

УДК 620.9:621.311.

Ю.А. ШУРЧКОВА, д-р техн. наук, проф. Институт общей энергетики НАН Украины,
ул. Антоновича, 172, г. Киев, 03150, Украина

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ЧАСТЬ 2. НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА РАЗВИТИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В статье рассматривается состояние геотермальной энергетики в мире. По мнению автора, основными тенденциями развития геотермальной энергетики является разработка новейших технологий использования низкопотенциальных подземных флюидов и технологий использования высокопотенциальных носителей теплоты в виде раскаленных скальных пород и магмы. Анализируются проблемы, которые сдерживают более широкое использование геотермальной энергии.

Ключевые слова: геотермальная, энергетика, проблемы, технологии, экология, конкурентоспособность.

В связи с экономическими, политическими, социальными и экологическими проблемами многие страны в мире сталкиваются с необходимостью развивать возобновляемые источники энергии, в том числе, геотермальную энергетику. По данным Международного энергетического агентства, доля геотермальной энергетики в общем энергетическом балансе мира составляет около 0,3% с перспективой роста до 0,5% к 2030 г. [1]. По сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии, объемы геотермальной энергетики также малы – около 0,5%. Несмотря на кажущуюся доступность этих ресурсов, широкое их использование требует целого ряда сложных решений.

Сегодня геотермальные ресурсы идентифицированы почти в 90 странах и более чем в 80 странах они используются. Из трех возможных носителей геотермальной энергии – подземные флюиды, раскаленные скальные породы и расплавленная магма – в настоящее время практическое распространение получило использование нагретых подземных вод, которые содержатся в пластах горных пород, образуя т.н. гидротермальную оболочку, залегающую на различных глубинах по всему земному шару. Этот вид энергии имеет целый ряд существенных преимуществ, по сравнению с традиционными энергоносителями, такие как возобновляемость, стабильность и длительная надежность базовой нагрузки, относительно низкая стоимость, экологичность. Но она имеет

и ряд существенных проблем. Ресурсы, доступные для производства электроэнергии в виде перегретого пара или воды распространены на ограниченной поверхности планеты и географически не всегда удобны для использования. Высоки риски геотермальных проектов, особенно на стадии геологоразведки. Многие преимущества геотермальной энергии имеют свои ограничения, как, например, максимальная мощность геотермальной установки ограничена теплопроизводительностью подземного резервуара. Возобновляемый характер геотермальной энергии не является безусловным, поскольку способность подземного резервуара восстанавливаться может быть нарушена в результате высоких и неконтролируемых объемов отбора теплоносителя. На работу ГеоЭС могут повлиять естественные изменения в земной коре. В связи с неоднородностью геотермального потенциала по регионам мира, возникла необходимость создания большого количества технологий использования геотермальной энергии (табл. 1), что затрудняет и удорожает предварительный выбор технологических решений [2].

Производство электроэнергии. Электроэнергию из геотермальных источников начали производить в начале 20-го столетия, когда в Италии в 1913 г. была запущена в эксплуатацию геотермальная электростанция мощностью 250 кВт. Первая крупная геотермальная электростанция мощностью 160 МВт была построена в 1950 г. в Новой Зеландии. Создание промышленных ГеоЭС началось с 1973 г. в Мексике. В 2016 г. установленные мощно-

© Ю.А. ШУРЧКОВА, 2019

Таблица 1. Технологии использования геотермальной энергии

Энергетический потенциал источника геотермальной энергии	Глубина скважины, м	Температура, °С	Вид используемой энергии	Технология использования геотермальной энергии
Очень низкий	до 100	0 – 30	отопление	тепловой насос
Низкий	1000 – 3000	50 – 90	отопление	отопление и кондиционирование
Средний	500 – 1500	90 – 150	электроэнергия	бинарный цикл/ТЭЦ
Высокий	500 – 1500	150 – 350	электроэнергия	паротурбинная установка
Очень высокий	более 3000	более 200	электроэнергия	геотермальные системы

сти геотермальных электростанций составили около 12,6 МВт, которые произвели более 73,6 ГВт·ч в год в 26 странах мира [3].

