

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ: РЕЗУЛЬТАТЫ 2020 Г.

АВТОР:

В.А. БУТУЗОВ, Д.Т.Н.,
КУБАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. И.Т. ТРУБИЛИНА

Около 20% производимой в настоящее время электроэнергии в России — это возобновляемая энергетика. Общая выработка электроэнергии электростанциями на основе ВИЭ

в 2020 г. составила около 210 млрд кВт·ч. Экономический потенциал всех возобновляемых источников страны довольно велик и, по некоторым оценкам, составляет 270 млн т условного топлива в год.

Ключевые слова: гидроэнергетика; солнечная энергетика; биоэнергетика; геотермальная энергетика; теплогенерация на биомассе; солнечное теплоснабжение; геотермальное теплоснабжение; системный оператор ЕЭС РФ; возобновляемая энергетика (ВЭ); возобновляемые источники энергии; программы ДПМ ВИЭ; сетевая ВЭ; розничный рынок ВЭ; ВЭ удаленных энергорайонов; «зеленые» сертификаты; рынок микрогенерации; СЭС; ВЭС; ВДС; малые ГЭС (МГЭС); геоЭС; тепловые насосы.



Самая крупная в России ветроэлектростанция — Адыгейская ВЭС — в 2020 г. приступила к поставкам электроэнергии на оптовый рынок

ВВЕДЕНИЕ

Развитие возобновляемой энергетики (ВЭ) является одним из ведущих трендов мировой энергетики. Итоги развития электрогенерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в 2020 г., по данным REN21 (www.ren21.net) и Института экологических технологий АЕЕ INTEC (www.aee-intec.at), представлены на рис. 1. В электрогенерации наибольших результатов достигла гидроэнергетика: установленная мощность 1170 ГВт, годовая выработка 4370 ТВт·ч/год. Для ветроэнергетики эти значения составляют соответственно 743 ГВт и 1743 ТВт·ч/год, для солнечной энергетика — 708 ГВт и 901 ТВт·ч/год, для биоэнергетики выработка электрической энергии составила 602 ТВт·ч/год, для геотермальной энергетика при установленной мощности 14 ГВт — 94,7 ТВт·ч/год. В области теплоснабжения, по данным тех же организаций, на рис. 2 представлены значения установленной мощности и выработанной тепловой энергии в 2020 г. в мире с использованием энергии биомассы, солнечной и геотермальной энергии. Наибольшим количеством тепловой энергии отличается теплогенерация на основе энергии биомассы — 4323 ТВт·ч. Установленные мощности и выработка тепловой энергии солнечного теплоснабжения составили 501 ГВт и 407 ТВт·ч, геотермального теплоснабжения — 108 ГВт и 284 ТВт·ч.

Развитие ВЭ в России осуществляется на основании закона от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», поправки в который с 2007 до 2021 г. регламентируют сооружение ветроэлектростанций (ВЭС), солнечных электростанций (СЭС), малых гидроэлектростанций (МГЭС) и других видов ВЭ. Статистика установленных мощностей и выработанной электрической энергии электростанциями России в 2020 г. представлена в от-

четах функционирования Системного оператора ЕЭС России (АО «СО ЕЭС») (www.so-ups.ru) [1]. По состоянию на 01.01.2021 суммарная установленная мощность всех электростанций страны составила 245,3 (100%) ГВт, в том числе гидроэлектростанций (ГЭС) — 50 (20,35%) ГВт, солнечных электростанций — 1,7 (0,7%) ГВт, ветроэлектростанций — 1,03 (0,42%) ГВт. ВЭ РФ, включая большую и малую гидроэнергетику, имела общую установленную мощность 52,73 ГВт, или 21,47% суммарной мощности всех электростанций страны. При общей выработке всеми электростанциями РФ за 2020 г. 1047 ТВт·ч (100%) электрической энергии ВЭ было произведено 210 (20,1%) ТВт·ч, в том числе ГЭС — 207,4 (98,7%) ТВт·ч, СЭС — 1,98 (0,8%) ТВт·ч, ВЭС — 1,38 (0,5%) ТВт·ч. На рис. 3 представлены величины установленных мощностей и выработанной в 2020 г. электрической энергии ГЭС, СЭС и ВЭС. Официальная статистика по установленной мощности теплоснабжения с использованием ВИЭ и выработанной тепловой энергии в России ранее

отсутствовала. В 2021 г. изменился критерий значения мощности МГЭС. Распоряжением Правительства РФ от 01.06.2021 № 1446-Р максимальное значение их установленной мощности увеличено до 50 МВт.

РЫНОК ВЭ

Современный российский рынок ВЭ начал создаваться в 2007 г. после внесения изменений в закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике». Постановлением Правительства РФ от 23.01.2015 № 47 определен действовавший до 2021 г. порядок поддержки ВЭ на оптовом и розничном рынках электроэнергии, а также в территориально изолированных энергорайонах по программе ДПМ ВИЭ 1,0. Инвесторы на оптовом рынке определялись Администратором торговой системы на конкурсной основе исходя из следующих критериев: капитальные затраты на 1 кВт установленной мощности; локализация производства оборудования; коэффициент использования

УСТАНОВЛЕННЫЕ МОЩНОСТИ И ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МИРЕ НА ОСНОВЕ ВИЭ В 2020 Г.

