштынский энергоостров”, 600 МВт) был отделен и синхронизирован с энергетикой Словакии (в составе общеевропейской системы ENTSO-E). Украина предпринимает меры для приведения своей энергетики в соответствие с требованиями ENTSO-E, строит магистральные ЛЭП 400–750 кВ в обход Молдавии и Приднестровья⁷. К началу 2022 г. созданы условия для изоляции Украины от ЕЭС России и интеграции с ENTSO-E в 2023 г.⁸

Такое развитие событий имеет следствием снижение устойчивости всего европейского сегмента ЕЭС России. Высоки риски потери выхода к Приднестровью, Молдавии, юго-западной части ENTSO-E, возникает угроза связности между ОЭС Центра и Юга России. Поэтому актуальны капиталоемкие сетевые проекты в обход Украины.

Объединенная энергосистема Урала включает 11 субъектов (24.6 млн чел.). По мощности и объему производства это самая крупная энергосистема России (ТЭС – 93%). Крупные ГРЭС и АЭС работают в базовой нагрузке энергосистемы, это наиболее эффективный режим эксплуатации для этого класса электростанций. Коэффициент использования установленной мощности для АЭС – 83%, ГРЭС – 49%. Таким образом, ГРЭС не выполняют функцию регулятора нагрузки. Урал имеет большую долю парогазовых и газотурбинных установок (ПГУ и ГТУ). Этот маневренный потенциал выступает регулятором нагрузки

⁷ European Network of Transmission System Operators for Electricity. <https://www.entsoe.eu> (дата обращения 01.02.2022).

⁸ На Украине намерены интегрироваться в европейскую энергосистему в 2023 году. <https://tass.ru/ekonomika/10540135> (дата обращения 31.01.2022).

энергосистемы, где минимальна доля ГЭС (3.58%).

Для энергосистемы Урала характерна сложная многокольцевая сеть и развитый межсистемный обмен электроэнергией с ОЭС Казахстана, Центра, Средней Волги, Северо-Запада и Сибири (сальдо –0.445 млрд кВт ч). Проблемное звено ОЭС Урала –слабая связь с ОЭС Северо-Запада (ЛЭП-220 кВ “Летка–Мураши”). Кроме того, слабая связь наблюдается по линии Урал–Сибирь (ЛЭП-500 кВ, четыре ЛЭП-220 кВ и три ЛЭП-110 кВ).

Основная связь между ОЭС Урала и Сибири проходит по территории Казахстана. Такой конфигурационный вариант был реализован в СССР в рамках единого государства. Еще в 1980-е годы предполагалось усиление связи строительством ЛЭП-1150 кВ: Итат–Барнаул–Экибастуз–Челябинск. Не завершено сооружение и электросети сверхвысокого напряжения Экибастуз–Тамбов (1500 кВ). Возможное изменение геополитической ориентации Казахстана может проодуцировать крайне негативные последствия для устойчивости ЕЭС России.

С целью укрепления целостности ЕЭС России в 2015 г. была введена в эксплуатацию ЛЭП-500 кВ “Витязь (Тюмень)–Восход (Омск)”. Магистраль соединила ОЭС Урала и Сибири по территории России, не считая еще трех ЛЭП-110 кВ⁹. Межсистемная связь Урал–Сибирь в 2016 г. была усилена двухцепной ЛЭП-220 кВ Нижневартовская ГРЭС–Советско-Соснинская подстанция¹⁰. В результате уменьшилась зависимость от транзита через Казахстан. Сегодня объем обмена электроэнергией между энергосистемами Урала и Сибири (сравнительно с транзитом через Казахстан) соотносится как 1.0 : 1.5 (см. рис. 1). Дальнейшее усиление сетевой связи нивелирует проблему.

Объединенная энергосистема Сибири включает 12 регионов страны (19.0 млн чел.). Энергосистема занимает третье место в ЕЭС России по установленной мощности электростанций (53.1 ГВт). Из них 1/2 – это доля мощных ГЭС Ангаро-Енисейского каскада (26.5 ГВт). Коэффициент использования мощности ГЭС – 53%. Сибирский каскад функционально ориентирован на работу в базисе нагрузке, чем принципиально отличается от ГЭС в Европейской части страны (регуляторы нагрузки). Сибирские ГЭС обеспечивают генерацию дешевой электроэнергии для нужд цветной металлургии. Поэтому каскад гидроэлектростан-

ций не может использоваться для регулирования нагрузки крупных энергосистем европейского сегмента ЕЭС России, перенасыщенного мощными ТЭС и АЭС.

Протяженные транзитные сети – слабое место ОЭС Сибири. Серьезным дефектом является слабая связь с Уралом по России (см. выше). Особенностью ОЭС Сибири является узкий спектр межсистемных связей (Казахстан, Монголия, ОЭС Урала и Востока), при высоком объеме перетока электроэнергии (+2.355 млрд кВт ч). Связь с Монголией обеспечивает две ЛЭП-220 кВ. В случае расширения интеграции и роста объема поставок этого потенциала недостаточно. Связь с ОЭС Востока почти отсутствует.

Вторая синхронная зона ЕЭС России включает одну ОЭС Востока в составе 5 регионов страны (5.1 млн чел.). В структуре мощностей наблюдается относительное равенство между ТЭС – 58.5% и ГЭС – 41.5%. Показатели коэффициента использования мощности почти равнозначны (ТЭС – 47.4%, ГЭС – 41.8%). Производительность гидроэлектростанций потенциально выше, но лимитирована учетом интересов речного судоходства (Зейская ГЭС и Бурейская ГЭС). Энергосистема Востока имеет узкий спектр связей (Сибирь, Китай). Обмен с энергосистемой Сибири незначителен (всего 145 млн кВт ч), а сальдо с Китаем закрывается отрицательно (–3.06 млрд кВт ч).

ОЭС Востока не участвует в параллельной работе с первой зоной ЕЭС России. Слабая связь “запирает” мощности, что имеет негативные следствия в случае сбоя (аварии). Связь ОЭС Сибири и Востока представлена двумя магистралями. Первая тяговая ЛЭП-220 кВ идет вдоль Транссибирской железной дороги (северный транзит, 2000 км): тяговая ПС Якурим 500 кВ–ПС Таксимо 220 кВ–Нерюнгринская ГРЭС. Вторая тяговая ЛЭП-220 кВ проходит вдоль Байкало-Амурской магистрали (южный транзит, 2000 км): Читинская ТЭЦ-1–ПС Холбон–вторичная отпайка от ПС Могоча–ПС Сковородино 500 кВ¹¹. Исходя из функционального назначения, обе тяговые сети крайне слабы для обеспечения межсистемной связи энергосистем Сибири и Востока. Необходимо сооружение минимум двухцепной ЛЭП-500 кВ для параллельной работы зон ЕЭС России.

ВЫВОДЫ

Единая энергосистема СССР была перспективна для международной интеграции. Но она не была достроена и не стала функционально еди-

⁹ Схема и программа развития электроэнергетики Тюменской области на 2021–2025 годы. <http://www.admtymen.ru> (дата обращения 15.01.2022).

¹⁰ Схема и программа развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на период до 2025 года. <https://www.depjkke.admhmao.ru> (дата обращения 15.01.2022).

¹¹ Схема ЛЭП и электроснабжения России (актуальность данных январь 2022 г.). Интерактивная карта электроэнергетической системы на данных проекта OpenStreetMap. <http://www.freosm.ru> (дата обращения 24.01.2022).

ной и делилась на три части: зона изолированных энергосистем, европейская и восточная зона. После распада страны началось дробление ЕЭС СССР, до четверти потенциала осталась за рубежами России. Возникли новые вызовы единству энергического пространства и одновременно предпосылки для новой интеграции.

ЕЭС России унаследовала деление на три части. Зона изоляции не претерпела изменений. Перспективы ее развития связаны с включением энергорайонов на параллельную работу с ОЭС Востока. В восточном сегменте ЕЭС России обострилась проблема связности Сибирь–Восток (нужны новые ЛЭП 500 кВ). Актуальность проблемы может усилиться при реанимации проекта интеграционного кольца (PEACE): Россия–КНДР–Китай.

Серьезные структурные трансформации произошли в европейской части ЕЭС по контуру новообразованных границ. Калининградская область – это эксклав России. В результате “Янтарьэнерго” работает как автономное образование, потенциально перспективное для интеграции с общеевропейской энергосистемой.

Устойчивость европейского сегмента ЕЭС России зависит от транзита по Украине. В связи с усложнением отношений между странами неизбежен рост рисков: снижение связности ЕЭС России, потеря выхода к Молдавии (Приднестровью) и юго-западному сегменту европейской энергосистемы. Крайне актуальны сетевые проекты в обход Украины. Связь между ОЭС Урала и Сибири проходит по Казахстану. В случае изменения политики Казахстана снизится связность по линии Урал–Сибирь, высоки риски потери выхода в Центральную Азию. Усиление сетевой связи по России уже снизило зависимость от казахстанского транзита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алаев Э.Б.* Социально-экономическая география: Понятийно-терминологический словарь. М.: Мысль, 1983. 350 с.
- Атаев З.А.* Географические основы локальной энергетики Центрального экономического района России: монография. Рязань: Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина, 2008. 284 с.
- Атаев З.А.* Изолированная энергосистема Калининградской области // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 1. С. 101–110.
- Бердин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М., Юлкин М.А.* Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. 80 с.
- Бондаренко А.Ф., Бутинг Г.Д., Ляшенко В.С., Маркун и др.* Проблемы объединения энергосистем европейских стран // Электричество. 1991. № 11. С. 1–8.
- Горлов В.Н.* Новые тенденции в пространственной организации электроэнергетики России // Социально-экономическая география: история, теория, методы, практика: Сб. научных статей. Смоленск: Универсум, 2011. С. 446–449.
- Данилова Е.В.* Реформирование российской электроэнергетики (предпосылки и суть реформы) // Вестн. Томск. гос. ун-та. Томск: Национальный исслед. Томск. гос. ун-т, 2009. С. 274–277.
- Иванов А.В., Складчиков А.А., Хренников А.Ю.* Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учетом использования возобновляемых источников энергии // Российская Арктика. 2021. № 13. С. 62–80.
- Корнюхова А.В.* Состояние, проблемы и перспективы развития электроэнергетики России // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер.: Экономика. М.: РУДН, 2013. № 2. С. 49–60.
- Корчак Е.А.* Арктическая зона России: социальный портрет регионов. Апатиты: Изд-во Кольского науч. центра РАН, 2017. 101 с.
- Мелентьев Л.А.* Очерки истории отечественной энергетики (развитие научно-технической мысли). М.: Наука, 1987. 277 с.
- Народное хозяйство СССР в 1989 г.: Стат. ежегодник. М.: Финансы и статистика, 1990. 766 с.
- Орлов С.Л.* Современное пространство России: новые подходы и концепции: монография. М.: Изд-во “Дашков и К”, 2022. 226 с.
- Подковальников С.В., Савельев В.А., Чудинова Л.Ю.* Перспективы электроэнергетической кооперации России и стран Северо-Восточной Азии // Проблемы прогнозирования. 2015. № 4. С. 118–130.
- Проблемные регионы ресурсного типа: азиатская часть России / под общ. ред. В.А. Ламина, В.Ю. Малова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 386 с. (Интеграционные проекты СО РАН; Вып. 4).
- Ридевский Г.В.* Пространственные структуры современной Беларуси: новая социально-экономическая география страны: Монография. Минск: БелНИИТ “Транстехника”, 2022. 244 с.
- Файбисевич Д.Л., Зейлигер А.Н.* Влияние мощности и размещения электростанций на формирование энергосистем // Электрические станции. 1990. № 4. С. 16–20.
- Фомина А.В.* Региональная экономика и территориальное распределение электроэнергетики Российской Федерации // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политех. ун-та. Экономические науки. 2008. № 5 (64). С. 129–133.
- Хрущев А.Т.* Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2010. 320 с.
- Чайка Л.В.* Пространственные аспекты развития электроэнергетики Европейского Севера России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 1 (25). С. 84–97.
- Энергетика XXI века: Условия развития, технологии, прогнозы / отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука, 2004. 386 с.

- Энергетика СССР в 1986–1990 гг. / под ред. А.А. Троицкого. М.: Энергоатомиздат, 1987. 312 с.
- Україна, промисловість та інвестиційна діяльність: Атлас. Київ: Інститут географії України, Державне науково-виробниче підприємство “Картографія”, 2003. 78 л.
- Central-European interconnection of electricity networks – proposal for an exercise. Meeting of experts on the problems of planning and operating large power systems. Geneva, Febr. 1990, UN ECE, EP/GE, 2/R.78/Add.2/Rev.
- Situation and prospects of international interconnections. Meeting of experts on the problems of planning and operating large power systems. Geneva, Jan. 1990, UN ECE, EP/GE, 2/R.79/Add.2.
- Central-European interconnection planning and operation practices. Meeting of experts on the problems of planning and operation large power systems. Geneva, May 1990, UN ECE, EP/GE, 2/R.78/Add.2/Rev.

The Structure of the Unified Energy System of Russia in the Post-Soviet Period

Z. A. Ataev*

Yesenin Ryazan State University, Ryazan, Russia

*e-mail: ataev-rzn@ya.ru

The article examines the Unified Energy System of Russia from the point of view of its modern content and connectivity of structural parts. It is shown how the patterns of development of the USSR and Russia's energy space are historically connected. The main attention is paid to the geographical analysis of changes in the industrial space of Russia, which determines the bet on factual information. The study revealed that there are three structural parts in the Unified Energy System of Russia. According to the criterion of the absence of electrical connections for parallel operation with other systems, a zone of technologically isolated (decentralized) energy systems is allocated, this is by definition the area of network incoherence. According to the criterion of synchronous operation (with a common frequency of electric current), two more spatial zones are allocated. The first synchronous zone includes six integrated power systems. Geographical analysis shows that elements of weak communication are inherent in all power systems and are produced by the transformation of the post-Soviet space. A pronounced defect of network incoherence is Kaliningrad oblast. The energy system of the South is based on the transit of electricity through the territory of Ukraine. The disconnection will reduce the stability of the European segment of the Unified Energy System of Russia, the risks of losing operational access to Transnistria, Moldova and the south-western segment of the European energy system are high. Therefore, capital-intensive network projects bypassing Ukraine are relevant. The energy system of the Urals provides the Center–Siberia link with transit through Kazakhstan and, as a consequence, network incoherence and the risks of losing access to Central Asia. The second synchronous zone of the Unified Energy System of Russia includes one unified energy system of the East, which operates in parallel, but not synchronously with the first zone (weak network connection). The energy system of the East has a narrow spectrum of intersystem communication, but it is very promising for integration with the energy system of China.

Keywords: energy space, energy system, unified energy system, unified energy system, isolated energy system, interconnection of energy systems, operational zone, synchronous zone, stability of the energy system

REFERENCES

- Alaev E.B. *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya: Ponyatino-terminologicheskii slovar'* [Human Geography: Conceptual and Terminological Dictionary]. Moscow: Mysl' Publ., 1983. 350 p.
- Ataev Z.A. *Geograficheskie osnovy lokal'noi energetiki Tsentral'nogo ekonomicheskogo raiona Rossii: monografiya* [Geographical Bases of Local Energy of the Central Economic Region of Russia: Monograph]. Ryazan: Ryazan State University, 2008. 284 p.
- Ataev Z.A. Isolated energy system of Kaliningrad oblast. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2018, no. 1, pp. 101–110. (In Russ.).
- Berdin V.H., Kokorin A.O., Yulkin G.M., Yulkin M.A. *Vozobnovlyаемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики* [Renewable Energy Sources in Isolated Populated Areas of the Russian Arctic]. Moscow: World Wildlife Fund (WWF) Publ., 2017. 80 p.
- Bondarenko A.F., Buting G.D., Lyashenkov V.S., Markun et al. Problems of unification of energy systems of European countries. *Elektrichestvo*, 1991, no. 11, pp. 1–8. (In Russ.).
- Chaika L.V. Spatial aspects of electric power industry development in the Russian European North. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2013, no. 1 (25), pp. 84–97. (In Russ.).
- Central-European interconnection of electricity networks – proposal for an exercise. Meeting of experts on the problems of planning and operating large power systems. Geneva, Febr. 1990, UN ECE, EP/GE, 2/R.78/Add.2/Rev.*
- Central-European interconnection planning and operation practices. Meeting of experts on the problems of planning and operation large power systems. Geneva, May 1990, UN ECE, EP/GE, 2/R.78/Add.2/Rev.*