Основной прирост в суммарной установленной мощности в последние годы происходит, в основном, за счёт развития бинарных геотермальных технологий. В настоящее время существуют три схемы производства электроэнергии с использованием гидротермальных ресурсов: прямая – с использованием сухого пара, непрямая – с использованием пара и перегретой воды и смешанная – бинарный цикл. Преимущество бинарных установок состоит в том, что они позволяют обеспечить электроэнергией регионы, имеющие низкотемпературные геотермальные ресурсы, а также повысить мощности действующих ГеоЭС, работающих на высокотемпературном геотермальном теплоносителе, без бурения дополнительных скважин [4].

Создатели компании «Raser Technologies» (США) считают, что широкое использование бинарных технологий в перспективе позволит географически расширить применение геотермальной энергии и сделать ее экономически рентабельной. По словам президента компании Крейга Хиггинсона использование новых технологий позволяет им использовать воду с гораздо более низкими температурами: «У нас появилась возможность вырабатывать электричество из воды, температура которой чуть теплее температуры вашей чашки кофе. Это радикально изменяет всю динамику геотермальной отрасли» [5]. Они считают, что самыми распространенными производителями геотермальной электроэнергии будут электростанции с бинарным циклом.

В настоящее время в США, Франции, Германии, Великобритании, Японии, Австралии интенсивно развивается направление по использованию теплоты сухих нагретых горных пород, которые распространены практически повсеместно и потенциал которых примерно

в 100 раз больше теплового потенциала гидротермальных систем. В рамках этого направления создаются новые технологии, которые в будущем, возможно, во многом решат проблему энергообеспечения населения Земли. Так, например, компания Ormat (Израиль) сообщила о завершении наладочных работ скважины, работающей по принципиально новой технологии: вода закачивается под давлением в горячие сухие скальные породы, полученный пар поднимается на поверхность и поступает на турбину, генерируя энергию. Особенностью проекта является то, что в скважину закачивали воду геотермального источника под давлением 5500–6900 кПа. При этом раскаленная порода поддается значительному разрушению, в результате чего, в нее можно закачать максимально возможное количество воды. Технология и проект получили рабочее название Desert Peak. Директор компании Ormat Пол Томпсон уверен, что при создании комплексного проекта, включающего в себя сотни или даже тысячи аналогичных инновационных скважин, произойдет переломный момент в сфере геотермальной энергетики. В настоящее время ведутся исследования, насколько эффективна инновационная технология в реальных условиях [6].

Внимание исследователей все чаще обращается к такому источнику теплоты, как магма. Идея использования теплоты расплавленной магмы была выдвинута в 1975 г. сотрудниками американской лаборатории «Сандия». Там же, в 1984–1985 гг. были проведены натурные эксперименты на скважинах с температурой около 1000°С. (Dunn J.C. Magma energy for power generation // Report for EPRI Meeting on Mai 22, 1987 a palo Alto, USA). В начале 80-х г. в России был разработан проект по использованию тепла вулкана Авачинская сопка близ Петропавловска-Камчатского. Теплоту магматического очага, который находится на глубине около 3 км, предполагалось извлекать через скважину в приочаговой зоне путем закачки в

нее воды. В 2009 г. группа австралийских исследователей, проводивших экспериментальное бурение в поисках геотермальных ресурсов, достигла расплавленной магмы всего на глубине 2,1 км. Хотя практического использования эти опыты пока не нашли, но ученые получили весьма многообещающие результаты.

К инновационным решениям, которые в перспективе могут найти широкое применение, можно отнести проекты по созданию гибридных установок, работающих на геотермальных источниках в сочетании с другими альтернативными источниками. Первые солнечные фотоэлектрические и тепловые геотермальные установки были реализованы в Неваде, в Стиллуотере, где геотермальная установка 48 МВт работает в сочетании с 26 МВт солнечных панелей.

Электроэнергия из геотермальных источников производится в 26 странах мира (табл. 2).

