

---

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

---

УДК 621.3

DOI 10.46960/2658-6754\_2021\_2\_04

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ****Г.Я. Вагин**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
Нижегород, Россия  
es@ntu.ru

Представлен обзор современного состояния электроэнергетики как базовой отрасли российской экономики, рассмотрены перспективы ее развития. Проведен анализ данных по изменению установленной мощности электростанций и выработке электроэнергии в России в 1991-2018 гг. Приведены сведения по текущему состоянию в области тепловых электростанций, представлена характеристика гидроэнергетики и атомной электроэнергетики России. Представлен подход к замене изношенного генерирующего оборудования, основанный на модернизации действующих тепловых электростанций путем внедрения парогазовых установок, использования суперсверхкритических параметров пара, и подход, предполагающий переход на электростанции, работающие на возобновляемых источниках энергии. Приведена характеристика текущего состояния и перспектив развития возобновляемой энергетики в России. Показаны преимущества внедрения интеллектуальной энергетической системы на базе концепции *Smart Grid*.

**Ключевые слова:** интеллектуальные энергетические системы, электростанции, электроснабжение, электроэнергетика.

**Для цитирования:** Вагин, Г.Я. Состояние и перспективы развития электроэнергетики в России // Интеллектуальная Электротехника. 2021. № 2. С. 4-14.  
DOI: 10.46960/2658-6754\_2021\_2\_04

# STATE AND PROSPECTS OF ELECTRIC POWER INDUSTRY IN RUSSIA

**G.Ya. Vagin**

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
Nizhny Novgorod, Russia  
es@nntu.ru

**Abstract.** The electric power industry is the basic branch of the Russian economy. The paper provides an overview of the current state of the electric power industry and considers the development prospects. An analysis of data on changes in the installed capacity of power plants and electricity generation in Russia in the period from 1991 to 2018 is carried out. Information on the current state in the field of thermal power plants is provided. The characteristics of the hydropower and nuclear power industry in Russia are presented. The paper describes an approach to replacing worn out generating equipment based on the modernization of existing thermal power plants by introducing combined cycle plants, using supercritical steam parameters, and an approach involving the transition to power plants operating on renewable energy sources. The characteristics of the current state and prospects for the development of renewable energy in Russia are given. The advantages of introducing an intelligent energy system based on the Smart Grid concept are shown.

**Keywords:** electric power industry, power plants, power supply, smart grids.

**For citation:** G.Ya. Vagin, “State and prospects of electric power industry in Russia”, *Smart Electrical Engineering*, no. 2, pp. 4-14, 2021.  
DOI: 10.46960/2658-6754\_2021\_2\_04

## I. Введение

Электроэнергетика является важнейшей инфраструктурной отраслью, обслуживающей потребности национальной экономики, поэтому ее развитие тесным образом связано с перспективами социально-экономического развития страны, эволюцией структуры экономики, изменениями уклада и качества жизни населения. Учитывая эту специфику, во всех странах большое внимание уделяют вопросам производства и эффективного использования электроэнергии.

Россия в настоящее время занимает четвертое место в мире по выработке электроэнергии, уступая США, Китаю и Индии [1]. На рис. 1 и 2 приведена динамика установленной мощности электростанций и выработки электроэнергии в России за период 1991-2018 гг. [2].