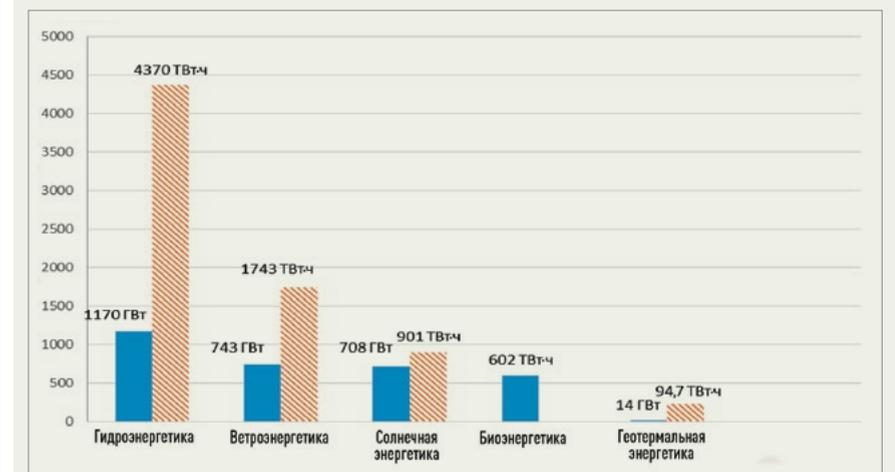


Рис. 1

УСТАНОВЛЕННЫЕ МОЩНОСТИ И ВЫРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В МИРЕ НА ОСНОВЕ ВИЭ В 2020 Г.

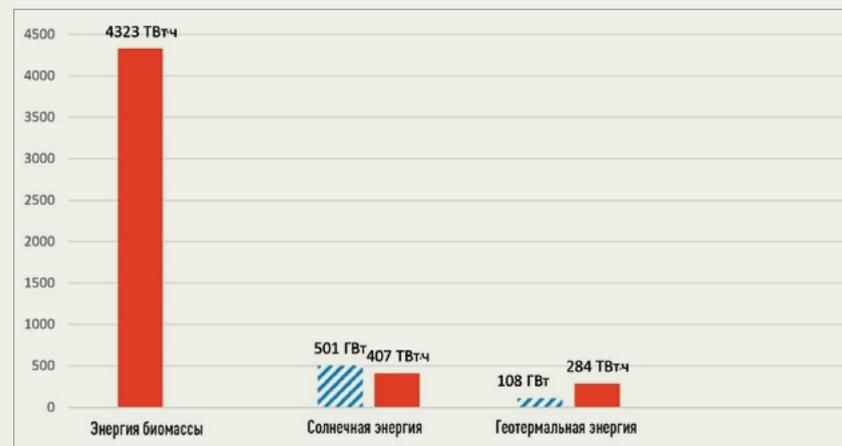


Рис. 2

установленной мощности. Правительство обязало региональные сетевые компании закупать электроэнергию ВЭ для компенсации до 5% прогнозируемых потерь в электрических сетях. С победителями конкурса заключались договоры с гарантией рентабельности 12% и выгодными тарифами на вырабатываемую энергию.

В 2021 г. распоряжением Правительства РФ от 01.06.2021 № 1446-Р были внесены изменения в закон № 35-ФЗ с утверждением новой программы ДПМ ВИЭ 2,0. Ее срок продлен до 2035 г., а мощность электрогенерации с использованием ветровой, солнечной и малой гидравлической энергии возросла до 12 ГВт. Новым критерием стал показатель эффективности электростанции (одноставочная цена) вместо ранее действовавших удельных капитальных вложений на 1 кВт мощности. Требования программы ДПМ ВИЭ 2,0 предусматривают также возможность изменения установленной мощности, ужесточение требований к перемещению местонахождения [2].

На розничном рынке электрической энергии для регулирования ВЭ Постановлением Правительства РФ от 29.08.2020 № 1298 отбор проектов ВЭ для схем и программ развития электроэнергетики регионов (СИПР) производится по плановой стоимости 1 МВт·ч (одноставочному тарифу). Сетевые компании обязаны заключать договоры купли-продажи электроэнергии с инвестором ВЭ, включенным в СИПР, до ввода электростанции в эксплуатацию.

Для территориально удаленных 23 энергорайонов в 2020 г. Минэнерго России разработало план модернизации неэффективных электростанций с общей установленной мощностью 791 МВт, большая часть (70%) которых находится в Якутии, Камчатском и Красноярском краях, Ямало-Ненецком АО. АНО «Агентство Дальнего Востока по привлечению инвестиций и поддержке экспорта» разработало Концепцию по привлечению частных инвестиций в развитие распределенной энергетики на изолированных и труднодоступных территориях.

ПАО «РусГидро» в 2020 г. организовало конкурс по развитию распределенной энергетики в Якутии на основе энерго-сервисных контрактов. Его победителем стало ООО «Комплексные энергетические решения». Договор с ним предусматривает строительство шести солнечно-дизельных электростанций общей мощностью СЭС 2,3 МВт.

Наблюдательный совет Ассоциации «НПП Совет рынка» 28.09.2021 одобрил разработку системы добровольного использования в России различных видов «зеленых» инструментов для подтверждения производства электроэнергии на основе ВИЭ взамен двусторонних договоров и сертификатов международной системы I-REC. С 2018 г. в России уже заключались свободные двусторонние договоры. В 2021 г. они были подписаны с подразделением компании Procter&Gamble (Тульская обл.), ПАО «Щекиназот» (Тульская обл.). Потенциальный рынок таких сертификатов оценивается в 224 млн МВт·ч/год.