Таблица 2. Страны, производящие электроэнергию на основе геотермальных ресурсов

Страна	Установленная мощность, МВт	Страна	Установленная мощность, МВт
США	3093	Гватемала	33,4
Филиппины	1904	Россия	79
Индонезия	1197	Китай	28
Мексика	953	Турция	20,4
Италия	843	Франция	15
Новая Зеландия	628	Португалия	16
Исландия	575	Папуа Новая	6
Япония	536	Тайланд	0,3
Сальвадор	204	Эфиопия	7
Кения	167	Австрия	1
Коста-Рика	166	Австралия	0,2
Никарагуа	77	Германия	0,2

В левой части таблицы представлены крупнейшие производители электроэнергии. Лидерами являются США, Филиппины, Мексика, Индонезия, Новая Зеландия. Необходимо подчеркнуть, что все эти страны расположены в областях современного вулканизма, в пределах «Огненного Кольца», где теплоноситель имеет высокие параметры, доступен на поверхности Земли, где расходы на сооружение ГеоТЭС минимальны и себестоимость энер-

гии конкурентоспособна на рынке энергоносителей.

Согласно докладу «Возобновляемые источники энергии», подготовленному организацией REN21 (GlobalStatusReport «Renewables 2015»), «За период 2010–2015 гг. установленная мощность ГеоЭС в мире увеличилась на 16% и в 2014 г. составляла 12,6 ГВт. В общей сложности было произведено около 147 ТВт·ч в год электроэнергии. В 2015 г. было введено в эксплуатацию около 315 МВт геотермальной электрической генерации, увеличив глобальную установленную мощность до 13,2 ГВт. В течение года геотермальные электростанции произвели 74 ТВт·ч электроэнергии».

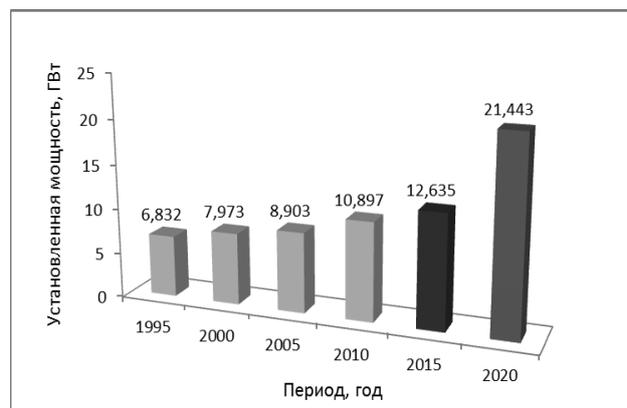


Рис. 1. Увеличение установленной мощности электрических геотермальных станций в мире, 1995–2020 гг.

По прогнозам Международного Геотермального Агентства (IGA) к 2020 г. установленная мощность геотермальных электростанций достигнет 21 ГВт (рис. 1) [7].

Прослеживаются основные тенденции развития отрасли – это развитие бинарных технологий, совершенствование конструкций геотермальных турбин, рост инвестиций в развитие отрасли и расширение регионов использования геотермальной энергии.

Прямое использование геотермальной энергии. Первая геотермальная система теплоснабжения была создана в 1892 г. в США, Айдахо. В 1910 г. в Италии начала работать система теплоснабжения для промышленных предприятий, жилых зданий и оранжерей. Через 105 лет, в 2015 г. прямое использование геотермальной энергии осуществлялось в 82 странах мира. Стремительное распространение тепловых геотермальных станций наблюдалось последние 20 лет: в 1995 г. их имели 28 стран, в 2000 г. – 58, в 2005 г. – 72, в 2010 г. – 78, в 2015 г. – 82. Динамика роста установленных мощностей в период с 1995 по 2015 г. показана на рис. 2 [8].

