

DOI 10.25689/NP.2018.4.240-249

УДК 621.482

РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ: ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ЗЕМЛИ

Гуторов Ю.А.

РКНТЦ «Нефтяная долина»

EVOLUTION AND STATE-OF-THE-ART OF GEOTHERMAL ENERGY UTILIZATION ISSUE

Gutorov Yu. A.

RKNTC Neftyanaya Dolina

E-mail: gutorov70@mail.ru

Аннотация. Идея промышленного применения геотермальной энергии в последние годы получила широкое распространение во многих странах, в основном, из-за роста цен на привычные нам виды топлива (нефть, газ). Энергия Земли, заключенная в недрах, огромна по величине и по этой причине возникает необходимость развития теоретических и практических исследований в области геотермальных технологий. Поток тепла из недр Земли в среднем равен 50 мВт/м^2 и может различаться в зависимости от региона. В статье на основе анализа литературных данных приводится короткий обзор о состоянии геотермальной энергетики во всем мире. На сегодняшний день тепло, получаемое из недр Земли в геотермальных станциях, используется во многих странах в качестве источника электрической или тепловой энергии. Огромный потенциал тепла Земли раскрывает перспективу развития данного вида энергетики во многих отраслях в связи с чем возникает необходимость развития, в том числе и теоретических исследований в данной области.

Ключевые слова: геотермальные станции, кондуктивный теплообмен, геотермический градиент, нейтральный слой, теплопроводность, тепловой насос, математическая модель.

Abstract. The idea of geothermal energy industrial utilization has gone mainstream in many countries, mainly due to rise in the prices of conventional fuels, oil and gas. Thermal energy, generated and stored in the Earth, is huge. Therefore, comprehensive theoretical and

practical studies of geothermal technologies are required. The heat flow from the earth interior averages 50 MW/m^2 and can vary from region to region. This paper reviews current state of geothermal industry worldwide based on published data analysis. Today, the Earth's heat produced at geothermal stations is used in many countries as the source of electric or thermal energy. Huge potential of geothermal energy shows promise for further development of this energy sector, for which reason it is necessary to perform basic research in this field.

Key words: *geothermal stations, conductive heat transfer, geothermal gradient, neutral layer, heat conductivity, thermal pump, numerically simulated model*

Введение

В ряде стран тепло или электроэнергия, добытые с помощью геотермальных станций (геотермы), покрывают существенную долю энергетических затрат. Наиболее широко распространены геотермы в регионах, где в силу природных особенностей существует большое количество доступных горячих источников воды. Кроме того, геотермы используются там, где наблюдается дефицит горючих полезных ископаемых или же доставка энергоресурсов осложняется труднодоступностью района.

Одним из способов добычи геотермальной энергии является нагрев жидкости в двухтрубной одноствольной скважине. Вода закачивается с поверхности в межтрубное пространство между НКТ и обсадной колонной. Двигаясь вниз к забою, жидкость нагревается от стенок обсадной колонны за счет их конвективной и кондуктивной теплопроводности с окружающими породами, тепло к которым в свою очередь поступает из недр Земли. Поток тепла при этом в среднем равен 50 мВт/м^2 и может различаться в зависимости от региона. Нагретая на пути к забою вода поднимается обратно к поверхности по НКТ. Чтобы минимизировать потери тепла при подъеме нагретой жидкости, НКТ должны быть изготовлены из теплоизоляционного материала[1]. Нагретая за счет теплообмена с окружающими породами закачиваемая с

поверхности жидкость передает полученное тепло для обогрева, либо для преобразования в электрическую энергию [2].

В девяностых годах суммарная мощность геотермальных станций мира оценивалась в 5 ГВт, а к двухтысячным она перевалила за 6 ГВт. Ряд оценок позволяет сделать вывод о том, что сейчас выработка геотермальной энергии превышает 10 ГВт [3].

В апреле 2015 года в Мельбурне состоялся Всемирный геотермальный конгресс [3]. Количество докладов, принятых на конгрессе, с 1995 года по 2015 год выросло в 2,5 раза (Рис. 1.). Основные доклады рассматривали вопросы роли геофизики, геохимии и геологии в исследовании и управлении геотермальными ресурсами. Но, к сожалению, не были представлены доклады по созданию оптимальной математической модели эффективной, универсальной геотермальной системы, несмотря на то, что за последнее десятилетие было осуществлено много перспективных проектов утилизации геотермальной энергии на нескольких континентах.