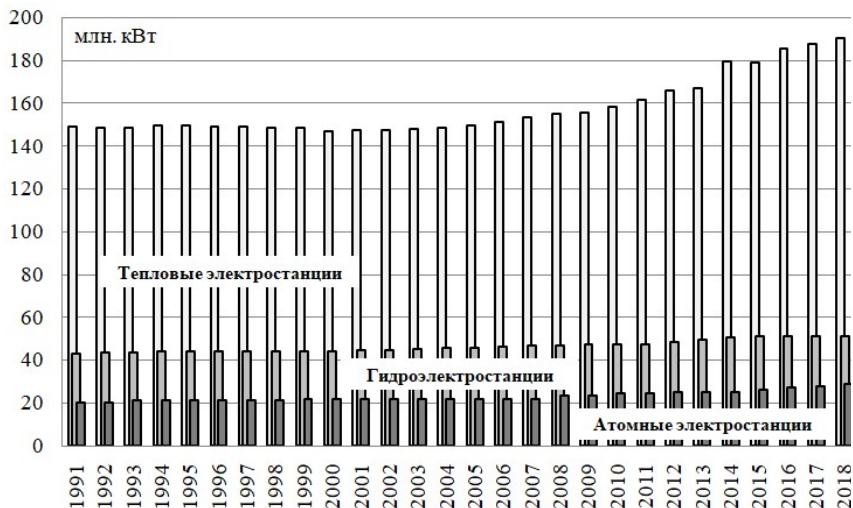


Рис. 1. Динамика установленной мощности электростанций в России

Fig. 1. Dynamics of the installed capacity of power plants in Russia

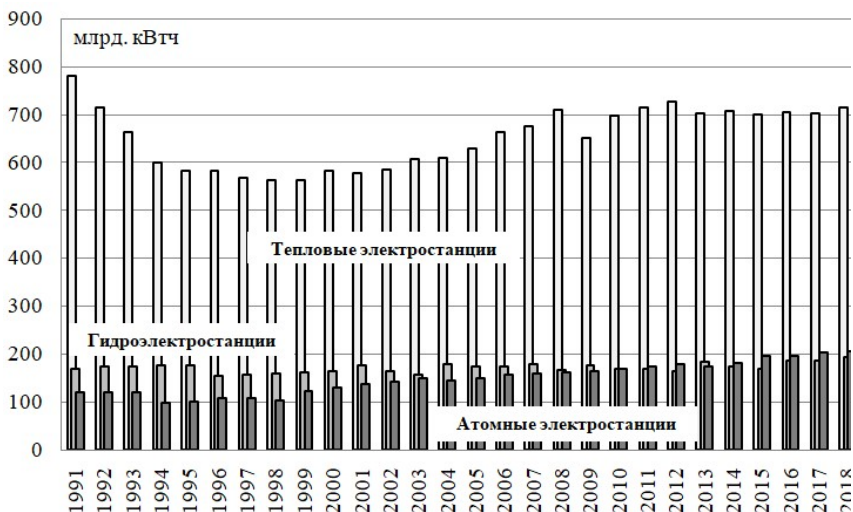


Рис. 2. Динамика выработки электроэнергии в России

Fig. 2. Dynamics of electricity generation in Russia

На основании данных по установленной мощности электростанций и выработке электроэнергии можно сделать следующие выводы:

- за период 1991-2018 гг. установленная мощность электростанций возросла на 27,51 %, а выработка электроэнергии – всего на 4,3 %;
- в 2019 г. тепловые электростанции (ТЭС) выработали 64,2 % электроэнергии, гидравлические (ГЭС) – 17,4 %, а атомные (АЭС) – 18,4 % (для сравнения: в 1991 г. на ТЭС вырабатывалось 70 % электроэнергии, на ГЭС – 20,5 %, на АЭС – 9,5 %);
- при установленной мощности электростанций в 2019 г., равной 274 млн кВт, максимум нагрузки в январе 2019 г. составил 151,661 млн кВт, а годовое потребление электроэнергии – 1075,2 млрд кВт·ч.

В целом на современном этапе перед электроэнергетикой стоят две основные задачи:

- 1) совершенствовать производство электроэнергии, т.е. наиболее эффективно производить требуемое количество электроэнергии;
- 2) совершенствовать потребление электроэнергии, т.е. наиболее эффективно использовать электроэнергию.

Каждая из этих задач предполагает возможность применения широкого спектра различных технологий, отбор которых должен производиться, исходя из технико-экономической эффективности, социальной значимости, влияния на окружающую среду и условий устойчивого развития.

## **II. Производство электроэнергии**

Для более экономичного, рационального и комплексного использования общего потенциала электростанций нашей страны в 1980-е гг. была создана Единая энергетическая система (ЕЭС) СССР. В настоящее время ЕЭС России, являясь крупнейшей в мире, состоит из семи параллельно работающих объединенных энергосистем (ОЭС): Центра, Средней Волги, Урала, Северо-Запада, Юга, Сибири, Востока [3].

Объединение электростанций в энергосистемы дает следующие технические и экономические преимущества [4]:

- 1) повышается надежность электроснабжения потребителей за счет более гибкого маневрирования резервами отдельных электростанций и систем;
- 2) сокращается суммарный резерв мощности;
- 3) обеспечивается возможность увеличения единичной мощности электрических станций и применения на них более мощных энергоблоков;
- 4) снижается общий максимум нагрузки ОЭС, так как совмещенный максимум всегда меньше суммы максимумов отдельных энергосистем за счет их разновременности;
- 5) облегчается возможность задавать экономически более выгодные режимы для любых типов электростанций;

б) повышается эффективность использования различных видов энергетических ресурсов;

7) появляются условия для оптимального управления развитием и режимами работы энергетики в целом и ее автоматизации.