Перспективы рынка ВЭ в микроэлектрогенерации в ближайшие пять лет оцениваются в 150–200 МВт·ч/год. Законом от 27.12.2019 № 471-ФЗ предусмотрена установка микрогенерации, в том числе ВЭ у частных и юридических лиц, с возможностью продажи излишков электроэнергии в электросети. Постановлением Правительства РФ от 02.03.2021 № 299 регламентирован механизм реализации этого закона.

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Солнечная энергетика в России развивается по двум основным направлениям: электроэнергетика с прямым преобразованием солнечного излучения в электрическую энергию (фотоэнергетика) и солнечное теплоснабжение. Фотоэнергетика в основном представлена сетевыми

СЭС, автономными и солнечно-дизельными СЭС. Россия имеет также развитую космическую солнечную энергетику. В настоящее время лидером ВЭ России является сетевая фотоэнергетика. В статье В.А. Бутузова [3] представлен обзор ее развития. На 01.01.2021 установленная электрическая мощность сетевых СЭС составляла 1700 МВт, а за 2020 г. ими было выработано 1,980 ТВт·ч [1].

Крупными инвесторами сооружения сетевых СЭС являются ГК «Хевел» (743 МВт), ООО «Солар Системс» (365 МВт), ПАО «Т-Плюс» (190 МВт). Основное производство фотоэлектрических модулей (ФЭМ) ГК «Хевел» организовано в Новочебоксарске (Чувашия). В 2020 г. этот инвестор построил СЭС общей мощностью 189 МВт, в том числе в Калмыкии Малодербетовскую СЭС (45 МВт), третью очередь Яшульской СЭС (25 МВт), в Саратовской области Дергачевскую СЭС (25 МВт), в Бурятии Торейскую СЭС (45 МВт), в Омской области Нововаршавскую СЭС (30 МВт).

В 2021 г. введена в эксплуатацию вторая очередь СЭС «Лукойл — Волгоград нефтепереработка» (20 МВт). Вторым по объемам строительства СЭС инвестором в России является ООО «Солар Системс», производство ФЭМ которого расположено в Подольске (Московская обл.). В 2020 г. этой организацией были введены в эксплуатацию СЭС общей мощностью 105 МВт, в том числе в Волгоградской обл. СЭС «Светлая» (25 МВт), СЭС «Лучистая» (25 МВт), СЭС «Астерион» (15 МВт), в Башкирии СЭС «Стерлибашевская» (25 МВт), в Ставропольском крае шестая очередь Старомарьевской СЭС (15 МВт), СЭС «Медведица» (25 МВт). На третьем месте среди инвесторов находится ПАО «Т-Плюс». В 2020 г. оно ввело в эксплуатацию в Оренбургской области СЭС «Сатурн» (30 МВт) с двусторонними ФЭМ.

В России разработкой ФЭМ в основном занимается Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе (ФТИ, Санкт-Петербург). В статье О.С. Попеля и А.Б. Тарасенко [4] выполнен обстоятельный обзор в том числе отечественных научных школ и производств ФЭМ. НПО «Квант» (Москва) и ПАО «Сатурн» (Краснодар) в сотрудничестве с ФТИ ведут разработки и изготовление ФЭМ для космической энергетики. Исследованием совместной работы СЭС и энергосистем занимается Институт системных энергетических исследований РАН [5].

Солнечное теплоснабжение в современной России в отличие от советского периода практически не развивается [6]. Установленная мощность гелиоустановок в 2020 г. оценивалась 70 МВт [7]. Исследованиями занимаются Объединенный институт высоких температур (ОИВТ) РАН [8], лаборатория ВИЭ МГУ им. М.В. Ломоносова [9], Кубанский государственный аграрный университет [10]. Проектирование гелиоустановок в основном ведут ООО «Новый Полюс» (Москва) и ООО «Энерготехнологии-Сервис» (Краснодар). Солнечные коллекторы

(СК) по полному технологическому циклу, в том числе абсорберы, производит ООО «Новый Полюс». В номенклатуру этого производства входят жидкостные плоские и трубчатые вакуумные, воздушные и комбинированные СК. Второй российский производитель АО «ВПК «НПО машиностроения» в 2020–2021 гг. осуществлял сборку жидкостных плоских СК «Сокол-эффект» из импортных комплектующих с медными и алюминиевыми абсорберами. Монтажом в основном занимается ООО «Новый Полюс».

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

В России в настоящее время развитие получили преимущественно сетевые ВЭС. В небольшом количестве сооружаются ветродизельные станции (ВДС) и малые ветроэлектрические установки (ВЭУ) единичной мощностью до 50 кВт. На 01.01.2021, по данным АО «СО ЕЭС» [1], суммарная установленная мощность сетевых ВЭС составляла 1030 МВт (см. рис. 3), а выработка электрической энергии за 2020 г. — 1,38 ТВт·ч. Тремя основными инвесторами на рынке

УСТАНОВЛЕННЫЕ МОЩНОСТИ И ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В 2020 Г. ВЭ РОССИИ, ПО ДАННЫМ АО «СО ЕЭС»