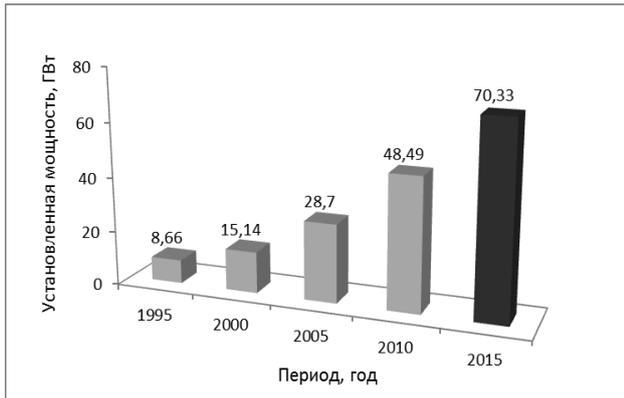


Рис. 2. Увеличение установленной мощности тепловых геотермальных станций в мире, 1995–2015 гг.

За период с 2010 по 2015 г. объем установленных мощностей увеличился почти на 45%, а производство теплоты увеличилось на 6,8% в год. На прямое использование геотермальной теплоты в 82 странах мира приходится 85% общей мощности мировой геотермальной энергетики. Лидерами по объемам использования являются США, Европа, Китай, Турция, Япония, на которые приходится 63,6% мирового использования. Наибольшее процентное увеличение установленной мощности (МВт) за этот период было в Таиланде, Египте, Южной Корее и Монголии. Удельное потребление теплоты на душу населения приходится на небольшие страны, особенно страны Северной Европы: Исландия, Швеция, Финляндия, Норвегия и Швейцария, Новая Зеландия.

Основной суммарный прирост тепловых установленных мощностей в мире в последние годы осуществляется за счёт использования геотермальных тепловых насосов различных систем и конструкций, в том числе геотермальных зондов – вертикальной разновидности геотермального насоса, для которого пробуриваются пара или больше параллельных шурфов, что обеспечивает минимум занимаемых площадей. Геотермальные тепловые насосы обеспечивают наибольшее энергопотребление и установленные мощности во всем мире: более 70% от общих установленных мощностей и более 55% годового потребления энергии. По объемам установленных мощностей тепловых насосов лидируют пять стран: США, Китай, Швеция, Германия и Франция. На долю Германии приходится 65,8% мировых мощностей. Наибольшее количество теплонасосных установок находится в Северной Америке, Европе и Китае. Но с каждым годом количество стран, наращивающих тепловые мощности, увеличивается и растет количество установленных те-

пловых насосов. В 2015 г. оно составляло примерно 4,16 млн единиц в пересчете на 12 кВт установки (типичные для США и Западной Европы). Это на 51% больше по сравнению с 2010 г. и более чем в три раза по сравнению с 2005 г. Мощность используемых установок колеблется от 5,5 кВт для жилого сектора до 150 кВт для коммерческих и промышленных предприятий.

По оценкам [8], тепловая геотермальная энергия используется следующим образом: около 55,3% – в сочетании с геотермальными тепловыми насосами, 20,3% – для купания и плавания (включая бальнеологию), 15,0% – для обогрева помещений (из них 89% для централизованного теплоснабжения), 4,5% – для теплиц и подогрева открытого грунта, 2,0% – для аквакультуры и обогрева дорожного покрытия, 1,8% – в промышленных технологических процессах, 0,4% – для таяния и производства снега, 0,4% – для сушки в сельском хозяйстве и 0,3% – для других целей.

Прямое использование геотермальной энергии наиболее широко используется для обогрева помещений, что позволяет заменять в странах, развивающих геотермальное теплоснабжение, значительную часть ископаемых топлив. Установленная мощность на отопление составляет 7556 МВт, а годовое потребление энергии 88222 ГДж/год. В 28 странах энергия используется для централизованного теплоснабжения. Лидерами в области централизованного теплоснабжения по годовому потреблению энергии являются: Китай, Исландия, Франция и Германия. Турция, США, Италия, Словакия и Россия являются основными пользователями индивидуального отопления. В Европе насчитывается более 5000 систем централизованного теплоснабжения, а доля рынка централизованного теплоснабжения составляет около 10% общего отопительного рынка. В Исландии более 90% теплоснабжения основано на геотермальном тепле. В Рейкьявике 99% потребностей города в тепле обеспечиваются за счет геотермального тепла. В Швеции 95% домохозяйств оборудованы экономичными тепловыми насосами. Страны Восточной и Центральной Европы – Венгрия, Польша, Словакия, Словения, Чехия и Румыния – также активно включаются в создание геотермальных систем централизованного теплоснабжения. Развитию геотермального централизованного теплоснабжения способствует Проект GeoDH, который направлен на преодоление в том числе нетехнических, организационных барьеров в процессе создания геотермальных объектов.

Для промышленных технологических процессов геотермальная теплота используется в

15 странах мира. Это, как правило, энергоемкие производства с круглогодичным потреблением, такие, как бетон (Гватемала и Словения), бутилированные воды и газированные напитки (Болгария, Сербия и США), пастеризация молока (Румыния и Новая Зеландия), кожевенная промышленность (Сербия и Словения), химическая добыча (Болгария, Польша и Россия), извлечение углекислоты (Исландия и Турция), переработка целлюлозы и бумаги (Новая Зеландия), добыча йода и соли (Вьетнам), производство боратов и борной кислоты (Италия). Установленная мощность составляет 610 МВт, а годовое потребление энергии составляет 10453 ТДж/год. Из-за почти круглогодичной эксплуатации использование тепла для промышленных процессов имеет один из самых высоких коэффициентов использования.

Прямое использование геотермальной энергии обеспечивает значительный вклад в энергетические потребности, как развитых, так и развивающихся стран. В 2015 г. экономия энергии составляла 52,5 млн т эквивалентной нефти в год, предотвращая выброс углекислого газа в объеме 46 млн т, по сравнению с использованием мазута для выработки электроэнергии.

Проблемы геотермальной энергетики. Низкий уровень использования геотермальной энергии, несмотря на ее очевидные и убедительные преимущества, определяется целым рядом нерешенных проблем.

1. Экономически выгодные высокопотенциальные ресурсы географически распространены в ограниченном количестве регионов и не всегда легкодоступны. Средне- и низкопотенциальные геотермальные ресурсы доступны практически повсеместно, но требуют либо дорогостоящего глубинного бурения, либо больших площадей под неглубокие скважины в большом количестве.

2. С точки зрения инвесторов, геотермальные проекты имеют высокие риски. Необходимы значительные инвестиции для того, чтобы убедиться, обладает ли геотермальный объект достаточным потенциалом для возмещения затрат. Как отмечается в [9], «это связано с геолого-геотермической неопределенностью геотермальных бассейнов, малой достоверностью информации по глубине и площади залегания термоводоносных горизонтов, их температуре, мощности, проницаемости, пластовым давлениям, минерализации и др.». Главные риски относятся к стадии геологоразведки, к испытательному и тестовому бурению. Только пробное бурение может составлять до 15% от общей стоимости проекта. На этом этапе определяются основные характеристики и эксплуатацион-

ные качества проектируемой геотермальной установки, издержки производства и порядок инвестиций в строительство геотермальной системы. Сочетание экономически выгодных параметров системы, полученных в результате проведенных исследований, позволяет оценить целесообразность планирования и дальнейшего освоения геотермального месторождения.

3. При разработке и освоении геотермальных месторождений серьезным препятствием является отсутствие в большинстве развивающихся стран, в странах Центральной и Восточной Европы узаконенных методик оценки геотермальных ресурсов, оценки тепловой и температурной продуктивности геотермальных водоносных пластов, а также отсутствие законодательства освоения геотермальных ресурсов, без чего невозможно эффективное прогнозирование, планирование и освоение геотермальных месторождений.

4. Крупные проекты создания геотермальных систем обычно занимает от 5 до 10 лет. В связи с длительным циклом разработки таких проектов, они должны быть частью долгосрочной энергетической стратегии. Поддержка разработки геотермального проекта должна содержать такие элементы, как официальная информация для потенциальных разработчиков о геотермальных ресурсах, о ресурсах подземных (грунтовых) вод, об основных геологических характеристиках региона. Важна правовая основа для использования геотермальных ресурсов и поддерживающая политика для привлечения частных инвесторов.

5. Ключевым элементом успешного развития геотермальной энергетики является наличие достаточного капитала, требуется активное участие как государственного, так и частного секторов экономики. Как показывает мировая практика, опора только на коммерческий капитал для развития геотермальной энергетики редко бывает жизнеспособной даже на рынках развитых стран.

6. Для решения проблем широкомасштабного использования геотермальных ресурсов необходимо проведение большого комплекса научно-исследовательских работ на стыке наук: геологии, теплофизики, термодинамики, теплоэнергетики. Необходимо глубокое изучение процессов тепломассопереноса при движении флюида в подземных проницаемых слоях, гидродинамики геотермальных циркуляционных систем, эксплуатационных характеристик реальных процессов преобразования.

7. Серьезной проблемой являются экологические аспекты развития геотермальной энергетики. Термальные воды во многих случаях

имеют высокую минерализацию и содержат загрязняющие атмосферу газы, что приводит к дополнительным затратам на защиту от коррозионных разрушений оборудования геотермальных станций и очистки выхлопных газов, на утилизацию отработанных флюидов. При бурении скважин возможно нарушение и загрязнение грунтовых вод, нарушение приповерхностного окружающего покрова.

Заключение. Общей тенденцией развития геотермальной энергетики является расширение мировых территорий, использующих тепло Земных недр. Эксперты считают, что основной прирост территорий будет происходить в Азиатско-Тихоокеанском регионе, главным образом в Индонезии, в Восточно-Африканской рифтовой долине, Центральной и Южной Америке, а также в Соединенных Штатах, Японии, Новой Зеландии. Интенсивно развивают свои программы в области геотермальной энергетики Китай, Венгрия, Мексика, Исландия и Новая Зеландия. Ряд потенциальных объектов разрабатывается в Южной Африке.

Увеличение объемов установленных мощностей, как электрических, так и тепловых, наблюдается как в традиционных регионах за счет расширения существующих и строительства новых объектов, так и за счет продвижения в регионы с низкопотенциальными геотермальными ресурсами. Группа экспертов из Всемирной ассоциации по вопросам геотермальной энергии, которая провела оценку запасов низко- и высокотемпературной геотермальной энергии для каждого континента, получила следующие данные по потенциалу различных типов геотермальных источников нашей планеты. Общая картина представляется, как показано в табл. 3.

Рост объемов установленных мощностей как электрических, так и тепловых, обусловлен, прежде всего, распространением технологий использования низкопотенциальных ресурсов. Во многих странах ведутся работы по совершенствованию оборудования для бинарных технологий и тепловых насосов с целью повышения их конкурентоспособности. Большое внимание уделяется также вопросам удешевления процесса бурения скважин. Дальнесрочный прогноз – на 2050 г. – предполагает увеличение объемов установленных электрических мощностей до 70 ГВт, что составит 8% от общего объема производства электроэнергии и позволит обеспечить электроэнергией 17% населения Земли.

Но появляются мнения, что возможности повышения эффективности использования гидротермальных ресурсов будут исчерпаны в ближайшее время. Поэтому, представляется, что сегодня одной из первоочередных задач геотермальной энергетики является разработка прорывных, конкурентоспособных технологий для освоения теплоты нагретых скальных пород, где будут значительно более низкие риски при планировании и освоении месторождений, а потенциал их многократно превышает запасы теплоты термальных вод.

Большое значение в развитии геотермальной энергетики имеют национальные программы развития отрасли, научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки в этой области, стремление государств обеспечить соответствующие законодательные и нормативные базы, где устанавливается правовая, экономическая и организационная основа использования возобновляемых источников энергии.