В ЕЭС России включены 56 крупных электростанций и 2,5 млн км линий электропередач напряжением от 220 до 1150 кВ. Общая установленная мощность электростанций составляет 219 ГВт [3].

Оперативное технологическое управление ЕЭС России осуществляется круглосуточно. Создана единая система сбора информации на основе вычислительной техники. Необходимые аварийные отключения в опасных ситуациях осуществляются автоматически. Режим работы системы оптимизируется на всех уровнях: от отдельного генератора до объединенной энергосистемы.

Энергосистема России работает синхронно с энергосистемами Молдавии, Белоруссии, стран Балтии, Закавказья, Казахстана и Монголии. Через энергосистему Казахстана ЕЭС России связана с энергосистемами Узбекистана, Киргизии, Туркменистана и Таджикистана. Через вставку постоянного тока она взаимодействует с энергосистемой Финляндии и через нее – с энергосистемами других скандинавских стран – Норвегии, Швеции и Дании. От сетей ЕЭС России осуществляется экспорт электроэнергии в Финляндию, Норвегию, Китай и ряд других государств [5].

Основную выработку электроэнергии в России производят 600 электростанций в зоне централизованного электроснабжения. Две трети генерирующей мощности (190,2 ГВт) приходится на тепловые электростанции (ТЭС), работающие на органическом топливе [6]. Почти 80 % ТЭС в Европейской части России работают на газо-мазутном топливе, а в Восточной части России свыше 80 % – на каменном угле.

Около 55 % мощности ТЭС – теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), вырабатывающие электрическую и тепловую энергию, а 45 % – это конденсационные электростанции (КЭС), вырабатывающие электрическую энергию. Свыше 90 % установленной мощности всех ТЭС России составляют паротурбинные электростанции, 1-2 % газотурбинные (ГТЭ) и парогазовые (ПГТЭ), остальное – установки дизельные, геотермальные и др.

Самой крупной КЭС в России является Сургутская ГРЭС-2 (ГРЭС – аббревиатура, сохранившаяся с времен СССР, которая обозначала государственную районную электростанцию) с установленной мощностью 4,8 ГВт, работающая на природном газе. Из КЭС, работающих на угле, самой крупной является Рефтинская ГРЭС с установленной мощностью 3,8 ГВт.

В настоящее время все крупные ТЭС объединены в оптовые генерирующие компании (ОГК) и территориальные генерирующие компании (ТГК).

*Гидроэнергетика* является ключевым элементом обеспечения системной надежности ЕЭС России, располагая более 90 % резерва регулируемой мощности. Из всех существующих типов электростанций именно ГЭС являются наиболее маневренными и способны при необходимости быстро и существенно увеличить объемы выработки электроэнергии, покрывая пиковые нагрузки. В 2019 г. установленная мощность ГЭС в России составляла 51,3 ГВт (18,3 % от мощности всех электростанций). За 2019 г. ГЭС выработали 194 млрд кВт·ч электроэнергии (17,4 % от всей выработанной в России). Для гидростроительства в нашей стране характерно сооружение каскадов ГЭС. При этом, кроме производства электроэнергии, решаются проблемы судоходства, снабжения населения и предприятий водой и устранения паводков. Самые крупные ГЭС в стране входят в состав Ангаро-Енисейского каскада: Саяно-Шушенская (6,4 ГВт), Красноярская (6,0 ГВт) на Енисее; Иркутская (0,66 ГВт), Братская (4,3 ГВт) и Усть-Илимская (4,32 ГВт) на Ангаре. В европейской части России работает крупный каскад ГЭС на Волге, в который входят 9 электростанций. Максимальную установленную мощность имеет Волжская ГЭС – 2,426 ГВт. Мощность всего каскада – 10,91 ГВт.

*Атомная электроэнергетика.* В России в настоящее время работают 10 АЭС. Наиболее крупные Балаковская и Ленинградская-1 по 4,0 ГВт. Установленная мощность АЭС в России в 2019 г. составляла 29,1 ГВт (10,71 % от мощности всех электростанций). За 2019 г. АЭС выработали 205 млрд кВт·ч электроэнергии (18,39 % от всей выработанной в России электроэнергии) и вышли на второе место по выработке.