Рис. 3

УСТАНОВЛЕННЫЕ МОЩНОСТИ И ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В 2020 Г. В РОССИИ НА ОСНОВЕ ВИЭ

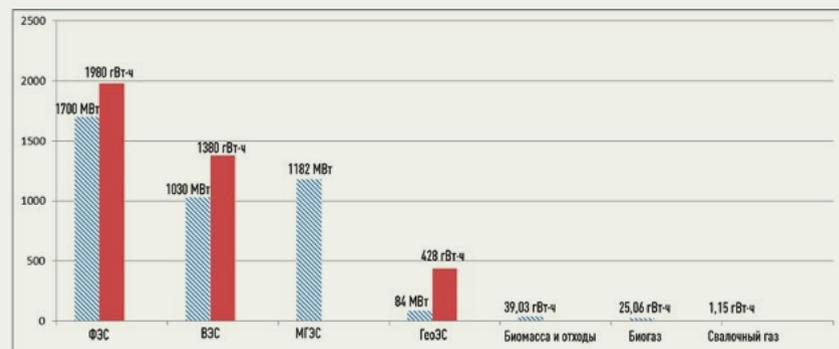


Рис. 4

ветроэнергетики являются Фонд развития ветроэнергетики (ФРВ), АО «НовоВинд», Партнерство ПАО «ЭНЕЛ-РУС» и компании «Симменс-Гамеса». Учрежденный УК «РосНАНО» и ПАО «Фортум» ФРВ взял за основу редуторную схему ВЭУ датской компании Vestas и с 2019 г. развернул производство гондол в Нижнем Новгороде, лопастей в г. Ульяновске, башен в Таганроге. По состоянию на 01.01.2021 ФРВ построил ВЭС общей мощностью 599 МВт. В 2020 г. в Ростовской обл. им были построены Каменская (100 МВт), Сулинская (100 МВт), Гуковская (100 МВт), первая очередь Казачьей ВЭС (50 МВт), в Калмыкии — Салынская (100 МВт) и Целинская (100 МВт) ВЭС. В 2021 г. велось строительство ВЭС в Волгоградской и Астраханской областях общей мощностью 445 МВт. До 2024 г. ФРВ планирует строительство ВЭС суммарной мощностью 1800 МВт.

Вторая по объемам сооружения ВЭС компания АО «НовоВинд» использует базовую безредукторную конструкцию датской компании Lageway. Она с 2020 г. организовала производство генераторов, гондол, ступиц, обтекателей на заводе «Атоммаш» в Волгодонс-

ке, а башен на заводе «Ветростройдеталь» в том же городе. В 2020 г. АО «НовоВинд» построило Адыгейскую ВЭС мощностью 150 МВт, а в 2021 г. — самую мощную на 01.10.2021 российскую ВЭС «Кочубеевская» в Ставропольском крае мощностью 201 МВт. До 2024 г. АО «НовоВинд» планирует сооружение ВЭС суммарной мощностью 1000 МВт.

Третья по объемам строительства ВЭС организация Партнерство ПАО «ЭНЕЛ-РУС» и компании «Симменс-Гамеса» за основу взяла редуторную схему ВЭС компании «Симменс-Гамеса» и в 2019 г. организовала сборочное производство в Санкт-Петербурге. На 01.01.2021 Партнерство построило ВЭС общей мощностью 90 МВт, а до 2024 г. планирует сооружение ВЭС общей мощностью 300 МВт.

В северных и труднодоступных районах в составе изолированных энергосистем работают ВДС [11]. В Камчатском крае на острове Беринга с 1996 г. эксплуатируется Никольская ВЭС мощностью 550 кВт, на Камчатке — Усть-Камчатская ВДС мощностью 1175 кВт и с 2013 г. — Октябрьская мощностью 3300 кВт. На Ку-

рильском острове Кунашир с 2015 г. успешно эксплуатируется Новиковская ВДС мощностью 450 кВт. В Якутии в пос. Тикси в 2018 г. построена ВДС мощностью 900 кВт. Всего в изолированных энергосистемах работают сотни малых ВЭУ единичной мощностью менее 50 кВт отечественного и зарубежного производства.

В России единичные экземпляры ВЭУ разрабатывают и выпускают около десятка частных фирм. Особенности их конструкций описаны в статье С.В. Грибкова [12]. В России выполнены исследования ветроэнергетического потенциала страны. Для сооружения сетевых ВЭС эту работу ведет в том числе д.т.н. В.Н. Николаев [13]. Разработкой ВЭУ для использования в Арктике в условиях ограниченной климатической информации занимается д.т.н. В.В. Елистратов [14], разработкой малых ВЭУ — к.т.н. С.В. Грибков [12]. Исследования работы ВЭС и ВДС в составе энергосистем выполняет д.т.н. П.В. Илюшин [5].

МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

В 2021 г. максимальная установленная мощность МГЭС распоряжением правительства РФ увеличена до 50 МВт. В соответствии с данными Справочника [15] и Отчета о функционировании ЕЭС России (www.so-ups.ru) с учетом указанного выше критерия суммарная установленная мощность МГЭС РФ в 2020 г. составила 1182 МВт. В 2021 г. велось строительство четырех МГЭС общей мощностью 70 МВт: Красногорские № 1 и 2 в Карачаево-Черкессии, «Псыгансу» в Кабардино-Балкарии, «Башенная» в Чечне. Тройку лидеров-инвесторов в 2021 г. составили ПАО «РусГидро» (100 МВт), АО «Норд Гидро» (49 МВт), ООО «Южэнергострой» (24 МВт). Проектирование и строительство МГЭС в основном выполняют ПАО «РусГидро» (Москва)

и ООО «ИНСЭТ» (Санкт-Петербург). С 1993 по 2020 г. эта организация изготовила оборудование и построила 92 МГЭС общей мощностью 23 МВт. В 2021 г. ООО «ИНСЭТ» были разработаны ТЭО МГЭС мощностью 2 МВт на острове Парамушир (Курилы), три проекта МГЭС, введены в эксплуатацию восемь МГЭС.

ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

В современной России геотермальная энергетика представлена электрогенерацией, теплоснабжением на основе глубоких (более 400 м) скважин и теплоснабжением с использованием поверхностных геотермальных ресурсов. Петрогеотермальная энергетика с использованием тепла «сухих» горных пород в России не получила распространения.

Для геотермальной энергетике необходимы высокотемпературные пароводяные месторождения, которые в России на доступных для эксплуатации глубинах есть только на Камчатке и Курильских островах. Там в настоящее время разведаны четыре пароводяных месторождения с утвержденными запасами 40,7 тыс. м³/сут. Исследованием геотермальных месторождений этого региона занимается в основном Институт вулканологии и сейсмологии ДНЦ РАН (Петропавловск-Камчатский). В статье этого института [16] дана оценка геотермальных ресурсов, в том числе пароводяных месторождений Камчатки. Исследованием пароводяных геотермальных месторождений и скважин занимается д.т.н. А.Н. Шулюпин из Института горного дела ДВО РАН (Хабаровск). Добычу геотермального пароводяного теплоносителя в основном производят на Паужетском месторождении АО «Тепло Земли» (пос. Елизово, Камчатский край) и на Мутновском месторождении филиал «Возобнов-

ляемая энергетика» ПАО «Камчатскэнерго» (Петропавловск-Камчатский). В 2020 г. в России добыто 13 млн т геотермального пара.

В 2021 г. в России эксплуатировалось четыре геотермальные электростанции (геоЭС) общей установленной мощностью 84 МВт, самой мощной (50 МВт) из которых является Мутновская геоЭС на Камчатке. На российских геоЭС в основном применяется прямой энергоцикл с непосредственной подачей геотермального пара в турбины. По итогам 2020 г. суммарная выработка электрической энергии всеми геоЭС РФ составила 427 ГВт·ч. На Паужетской геоЭС построен, но не введен в эксплуатацию бинарный энергоблок мощностью 2,5 МВт.

Исследованием геотермальной энергетике в основном занимаются ООО «Геотерм-М» (Москва) — разработчик технологии и проектов Мутновской, Верхне-Мутновской геоЭС, Паужетского бинарного энергоблока [17] и Институт вулканологии и сейсмологии. Сопровождение

эксплуатации оборудования геоЭС ведет его изготовитель — Калужский турбинный завод.

Высокотемпературное геотермальное теплоснабжение. В системах теплоснабжения, как правило, применяется теплоноситель с температурами более 70 °С. В России разведано 62 высокотемпературных геотермальных месторождения с запасами 268 тыс. м³/сут — на Камчатке, в Дагестане, Адыгее, Краснодарском и Ставропольском краях. Эти месторождения были разведаны и освоены в советское время. В наши дни разведку новых месторождений продолжает АО «Тепло Земли» на Камчатке.

Исследования водяных геотермальных месторождений выполняют АО «Тепло Земли» (Камчатка, Курилы), Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетике — филиал ИВТАН РАН (г. Махачкала). Владеют лицензиями на разработку и эксплуатацию месторождений на Камчатке АО «Тепло Земли», в Дагестане ООО «Геоэкопром» (г. Махачкала),

УСТАНОВЛЕННЫЕ МОЩНОСТИ И ВЫРАБОТКА ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ В 2020 Г. В РОССИИ НА ОСНОВЕ ВИЭ

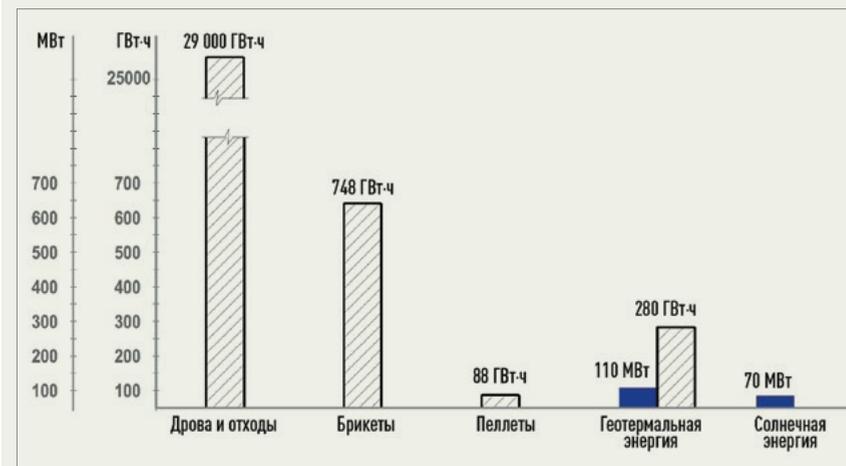


Рис. 5

в Краснодарском, Ставропольском краях и Адыгее АО «Нефтегазгеотерм» (пос. Мостовской, Краснодарский край). В 2020 г. из 161 скважины этих месторождений было добыто 35 млн м³. Способ добычи фонтанный.

В 2020 г. в России эксплуатировались геотермальные системы теплоснабжения с общей установленной тепловой мощностью 110 МВт, с реализацией тепловой энергии 280 МВт·ч/год. В этих системах работали 20 термораспределительных станции, а общая протяженность тепловых сетей составила 280 км. Термораспределительные станции выполнены, как правило, по одноконтурной схеме. Исследованиями, разработкой и сопровождением эксплуатации геотермальных систем теплоснабжения в основном занимаются ООО «Геотерм-М» и ООО «Энерготехнологии-Сервис» (Краснодар).

Поверхностные геотермальные ресурсы нашей страны с глубиной скважин до 400 м и с температурами до 50 °С во второй половине XX в. были исследованы д.г-м.н. Ю.Д. Дядькиным и д.т.н. Э.И. Богуславским. В книге Богуславского [18] приведены обзорные карты территории страны и распределение температур на глубинах от 40 до 200 м. Там же представлена методика определения количества тепловой энергии, поступающей к скважинам поверхностной геотермии. В книге д.т.н. Г.П. Васильева [19] изложен метод математического моделирования тепловых режимов неглубоких скважин. В статье В.А. Бутузова и соавт. [20] представлен анализ технологий геотермального теплоснабжения в России. Относительно низкие температуры грунтов на глубинах до 400 м обуславливают необходимость применения тепловых насосов.

В условиях отсутствия государственной поддержки в настоящее время в России не сформирован рынок геотермальных тепловых насосов. Их

установкой и сооружением скважин занимается около 50 частных предприятий, а статистика эксплуатации не ведется. Ассоциация «Зеленый киловатт» [21] представила перечень объектов с успешно работающими геотермальными теплонасосными системами. В 2021 г. фирма «Термекс» (г. Тосно, Ленинградская обл.) приступила к производству геотермальных тепловых насосов мощностью до 56 кВт.

БИОЭНЕРГЕТИКА

Закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» в редакции от 29.12.2017 предусматривает использование ВИЭ, к которым относятся в том числе: биомасса, состоящая из специально выращенных для получения энергии растений, включая деревья, а также отходов производства и потребления, за исключением отходов, полученных в процессе использования углеводородного сырья и топлива; биогаз; газ, выделяемый отходами производства и потребления на свалках таких отходов; газ, образующийся на угольных шахтах.

В Минэнерго России с 2001 по 2010 г. д.т.н. П.П. Безруких на основе статистической отчетности по форме № 6 ТП Росстата велась работа по обобщению опыта в том числе электро- и теплогенерации на основе сжигания биомассы. В 2002 г. в России работали 24 электростанции с совместным использованием биомассы и ископаемого топлива суммарной установленной мощностью 1367 МВт, при этом 607 МВт из них, применяя биомассу, вырабатывали 2426 млн кВт·ч/год электрической и 12,4 млн МВт·ч/год тепловой энергии.

В новом плане развития ВЭ до 2035 г. (ДПМ ВИЭ 2,0), утвержденном Постановлением Правительства РФ от 01.06.2021 № 1446-Р, не установлены задания по генерации

электроэнергии на основе биомассы. По результатам 2020 г. Ассоциация «НП Совет рынка» (www.np-sp.ru) привела данные выработки электроэнергии на биоЭС — 65,2 ГВт·ч/год, в том числе на основе биомассы и ее отходов 39,03 ГВт·ч/год, биогаза 25,06 ГВт·ч/год, свалочного газа 1,15 ГВт·ч/год. По установленной мощности биоЭС обобщенные данные в настоящее время отсутствуют.

В перечне квалифицированных объектов Минэнерго России (www.minepnergo.gov.ru), работающих на основе биомассы и отходов, по состоянию на 01.10.2021 была указана только миниТЭЦ «Белый Ручей» в Вологодской обл. с установленной электрической мощностью 6 МВт и тепловой 49 МВт (отходы древесины). С 2009 г. в городах Морозовск и Миллерово Ростовской обл. работают две мини-ТЭЦ мощностью по 6 МВт с сжиганием лузги подсолнечника. В указанном перечне Минэнерго России приведены данные только двух биоЭС с сжиганием биогаза. В 2012 г. в с. Грузкое Белгородской обл. была построена биогазовая станция (БГС) «Байцурь» мощностью 1 МВт. В той же области в Лучковском сельском поселении работают две БГС мощностью 3,6 МВт. В число квалифицированных объектов также входит биоЭС на свалочном газе полигона ТБО в пос. Новый Свет Ленинградской обл.

Для теплоснабжения в России используются в основном следующие виды биомассы: дрова, отходы от переработки древесины и сельскохозяйственно-го производства. Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 г. [22] в 2019 г. в стране было заготовлено 14 млн плотных кубометров дров, что эквивалентно 29 тыс. ГВт·ч тепловой энергии. По данным О. Ракитовой [23], из отходов лесозаготовки (23 млн т) и деревопереработки (20 млн т) в теплоснабжении применяются в основном топливная щепка, топливные брикеты и пеллеты

(топливные гранулы). Однако топливная щепка в России пока не получила широкого применения. Производством топливных брикетов в 2019 г. в России занимались 280 предприятий с годовым объемом производства 450 тыс. т при внутреннем потреблении 230 тыс. т [24], что эквивалентно 748 ГВт·ч/год. Пеллеты (топливные гранулы) в 2019 г. в России производились на 300 заводах в объеме 1,9 млн т (в 2020 г. 2,2 млн т [25]) при внутреннем потреблении не более 5%. Общий годовой объем тепловой энергии пеллет оценивается в 88 ГВт·ч/год. Таким образом, суммарное количество тепловой энергии при сжигании дров, топливных брикетов и пеллет в 2019 г. составило 29 836 ГВт·ч/год, при этом доля дров равна 97%.