Таблица 3. Использование геотермальных источников разного типа для производства электроэнергии и теплоты по регионам мира

Континент	Тип геотермального источника:		
	высокотемпературный, используемый для производства электроэнергии, ТДж/год		низкотемпературный, используемый в виде теплоты, ТДж/год (нижняя граница)
	традиционные технологии	традиционные и бинарные технологии	
Европа	1830	3700	>370
Азия	2970	5900	>320
Африка	1220	2400	>240
Северная Америка	1330	2700	>120
Латинская Америка	2800	5600	>240
Океания	1050	2100	>110
Мировой потенциал	11200	22400	>1400

Наблюдается тенденция увеличения инвестиций в научно-исследовательские и опытно-промышленные разработки, в создание региональных программ развития возобновляемых источников энергии, что позволяет прогнозировать снижение себестоимости технологий, рисков их реализации и повышение конкурентоспособности геотермальной энергетики. По данным [10], общие инвестиции в геотермальные проекты на 2010–2014 г. составили: в геотермальную энергетику 49 стран были инвестированы примерно 20 млрд долл. США, что в два раза превысило объем 2005–2009 г. для 46 стран. Средний показатель составлял 407 млн долл. США на страну. Категории инвестиций: 28,3% – для производства электроэнергии в 16 странах, 21,8% – для прямого использования в 32 странах, 25,6% – для разработки месторождений, включая бурение и наземное оборудование в 32 странах, 24,4% – для НИОКР, включая разведочное и пробное бурение в 48 странах. Инвестиции по регионам: 10,8% в Африке – 2 страны (2 160 млрд долл. США); 13,4% в Северной и Южной Америке – 9 стран (2,669 млрд долл. США); 44,0% в Азии – 9 стран (8 765 млрд долл. США); 19,9% в Европе – 27 стран (3 953 млрд долл. США); 11,9% в Океании в 2 странах (2 375 млрд долл. США).

Согласно докладу Массачусетского технологического института, посвященного дальнейшим перспективам геотермальной энергетики, к 2050 г. при помощи ее будет вырабатываться до 100 ГВт·ч. энергии только в США. Однако, для этого необходимо финансирование программы развития геотермальной энергетики в размере 1 млрд долл. США в течении 15 лет.

Для популяризации геотермальной энергетики, координации исследований и по продвижению геотермальных программ и проектов прилагает большие усилия Международное геотермальное сообщество в виде Всемирного геотермального конгресса, Международной

геотермальной ассоциации, Европейского геотермального конгресса, Европейского совета по геотермальной энергетике, Европейской геотермальной энергетической компании.

1. World Energy Outlook. Explore WEO 2018. URL: <https://www.iea.org/topics/renewables/geothermal/> (Last accessed: 15.01.2019).
2. Геотермальная энергетика: мировые тенденции и российские перспективы. URL: http://www.cleandex.ru/articles/2016/05/20/geotherm_energy_world_tendency_russian_prospects (Last accessed: 17.12.2018).
3. Ruggero Bertani, Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report. URL: <https://pangea.stanford.edu> (Last accessed: 25.12.2018).
4. Томаров Г.В., Никольский А.И., Семёнов В.Н., Шипков А.А. Геотермальная энергетика: справ.-метод. изд. Под ред. П.П. Безруких. М.: ИнтерэнергоИздат, Теплоэнергетик, 2015. 304 с.
5. Геотермальная энергия: новые технологии США. 2009. URL: <https://www.golos-ameriki.ru/a/a-33-2009-04-14-voa16/646050.html> (Last accessed: 01.02.2019).
6. Инновационные технологии в геотермальной энергетике. Альтернативная энергетика. *Energorus.com*. URL: <http://energorus.com/innovacionnye-texnologii-v-geotermalnoj-energetike/> (Last accessed: 25.01.2019).
7. Развитие геотермальной энергетики в мире. Международное геотермальное агентство (IGA). URL: <https://www.geothermal-energy.org/> (Last accessed: 23.01.2019).
8. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. John W. Lund and Tonya L. Boyd Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, OR 97601, USA, retired
9. Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр. М.: Спутник+, 2018. 448 с.
10. World Geothermal Congress, 2015, Melbourne, Australia, International Geothermal Association. URL: <https://www.geothermal-energy.org/.../world-geothermal-co> (Last accessed: 30.01.2019).

Поступила в редколлегию: 11.02.2019