### **III. Перспективы развития электроэнергетики**

Одна из основных проблем в электроэнергетике России – большой износ оборудования существующих электростанций (более 40 % на ТЭС, 50 % – на ГЭС). Износ основных фондов электросетевого хозяйства превышает 40 %, а оборудования подстанций – 63 %. Возрастной состав оборудования электростанций различен для региональных систем; наиболее высок он для ОЭС Юга, Северо-Запада, Сибири и Урала, где доля оборудования со сроком службы более 30 лет превышает 50 %.

До 2030 г. на электростанциях требуется заменить 80-110 ГВт старого генерирующего оборудования [7]. Возможны два подхода к такой замене.

*Подход 1.* Институт «Теплоэлектропроект» рекомендует придерживаться следующего общего подхода при замещении выводимого из эксплуатации оборудования на тепловых электростанциях [8]:

1) энергоблоки мощностью 200-300 МВт на природном газе замещать парогазовыми установками мощностью 150-540 МВт с использованием оте-

чественных газотурбинных ГТЭ-110 и 180 и других вновь создаваемых более мощных ГТУ;

2) энергоблоки мощностью 800 МВт на газо-мазутном топливе модернизировать на повышенные параметры пара, в том числе, с использованием суперсверхкритических параметров пара (ССКП);

3) энергоблоки мощностью 300 и 500 МВт на твердом топливе модернизировать на повышенные параметры пара, в том числе, с использованием пара ССКП;

4) техническое перевооружение энергоблоков мощностью 150-200 МВт на твердом топливе осуществлять путем модернизации;

5) техническое перевооружение ТЭЦ с давлением пара 13 МПа и выше, работающих на газе, проводить путем модернизации;

6) техническое перевооружение ТЭЦ с давлением пара 9 МПа и ниже, работающих на газе и твердом топливе, производить путем перевода их на работу по схеме ГТУ-ТЭЦ и ПГУ-ТЭЦ.

7) ускорить разработку проектов перспективных экологически чистых угольных энергоблоков: паровых на ССКП с использованием малотоксичных горелок и сжиганием углей в котлах с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) и сверхкритических параметрах пара; парогазовых с внутрцикловой газификацией углей.

*Подход 2.* Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН) предлагает отказаться от модернизации действующих ТЭС на ископаемых энергоресурсах и переходить на электростанции, работающие на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Это, в первую очередь, СЭС, ВЭС и БТЭС [9]. Данные типы электростанций становятся более выгодными с экономической точки зрения и позволяют минимизировать отрицательные воздействия электростанций на окружающую среду.

Такой подход к модернизации ТЭС расходится с концепцией интеллектуальной сети [10], в соответствии с которой электроснабжение в электроэнергетических системах будущего будет обеспечиваться централизованными электростанциями и распределенными источниками энергии. Оба типа генерации могут включать в себя и электростанции на базе ВИЭ.

Отказ от электростанций на ископаемых ТЭР поставит надежность электроснабжения потребителей в зависимость от природных аномалий.

Согласно [9], в 2017 г. получение электроэнергии на базе ВИЭ утвердилось не только в качестве самого быстрорастущего и быстрокупаемого, но и в качестве основного сектора энергетики.

В настоящее время доля энергии, получаемой за счет ВИЭ, составляет 42 % в Дании, 33 % в Германии, 27 % в Австрии, 21 % в Великобритании [9]. В целом по Евросоюзу доля ВИЭ в 2020 г. составила около 20 %.

В России основным видом энергетики на использовании ВИЭ является гидроэнергетика. В 2018 г. выработка электроэнергии на ГЭС России составила 17,3 % от всей электроэнергии. Выработка электроэнергии на СЭС составила 0,071 %, а на ВЭС 0,02 % от всей вырабатываемой электроэнергии [11]. Установленная мощность СЭС в 2018 г. составила 0,834 ГВт (0,31 % от мощности всех электростанций). Установленная мощность ВЭС составила 0,184 ГВт (0,067 % от всех электростанций).

Общая мощность малых ГЭС в 2018 г. составила 1,2 ГВт (0,44 %) от всех электростанций.

В табл. 1 приведена оценка потенциала ВИЭ в России.