Крупнейшие котельные на древесных отходах работают на заводах швейцарской компании Swiss Krono в пос. Ветлужный Шарьинского района Костромской обл. мощностью 96 МВт и шведской компании «ИКЕА» в деревне Подберезье Новгородской обл. мощностью 85,5 МВт [26]. Наибольшее число котельных на дровах и отходах работают в Архангельской обл. В 2019 г., по данным сайта www.infobio.ru, там эксплуатировалось 650 котельных установленной мощностью 3000 МВт (100%), в том числе 420 на дровах, общей мощностью 1110 (37%) МВт, в которых ежегодно сжигалось 260 тыс. т топлива. В этом регионе работает самая мощная в России пеллетная котельная в пос. Катунино Приморского района мощностью 20 МВт. Древесное топливо активно используется в соседних с Архангельской обл. Карелии, Вологодской, Ярославской, Костромской обл. В пос. Импилахти в Карелии ООО «Сетлес» с 2007 г. эксплуатирует котельную с сжиганием древесной коры мощностью 10 МВт с котлами финской компании «Вяртелла». В Хабаровском крае из 400 муниципальных котельных на древесине работают 60 (15%) котельных общей мощностью 107 МВт.

В России технологии сжигания дров и древесных отходов развивались с 1930-х гг. в основном двумя научными центрами: ВТИ в Москве и ЦКТИ им. Ползунова в Санкт-Петербурге [27]. Там были разработаны конструкции котлов с неподвижными и механическими колосниковыми шахтными топками и с факельным сжиганием измельченного топлива. В этих котлах в основном применяются две технологии: прямого сжигания и пиролиза. В 2021 г. в стране котлы на дровах, пеллетах, брикетах, древесных отходах производились десятком заводов. Например, компания «Автоматиклес» в г. Коврове Владимирской обл. (www.avtomaticles.ru) выпускает котлы на опилках, щепе, коре и древесных отходах тепловой мощностью от 200 кВт до 10 МВт, пеллетные автоматизированные котлы мощностью от 15 до 250 кВт, самоочищающиеся пеллетные горелки.

На рис. 4, 5 представлены значения мощностей и выработанной годовой энергии электро- и теплогенерацией России в 2020 г.

ВЫВОДЫ

1. Российский рынок ВЭ в области электрогенерации создан в основном мерами государственного стимулирования по программе ДПМ ВИЭ 1,0. В новой программе ДПМ ВИЭ 2,0 до 2035 г. предусмотрено развитие, как и в предыдущем, только СЭС, ВЭС и МГЭС. В то же время в России успешно работают несколько геоЭС, стоимость электроэнергии которых вдвое ниже топливных ТЭС (Мутновская геоЭС, Камчатка). Там же разведаны перспективные геотермальные месторождения, выполнены проекты новых геоЭС. В настоящее время в стране отсутствует рынок теплоснабжения с использованием ВИЭ, меры господдержки не разработаны. При больших объемах сжигания древесины и ее отходов для теплоснабжения отсутствует про-

грамма развития этого направления. Созданное в России пеллетное производство ориентировано на импорт, а цены на его продукцию неконкурентны в большинстве регионов страны. В России исследования по проблемам комплексного использования ВИЭ в народнохозяйственном комплексе практически не ведутся.

2. Солнечная энергетика в России представлена в основном сетевыми СЭС. Их установленная мощность в 2020 г. составила 1,7 ГВт, а выработка — 1,98 ТВт·ч. Россия сохранила свои компетенции в космической солнечной энергетике. Продолжается строительство ФЭС в изолированных северных и дальневосточных энергорайонах. Основными инвесторами сооружения сетевых СЭС являются ГК «Хевел» (189 МВт в 2020 г.) и ООО «Солар Системс» (105 МВт в 2020 г.). Каждая из этих компаний имеет в России производство ФЭМ на основе кристаллического кремния. Солнечное теплоснабжение представлено небольшим количеством эксплуатируемых гелиоустановок. Отсутствует серийное производство солнечных коллекторов.

3. Ветроэнергетика в России уже два года является лидером по темпам развития ВЭ. Установленная мощность всех ВЭС на 01.07.2021 составила 1030 МВт, а выработка электрической энергии за 2020 г. — 1380 ГВт·ч. Рынок ветроэнергетики освоен в основном тремя инвесторами: ФРВ, АО «НовоВинд», партнерством ПАО «ЭНЕЛ-РУС» и компании «Симменс-Гамеса». В основу конструкций ВЭУ положены решения западноевропейских лидеров ветроэнергетики. Применяются как редукторные, так и безредукторные схемы ВЭУ. Каждый из указанных инвесторов построил в России заводы, а степень локализации производства в 2021 г. достигла 70%. В стране в изолированных энергосистемах ограниченное применение получили ВДС. При большой потребности северных районов в ВЭУ

в 2021 г. они не получили широкого применения. Российские разработчики и производители малых ВЭС разобщены, отсутствует серийное производство. Актуальны исследования результатов эксплуатации сетевых ВЭС.

4. Россия имеет многолетний опыт разработки строительства, эксплуатации и производства оборудования МГЭС. Основным фактором, препятствующим их дальнейшему развитию, является преобладание в общей стоимости проектных и строительномонтажных работ. Дополнительное стимулирование по программе ДПМ ВИЭ 2,0 уже привело в 2021 г. к увеличению инвестиций в сооружение МГЭС общей мощностью 214 МВт.

5. В основе развития геотермальной энергетики лежат разведанные четыре пароводяных месторождения с запасами 40,7 тыс. м³/сут и 62 геотермальных водяных месторождения с запасами 268,2 тыс. м³/сут. Из 161 скважины в 2020 г. было добыто 13 млн т геотермального пара и 35 млн м³ воды. Установленная мощность четырех геоЭС составила 84 МВт, а выработка ими электрической энергии в 2020 г. — 427 ГВт·ч. Геотермальное теплоснабжение при установленной мощности 110 МВт в 2020 г. обеспечило выработку 280 ГВт·ч тепловой энергии. В 2020–2021 гг. геотермальная энергетика продолжала использовать советские научные и инженерные разработки. Разведка новых геотермальных месторождений не ведется. В программе ДПМ ВИЭ 2,0 до 2035 г. не предусмотрено строительство новых геоЭС, отсутствуют меры по развитию геотермального теплоснабжения.