- Danilova E.V. Reforming the Russian electric power industry (prerequisites and essence of the reform). *Bull. Tomsk State Univ.*, 2009, pp. 274–277. (In Russ.).
- Energetika XXI veka: Usloviya razvitiya, tekhnologii, prognozy* [Energy of the XXI Century: Conditions of Development, Technologies, Forecasts]. Voropai N.I., Ed. Novosibirsk: Nauka Publ., 2004. 386 p.
- Energetics of the USSR in 1986–1990*. Troitsky A.A., Ed. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1987. 312 p.
- Faibisevich D.L., Zeiliger A.N. The influence of the capacity and location of power plants on the formation of power systems. *Elektricheskie Stantsii*, 1990, no. 4, pp. 16–20. (In Russ.).
- Fomina A.V. Regional economy and territorial distribution of the electric power industry of the Russian Federation. In *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki* [Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg Polytechnic University. Economic Studies]. St. Petersburg: Peter the Great SPbPU., 2008, no. 5 (64), pp. 129–133. (In Russ.).
- Gorlov V.N. New trends in the spatial organization of the Russian electric power industry. In *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya: istoriya, teoriya, metody, praktika: sbornik nauchnykh statei* [Socioeconomic Geography: History, Theory, Methods, Practice: collection of scientific articles]. Smolensk: Universum Publ., 2011, pp. 446–449. (In Russ.).
- Ivanov A.V., Skladchikov A.A., Khrennikov A.Yu. Development of electric power industry in the Arctic regions of the Russian Federation considering the use of renewable energy sources. *Ross. Arktika*, 2021, no. 13, pp. 62–80. (In Russ.).
- Khrushchev A.T. *Izbrannye trudy* [Selected Works]. Smolensk: Oikumena Publ., 2010. 320 p.
- Korniyukhova A.V. The state, problems, and prospects of development of the Russian electric power industry. *Vestn. Ross. Univ. Druzhy Narodov. Ser.: Ekonomika*, 2013, no. 2, pp. 49–60. (In Russ.).
- Korchak E.A. *Arkticheskaya zona Rossii: sotsial'nyi portret regionov* [The Russian Arctic Zone: Social Portrait of the Regions]. Apatity: Publishing House of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 2017. 101 p.
- Melentyev L.A. *Ocherki istorii otechestvennoi energetiki (razvitie nauchno-tekhnicheskoi mysli)* [Essays on the History of Domestic Energy (Development of Scientific and Technical Thought)]. Moscow: Nauka Publ., 1987. 277 p.
- Orlov S.L. *Sovremennoe prostranstvo Rossii: novye podkhody i kontseptsii: monografiya* [Modern Space of Russia: New Approaches and Concepts: Monograph]. Moscow: Daskov and K Publ., 2022. 226 p.
- Podkovalnikov S.V., Savelyev V.A., Chudinova L.Yu. Prospects of electric power cooperation between Russia and the countries of Northeast Asia. *Problemy Prognozirovaniya*, 2015, no. 4, pp. 118–130. (In Russ.).
- Problemnye regiony resursnogo tipa: aziatskaya chast' Rossii* [Problematic Resource-type Regions: The Asian Part of Russia]. Lamin V.A., Malova V.Yu., Eds. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2005. 386 p.
- Ridevsky G.V. *Prostranstvennye struktury sovremennoi Belarusi: novaya sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya strany. Monografiya* [Spatial Structures of Modern Belarus: A New Socioeconomic Geography of the Country. Monograph]. Minsk: BelNIIT Transtechnika Publ., 2022. 244 p.
- Situation and prospects of international interconnections*. Meeting of experts on the problems of planning and operating large power systems, Geneva, Jan. 1990, UN ECE, EP/GE, 2/R.79/Add.2.
- The national economy of the USSR in 1989: Statistical yearbook*. Moscow: Finance and Statistics Publ., 1990. 766 p.
- Ukraina, promislovist' ta investitsiina diyal'ist': Atlas* [Ukraine, Industry and Investment Activity: Atlas]. Kiev: Institute of geography of Ukraine, State Scientific and verdict enterprise cartography Publ., 2003. 78 p.