Таблица 1.  
Оценка потенциала ВИЭ в России

Table 1.  
Assessment of renewables potential in Russia

Ресурсы	Общий потенциал, млн т усл. т./год	Технический потенциал, млн т усл. т./год	Экономический потенциал, млн т усл. т./год
Малые ГЭС (мощностью менее 25 МВт)	360,4	124,6	65,2
Солнечная энергия	2 300 000	2 300	12,5
Энергия ветра	26 000	2 000	10,0
Геотермальная энергия	21 500	1 800	11,5
Энергия биомассы	10 000	53	35
Низкопотенциальное тепло	525	115	36
Общий потенциал ВИЭ	2358385	6393	274

При полном энергопотреблении в России около 1 млрд т усл. т./год возможный для использования потенциал ВИЭ составляет 274 млн т усл. т./год, или 27,4 %.

#### IV. Заключение

В настоящее время в России проводится работа по созданию и внедрению интеллектуальной энергетической системы на базе концепции *Smart Grid*.

*Smart Grid* – это концепция интегрированной, саморегулирующейся и самовосстанавливающейся электроэнергетической системы, имеющей сетевую топологию и включающей в себя генерирующие источники, маги-



стральные и распределительные сети и все виды потребителей электрической энергии, управляемые единой сетью информационно-управляющих устройств и систем в режиме реального времени [12].

Такая система дает возможность за счет новых средств и новой организации управления функционированием и развитием интеллектуальной энергетической системы обеспечить новые свойства и новые эффекты: живучести, «цифрового» качества энергии, возможности ее аккумулирования, управления межсистемными перетоками и снятия излишних ограничений на синхронную работу всех частей энергосистемы, сегментацию и иерархию силовых энергетических и информационных потоков, распределения принимаемых управленческих решений (текущих и перспективных) и ответственности за них, оптимизации используемых первичных энергетических ресурсов и инвестиционных вложений, а также расширенное воспроизводство производственных и финансовых активов, всего энергетического потенциала страны [13].

Внедрение системы *Smart Grid* в энергетике станет мощным стимулом для инновационного развития смежных отраслей (информационных технологий, энергомашиностроения, строительства, транспорта и связи, сервисных предприятий по ремонту, наладке и проектированию), а также для развития энергетической науки.

Главную роль во внедрении системы *Smart Grid* в России играют Федеральная сетевая компания (ФСК) и Публичное акционерное общество «Российские сети» (ПАО Россети).

© Вагин Г.Я., 2021

Поступила в редакцию 10.03.2021

Received 10.03.2021

### Библиографический список

- [1] Губайдуллина А. Рынок российской энергетики: кто больше всех производит электричества в стране // Интернет-газета «Реальное время». Ноябрь 28, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://realnoevremya.ru/articles/121619-obzorgynka-elektroenergii-rossii> (дата обращения 10.02.2020).
- [2] Установленная мощность ТЭС // EES EAEC. Мировая энергетика. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eeseaec.org/ustanovlennaa-mosnost-tes> (дата обращения 10.02.2020).
- [3] Основные характеристики российской энергетики // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения 10.02.2020).
- [4] Герасимов В.Г. Электротехнический справочник. М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 964 с.
- [5] Максимов Б.К., Молодюк В.В. Теоретические и практические основы рынка

- электроэнергии. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 292 с.
- [6] Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups\\_rep2019.pdf](https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf) (дата обращения 10.02.2020).
- [7] О проведении конкурентных отборов проектов модернизации генерирующего оборудования тепловых электростанций. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 января 2019 № 43. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/120455/> (дата обращения 10.02.2020).
- [8] Загреддинов И.Ш., Кучеров В.В., Захаров Я.В., Шабанов И.И. Основные направления строительства ТЭС России в проектах АО «Институт Теплоэлектропроект» // Электрические станции. 2018. № 10. С. 2-8.
- [9] Зайченко В.М., Соловьев Д.А., Чернявский А.А. Перспективные направления развития энергетики России в условиях перехода к новым энергетическим технологиям // Окружающая среда и энерговедение. 2020. № 1. С. 33-47.
- [10] Шакарян Ю.Г. и др. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. М.: 2012. – 238 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/mfl4voxwok/direct/73743691> (дата обращения 10.02.2020).
- [11] Антонов Н.В., Евдокимов М.Ю., Шилин В.А. Возобновляемая энергетика за рубежом и в регионах России // Географическая среда и живые системы. 2020. №1. С. 85-99. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-85-99.
- [12] Лоскутов А.Б. Проблемы перехода электроэнергетики на цифровые технологии // Интеллектуальная электротехника. № 1. 2018. С. 9-27. DOI: 10.46960/2658-6754\_2018\_1\_9.
- [13] Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.