6. При отсутствии господдержки биоэнергетики в программах ДПМ ВИЭ 1,0 и ДПМ ВИЭ 2,0 выработка электрической энергии биоЭС в 2020 г. составила всего 65,2 ГВт·ч, в том числе на основе биомассы и ее отходов 39,03 ГВт·ч, биогаза 25,06 ГВт·ч, свалочного газа 1,15 ГВт·ч. Выра-

ботка тепловой энергии на основе биомассы в количестве 29 836 ГВт·ч в 2019 г. производилась при сжигании дров (29 тыс. ГВт·ч/год), топливных брикетов (748 ГВт·ч/год), пеллет (88 ГВт·ч/год). В России имеется многолетний опыт исследования топочных процессов при сжигании дров и древесных отходов. Десятки заводов производят такие котлы и вспомогательное оборудование, в том числе пеллетные котлы и пеллетные горелки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет АО «СО ЕЭС» о функционировании в 2020 г. (www.so-ups.ru).
2. Информационный бюллетень АРВЭ. Рынок возобновляемой энергетики в России: текущий статус и перспективы развития. Июль 2021.
3. Бутузов В.А. Фотоэнергетика в России//СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование). 2020. № 7. С. 46–54.
4. Попель О.С., Тарасенко А.Б. Современные тенденции развития фотоэлектрической энергетики (обзор)//Теплоэнергетика. 2021. № 10. С. 1–21.
5. Илюшин П.В. Перспективы применения и проблемные вопросы интеграции распределительных источников энергии в электрические сети: монография. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2020.
6. Бутузов В.А. Солнечное теплоснабжение. Опыт столетнего развития//Промышленная энергетика. 2020. № 4. С. 52–63.
7. Бутузов В.А. Эксплуатация российских гелиоустановок//Энергосбережение. 2021. № 1. С. 64–67.
8. Попель О.С., Фортон В.Е. Возобновляемая энергетика в современном мире. М.: Изд. дом. МЭИ, 2015.
9. Дегтярев К.С. Экономика возобновляемой энергетики в мире и в России//СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование). 2017. № 9. С. 80–87.
10. Бутузов В.А., Бутузов В.В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии. М.: Интехэнерго-Издат, 2015.
11. Бутузов В.А., Безруких П.П., Грибков С.В. Российская ветроэнергетика: научно-конструкторские школы, этапы развития, перспективы//СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование). 2021. № 5. С. 62–76.
12. Грибков С.В. Ветро-солнечно-дизельные комплексы электроснабжения малой мощности как основа развития ВИЭ в России. Потребители и перспективы развития как отрасли//Труды REENCOM, 13–14 октября 2016 г.
13. Николаев В.Г. Перспективы развития возобновляемых источников энергии в России. Результаты проекта TACIS Europe AID/116951/C/SV/RU/В.Г. Николаев, С.В. Ганата, Ю.И. Кудряшов, Р. Вальтер, П. Виллемс, А.Г. Санковский/Под ред. В.Г. Николаева. М.: Атмограф, 2009.
14. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. 3-е изд. СПб.: Изд. Политех. ун-та, 2016.
15. Дворецкая М.И., Жданова А.П., Лушников О.Г., Слива И.В. Возобновляемая энергетика. Гидроэлектростанции России. Справочник/Под общей ред. В.В. Берлина. СПб.: Изд. Политех. ун-та, 2018.
16. Кирюхин А.В., Сугробов В.М. Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения//Вулканология и сейсмология. 2019. № 6. С. 50–65.
17. Геотермальная энергетика: справочно-методическое издание/Г.В. Томаров, А.И. Никольский, В.Н. Семенов, А.А. Шипков. М.: Интехэнерго-Издат, 2015.
18. Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр. М.: Спутник, 2018.
19. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли. М.: Граница, 2006.
20. Бутузов В.А., Амерханов Р.А., Григораш О.В. Геотермальное теплоснабжение в России//Теплоэнергетика. 2020. № 3. С. 3–12.
21. Возобновляемая энергетика: примеры и практики реального использования/Под ред. Е.Г. Гаши и Р.Н. Разоренова. М.: Российская инженерная академия; ассоциация «Зеленый киловатт», 2017.
22. Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021. № 312-Р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2023 года».
23. Каким быть топливу будущего? Конгресс и выставка «Биомасса: топливо и энергия»//ЛесПромИнформ. 2021. № 3 (157). С. 116–121.
24. Тамби А., Забелин А. Топливные брикеты — рынок растет//ЛесПромИнформ. 2019. № 7 (145). С. 122–125.
25. Никольская В. Инновационная поленница. Дрова — устаревший товар или современное топливо?//ЛесПромИнформ. 2019. № 5 (143). С. 122–128.
26. Карасевич В.А. Перспективы использования ВИЭ для нужд теплоснабжения в регионах РФ//СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование). 2021. № 5. С. 56–58.
27. Рябов В.А., Литун Д.С. Водогрейные котлы для сжигания древесных отходов//Новости теплоснабжения. 2002. № 12. С. 21–24.



РОССЕТИ

ОСК ЕЭС

Научно-технический центр

В СТРЕМЛЕНИИ К ИННОВАЦИЯМ