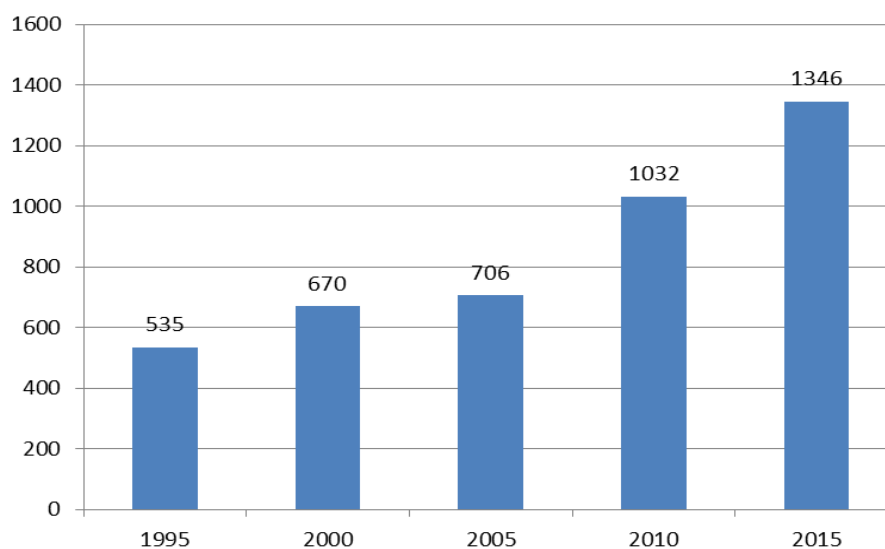


Рис. 1. Количество принятых докладов на Всемирном Геотермальном конгрессе [3].

Производство электроэнергии с использованием геотермальных источников осуществляется в основном в тех странах, где существует вулканическая активность (26 стран). Кроме того, прогнозируется установка геотермальных электростанций во многих других странах, таких

как [4]: Алжир, Аргентина, Армения, Греция, Венгрия, Индия и т.д. По состоянию на 2014 год [5] общая мощность всех геотермальных электростанций составила 12731 МВт (или 0,31 % от мирового производства электроэнергии), а произведенное электричество – 73694 ГВт*час. На рис. 2 представлены ведущие страны по производству электроэнергии из геотермальных источников.

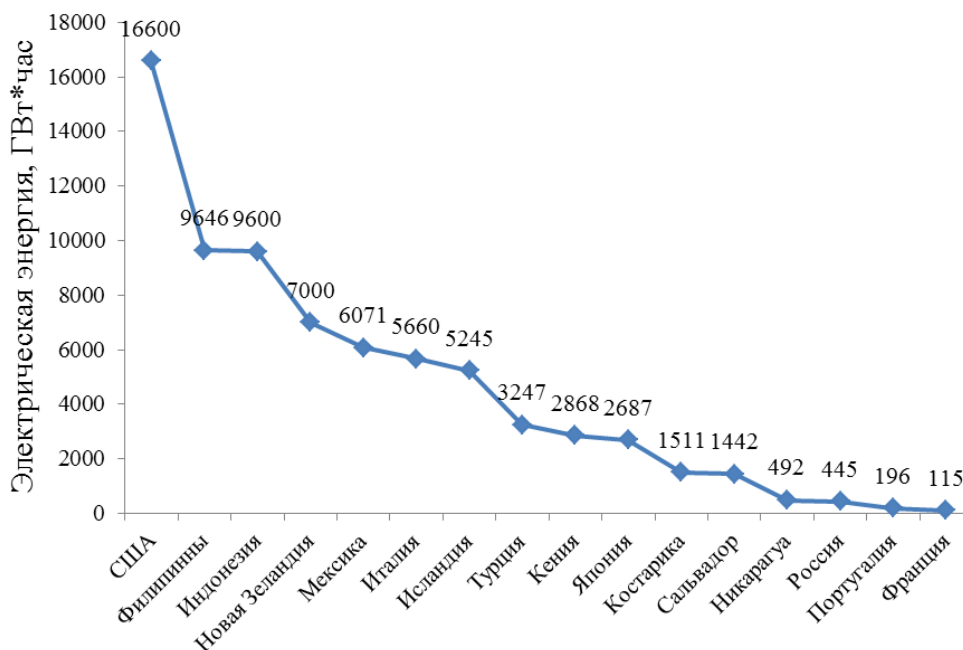


Рис. 2. Произведенное электричество с использованием геотермальной энергии в мире по странам на 2014 год [5].

Например, в Италии доля электроэнергии, выработанной из геотермальных источников, составляет 0,8% по мощности и 1,9% по объему, в Мексике 1,7% и 2,3% соответственно, а в США всего 0,3% и 0,5%, соответственно. На рис. 3 показан рост выработки электроэнергии в мире с 1950 года по 2015 год [5].

Кроме того, геотермальная энергия во всем мире используется в различных областях, таких как: обогрев помещений, обогрев санаториев (бальнеология), обогрев теплиц и бассейнов и т.д. [6,7]. На рис. 4 показано процентное соотношение различных вариантов прямого использования геотермальных источников.

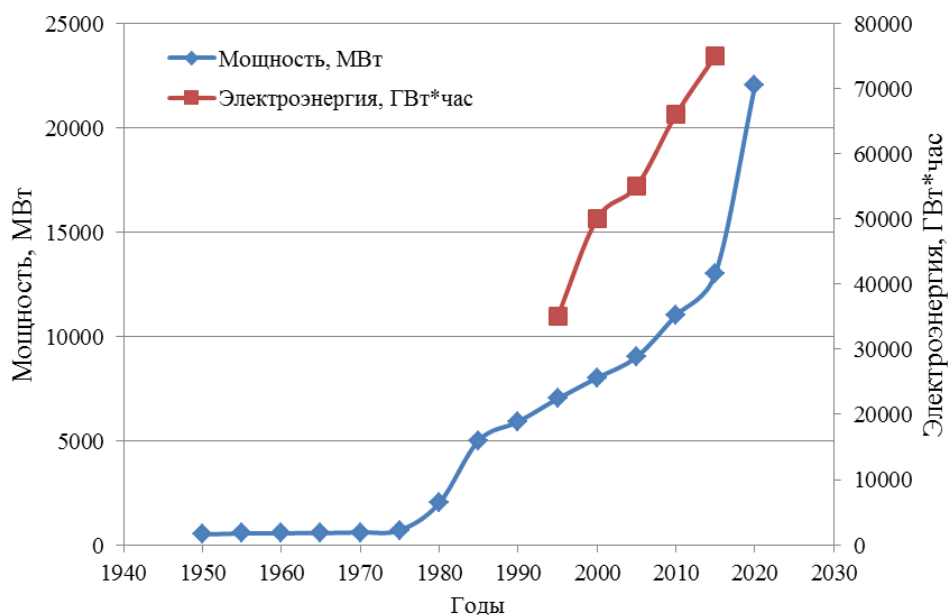


Рис. 3. Установленная мощность (слева) и произведенная электроэнергия (справа) от геотермальной энергии с 1950 по 2015 год[5].

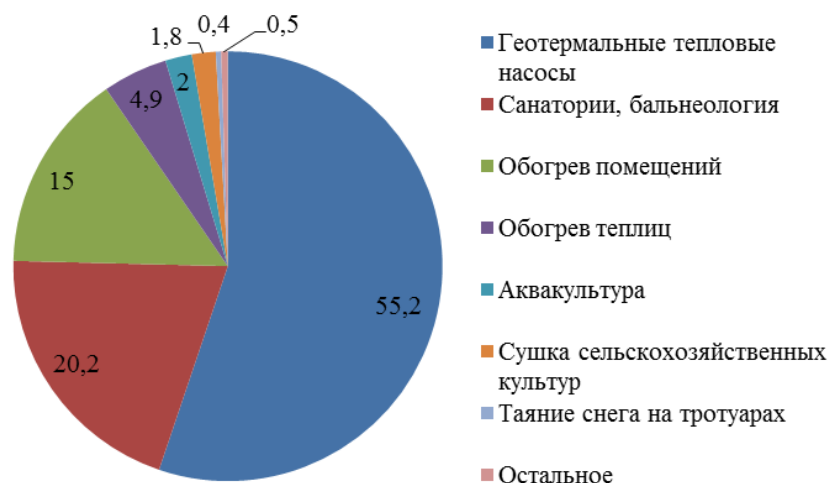


Рис.4. Различные варианты прямого использования геотермальной энергии[6].

Особое внимание необходимо обратить на прямое использование геотермальной энергии в Китае, в частности, для геотермальных тепловых насосов, обогрева помещений и бальнеологии, как лидирующей страны в мире по ее прямому использованию [8].

В работах [9-11] говорится о длительной эксплуатации (сотни лет) геотермальных источников при условии, если темп отбора тепла ниже определенного значения E_0 , т.е. потока тепла из недр Земли. Если скорость

отбора тепла больше, чем E_0 , то поддерживать постоянный уровень вырабатываемой энергии невозможно. Значение E_0 неизвестно заранее, но может быть оценено на основе данных геолого-разведки и добычи. Необходимо отметить о важности подбора соотношения темпа отбора и закачки [12], поскольку если темп отбора больше, чем E_0 , это может привести к необратимому охлаждению геотермального пласта. Об этом также говорится в работе [13].

В Китае геотермальные ресурсы используются с 70-х и 80-х годов. В частности, в районах Урбан и Сяотангштан, которые представлены известняками и доломитами, темп отбора геотермальной воды составлял от 110 до 120 кг/с, что привело к снижению уровня грунтовых вод на 1,5 м в год в этих областях [14].

В Исландии (г. Рейкьявик) разработка геотермальных источников началась в 1990 году с ввода в эксплуатацию геотермальной электростанции с установленной мощностью 100 МВт. В 1998 году (г. Нesiавеллир) открылась геотермальная электростанция мощностью 30 МВт. В настоящее время установленная мощность составляет 90 МВт и планируется 120 МВт [15]. Темп отбора геотермальной жидкости составляет 440 кг/с. Пластовое давление с начала эксплуатации уменьшилось на 70 кПа. Разработанная математическая модель динамики термоградиента во времени с сохранением неизменным указанного темпа прогнозирует падение давления на 300 кПа к 2035 году. В работе [16] рассмотрены модели, прогнозирующие восстановление пластового давления в будущем и изучено насколько являются обратимыми теплофизические процессы в пласте при долговременном отборе геотермальной энергии.

В работе [17] изучены и систематизированы основные процессы, протекающие в недрах Земли, которые обуславливают накопление в них огромного теплового потенциала.

Россия является первой в мире страной, в которой в 1967 году была построена первая в мире бинарная электрическая станция, использующая для выработки электроэнергии теплоту горячей пластовой воды (90 °С) [18]. К сожалению, исследования теплового режима недр на больших глубинах (более 5 км) на территории России до сих пор не проводились и данные доступны только в наблюдательных скважинах [19].

В работе [20] впервые установлено, что эффективность односкважинной системы съема и транспортировки глубинной тепловой энергии недр на поверхность без обсадной трубы в зависимости от скорости движения теплоносителя до 8,5% выше, чем в подобной односкважинной системе съема, но с обсадной трубой по всей длине скважины.

В статье [21] рассмотрена математическая модель приповерхностной системы геотермального теплоснабжения (ПСТ) с кондуктивным характером теплообмена с окружающими породами.

В настоящее время доля петротермальной энергии в топливно-энергетическом балансе в мире очень мала, что объясняется крайне низкими затратами на исследования в данной области [22].

Выводы

1. В международной практике утилизации геотермальной энергии достигнуты значительные результаты. Особенно преуспели в этом отношении страны, не располагающие достаточными углеводородными ресурсами.
2. В России утилизацией геотермальной энергии до последнего времени уделялось недостаточное внимание, особенно в регионах, не имеющих аномальных гидротермальных источников тепла.
3. В связи с переходом разработки многих нефтяных и газовых месторождений России на завершающую стадию, характеризующуюся

ростом доли трудноизвлекаемых запасов и выводом нерентабельного фонда скважин из эксплуатации, себестоимость добычи стала увеличиваться, что отразилось на экономической рентабельности предприятий ТЭК в целом.

4. Анализ возможностей утилизации геотермальной энергии для повышения рентабельности добычи трудноизвлекаемых запасов на территории России показывает возможность подобного научно-технического направления в отношении сокращения энергопотребления на единицу добываемой продукции [23].

Список литературы

1. Ахмадиев Р.Н., Ахмедшин Р.М., Ахмедшин Д.Р., Габдрахманова К.Ф., Гуторов Ю.А. Устройство для эксплуатации геотермальной скважины. Патент РФ на полезную модель №177203 от 22.06.2017 г.
2. Ахмадиев Р.Н., Гуторов Ю.А. Способ извлечения геотермальной энергии из добытой продукции действующей нефтяной скважины. Патент РФ №2592913 от 04.06.2015 г.
3. Horne, R.N. 2015: Introduction to the World Geothermal Congress 2015 Technical Program. Proceedings, World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, IGA: 15 p.
4. Bertani, R. 2016: Geothermal power generation in the world 2010-2015 update report. Geothermics, 60: 31–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.003>.
5. Lund, J. W. & Boyd, T. L. 2016: Direct utilization of geothermal energy 2015 Worldwide review. Geothermics, 60: 66–93, doi:10.1016/j.geothermics.2015.11.004.
6. Lund, J. W. & Boyd, T. L. 2015: Direct utilization of geothermal energy 2015 Worldwide review. Proceedings, World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, IGA: 31 p.
7. Bertani, R. 2015: Geothermal power generation in the World, 2010-2015 Update Report. Proceedings, World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, IGA: 19 p.
8. Gutiérrez -neGrín, L.C.A. 2015: The World Geothermal Congress 2015. IGA's Melbourne Declaration. IGA News, 100: 2–5.
9. Axelsson, G., 2012: Sustainable geothermal utilization. Papers presented at «Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells», organized by UNU-GTP and LaGeo, Santa Tecla, El Salvador, 19 pp.
10. Axelsson, G., 2011: Using long case histories to study hydrothermal renewability and sustainable utilization. Geothermal Resources Council Transactions, 35, 1393-1400.
11. Axelsson, G., 2016: Nature and assessment of geothermal resources. Papers presented at «Short Course on Sustainability and Environmental Management of Geothermal

- Resource Utilization and the Role of Geothermal in Combating Climate Change”, organized by UNU- GTP and LaGeo, Santa Tecla, El Salvador, 23 pp.
12. Stefansson, V., and Axelsson, G., 2005: Sustainable utilization of geothermal resources through stepwise development. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 5 pp.
 13. Axelsson, G., 2016: Sustainable management of geothermal resources. Papers presented at “Short Course on Sustainability and Environmental Management of Geothermal Resource Utilization and the Role of Geothermal in Combating Climate Change”, organized by UNU- GTP and LaGeo, Santa Tecla, El Salvador, 15 pp.
 14. Axelsson, G., 2010: Sustainable geothermal utilization – Case histories, definitions, research issues and modeling. *Geothermics*, 39, 283-291.
 15. Steingrímsson, B., G.S. Bodvarsson, E. Gunnlaugsson, G. Gíslason and Ó. Sigurdsson, 2000: Modelling studies of the Nesjavellir geothermal field, Iceland. Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May-June 2000, 2899-2904.
 16. Bjornsson, G., A. Hjartarson, G.S. Bodvarsson and B. Steingrímsson, 2003: Development of a 3-D Geothermal Reservoir Model for the Greater Hengill Volcano in SW-Iceland. Proceedings, TOUGH Symposium 2003. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.
 17. Darrell L. Gallup. Production engineering in geothermal technology // *Geothermics* vol. 38. 2009. P. 326–334.
 18. Томаров Г.В. Развитие российских геотермальных энергетических технологий // *Теплоэнергетика*. 2009. №11. С. 2-12.
 19. По информации ОАО «НПЦ «Недра» (<http://www.nedra.ru/>)
 20. Григорьев С.В. Энергоснабжение обособленных и удаленных потребителей на основе использования петротермальных источников энергии.: дисс... канд.техн.наук:05.14.01: защищена 26.06.2014: утверждена 05.11.2014. – М., 2014. – 220 с.
 21. Богуславский Э.И. Смирнов Н.Н., Егоров С.В. Расчет теплофизических параметров геотермальной установки функционирующей в условиях кондуктивного теплообмена с окружающими горными породами. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. - №7. – с. 206-210.
 22. Стоянов, Н.И., Гейбатов, Р.А. Математическое моделирование температурного поля петротермальной скважины [Текст] / Н. И. Стоянов, Р. А. Гейбатов // Научно-исследовательский журнал «Вестник» Северо-Кавказского государственного технического университета. №4 (33) 2012. СевКавГТУ, г. Ставрополь, 2010.– 231 с.
 23. Гуторов Ю.А., Габдрахманова К.Ф., Измайлова Г.Р., Ахмадиев Р.Н., Габдрахимов В.Э. К вопросу о возможностях утилизации низкотемпературной геотермальной энергии для ее преобразования в электрическую / Электронный журнал «Нефтяная провинция». – 2018. - №1(13). – с.115-123.

Сведения об авторах

Гуторов Юлий Андреевич, доктор технических наук, руководитель департамента анализа и НИР в области ТЭК, региональный координационный научно-технический центр «Нефтяная долина», академик РАН, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация

E-mail: gutorov70@mail.ru

Authors

Gutorov U.A., Dr.Sc, Head of Research and Analysis in Fuel and Energy Complex, Regional R&D center Neftyanaya Dolina, member of RANS, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

E-mail: gutorov70@mail.ru

Гуторов Юлий Андреевич

452600, Российская Федерация, Республика Башкортостан

г.Октябрьский, ул. Северная, 21

тел. 8 927 342 46 39

E-mail: gutorov70@mail.ru