### References

- [1] A. Gubaidullina, “Rynek rosyjskiej energetyki: kto bol'she vsekh proizvodit elektrichestva v strane [Russian energy market: who produces the most electricity in the country], *Realnoe Vremya online newspaper*, Nov. 28, 2018 [Online]. Available at: <https://realnoevremya.ru/articles/121619-obzor-rynka-elektroenergii-rossii> [Accessed: Feb. 10, 2020] (in Russian).
- [2] Ustanovlennaya moshchnost' TES [Installed capacity of thermal power plants]. [Online]. Available at: <http://www.eeseaec.org/ustanovlennaa-mosnost-tes> [Accessed: Feb. 10, 2020] (in Russian).
- [3] Osnovnyye kharakteristiki rossiyskoy energetiki [The main characteristics of the Russian energy sector]. [Online]. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/532> [Accessed: Feb. 10, 2020] (in Russian).
- [4] V.G. Gerasimov, *Elektrotekhnicheskii spravochnik [Electrotechnical reference book]*. Moscow: Moscow Power Engineering Institute, 2004 (in Russian).
- [5] B.K. Maksimov and V.V. Molodyuk, *Teoreticheskiye i prakticheskiye osnovy rynka elektroenergii [Theoretical and practical foundations of the electricity market]*. Moscow: Moscow Power Engineering Institute, 2008 (in Russian).
- [6] Otchet o funktsionirovanii EES Rossii v 2019 godu [Report on the functioning of the

- UES of Russia in 2019]. [Online]. Available at: [https:// www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups\\_rep2019.pdf](https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf) [Accessed: Feb. 10, 2020] (in Russian).
- [7] *O provedenii konkurentnykh otkorov proyektov modernizatsii generiruyushchego oborudovaniya teplovykh elektrostantsiy* [On the competitive selection of projects for the modernization of the generating equipment of thermal power plants], Resolution of the Government of the Russian Federation no. 43, January 25, 2019 [Online]. Available at: <http://government.ru/docs/all/120455/> [Accessed: Feb. 10, 2020] (in Russian).
- [8] I.Sh. Zagretdinov, V.V. Kucherov, Ya.V. Zakharov and I.I. Shabanov, “Basic trends of Russia’s thermal power plants construction represented in projects of JSC “Institute Teploelectroproject””, *Electrical Stations*, no. 10, pp. 2-8, 2018.
- [9] V.M. Zaichenko, D.A. Solovyev and A.A. Chernyavsky, “Prospective directions of Russian electric power industry development within the framework of transition to new energy technologies”, *Journal of Environmental Earth and Energy Study*, no. 1, pp. 33-47, 2020.
- [10] Yu.G. Shakaryan et al. *Kontseptsiya intellektual'noy elektroenergeticheskoy sistemy s aktivno-adaptivnoy set'yu* [Concept of intelligent electric power system with active-adaptive grid]. Moscow, 2012. [Online]. Available at: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/mfl4voxwok/direct/73743691> [Accessed: Feb. 10, 2020] (in Russian).
- [11] N.V. Antonov, M.Yu. Evdokimov and V.A. Shilin, “Renewable energy abroad and in Russian regions”, *Geographical Environment and Living Systems*, no. 1, pp. 85-99, 2020. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-85-99.
- [12] A.B. Loskutov, “Solving problems in transition of electrical industry to digital technologies”, *Smart Electrical Engineering*, no. 1, pp. 9-27, 2018. DOI: 10.46960/2658-6754\_2018\_1\_9.
- [13] B.B. Kobets and I.O. Volkova, *Innovatsionnoye razvitiye elektroenergetiki na baze kontseptsii Smart Grid* [Innovative development of the electric power industry based on the Smart Grid concept]. Moscow: Energy, 2010 (in Russian).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Вагин Геннадий Яковлевич**, доктор технических наук, профессор, профессор Нижегородского государственного технического университета им. П.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

**Gennady Ya. Vagin**, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation.