

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №3, Том 12 / 2020, No 3, Vol 12 <https://esj.today/issue-3-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/37NZVN320.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Суксова С.А., Долкан А.А., Тимофеева Ю.В., Усольцева Л.А. Способы разработки геотермальной энергии // Вестник Евразийской науки, 2020 №3, <https://esj.today/PDF/37NZVN320.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Suksova S.A., Dolkan A.A., Timofeeva Yu.V., Usoltseva L.A. (2020). Methods for developing geothermal energy. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(12). Available at: <https://esj.today/PDF/37NZVN320.pdf> (in Russian)

УДК 55

Суксова Софья Алексеевна

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент
E-mail: suksovas@gmail.com

Долкан Александр Алексеевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент
E-mail: dolkan2018@mail.ru

Тимофеева Юлия Владимировна

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент
E-mail: 23julechka02@mail.ru

Усольцева Людмила Александровна

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Преподаватель
Кандидат географических наук
E-mail: l.a.usoltseva@gmail.com

Способы разработки геотермальной энергии

Аннотация. В данной работе были рассмотрены вопросы, связанные с проблемой истощения традиционными видами топлива (нефть, газ, уголь). Для развития данной энергии становится актуальный вопрос, связанный с выбором эффективных методов разработки на определенном месторождении. Говорится о проблемах с затратами на разработку традиционных видов топлива. В статье приведены примеры в каких областях можно применять геотермальную энергию помимо электроэнергетики. Рассмотрены примеры лидеров по геотермальной энергии и какую максимальную мощность, на данный период, им удалось получить. Приведен кратный пример разработки геотермальной энергии в России. В статье упоминается, что многие страны уже всерьез разрабатывают и улучшают геотермальную энергию, исходя из понимания проблемы с экологичностью и экономичностью данной энергии. Геотермальная энергия является нескончаемым запасом энергии, по сравнению с нефтью, газом и углем. Рассмотрены два основных вида разработки геотермальной энергетики, связанные с горячими источниками и сухим паром. Первый способ считается самым простым. Он основан на превращении сухого пара в энергию с помощью бурения глубокой скважины, созданию гидравлического разрыва, предотвращения выброса горячей воды и циркуляции воды с помощью нагнетательного насоса. Второй способ рассматривает, как горячую воду перевести

в энергию. Данный способ включает три схемы разработки. Далее рассматривается самый эффективный и экономичный способ разработки, работающий на основе схемы полного потока с помощью кинетической энергии данной жидкости для производства электроэнергии, которая производится с гидроэлектрических устройств.

Ключевые слова: геотермальная энергия; геотермальная электростанция; горячие растворы; сухой пар; электроэнергия; способы добычи

Введение

В наше время используется около 3,5 % геотермального потенциала для создания электроэнергии и 0,2 % для получения тепла. Коэффициент использования мощности современных геотермальных электростанций (ГеоЭС) доходит до 90 %, а это в 3–4 раза выше, чем использование других технологий возобновляемой энергии.

Лидеры по мощности ГеоЭС являются США – 2544 МВт, Филиппины – 1931 МВт, Мексика – 953 МВт, Индонезия – 797 МВт, Италия – 790 МВт, Япония – 535 МВт, Новая Зеландия – 435 МВт, Исландия – 202 МВт. Суммарная мощность к началу 2005 г. достигала 8910,7 МВт, а годовая выработка составляла 56798 ГВт·ч [1]. В России геотермальная энергия начала развиваться в 60-х годах в районах Кавказа и на Камчатке [2].

Проблема заключается в том, что традиционные виды топлива (нефть, газ, уголь) со временем только дорожают т.к. они становятся исчерпаемыми, поэтому нужно искать альтернативу данным видам энергии [3]. Геотермальная энергия способна возобновляться, другими словами, она вечна. Она способна обеспечить переработку из соленой воды в пресную и электричество, которое будет преобразовано из геотермальных вод Земли [4]. Тем самым способ добычи такой энергии позволяет пользоваться ей долгие столетия, экономить на топливе и эксплуатации – только на ремонт, профилактику и плановое техническое обслуживание.

Область применения

Область применения такой энергии достаточно широкая. В зависимости от температуры геотермальную энергию можно применять не только в электроэнергетике, но и в промышленности, в сельском хозяйстве, бальнеологии и во многом другом [5]. В таблице 1 изображены в каких областях применяется ГеоЭС и какой температурный интервал теплоносителей. Эти данные были получены из источника [1].

Таблица 1

Область применения геотермальной энергии

Область применения	Температурный интервал теплоносителя, °С
Энергетика: - одноконтурная ГеоЭС; - бинарная ГеоЭС.	130–300 90–200
Промышленность: - металлургическая промышленность; - производство бумаги; - извлечение химических элементов; - нефтяная промышленность; - изготовление бетонных блоков; - текстильная промышленность; - деревообрабатывающая промышленность.	90–140 90–120 80–105 70–85 70–80 50–80 45–90

Область применения	Температурный интервал теплоносителя, °С
Сельское хозяйство: - разведение рыб; - обогрев грунта; - выращивание овощей и фруктов; - пищевая промышленность; - теплицы.	5–45 5–45 20–65 35–90 35–90
Теплофикация: - тепловые насосы; - аэрокондиционирование; - местное теплоснабжение; - радиаторы; - обогрев тротуаров.	5–55 25–50 50–85 50–95 40–80
Бальнеология: - плавательные бассейны; - грязелечебницы.	20–50 25–50

Составлено автором

Способы разработки геотермальной энергии

Существует два основных вида разработки геотермальной энергии. Это разработка сухого пара и горячих источников [6]. Их применения связано с горногеологическими условиями и температуропроводность. К горногеологическим условиям относятся угол падения, разрывные нарушения, мощность пласта, гравитационная дифференциация Земли, тектонические процессы, самопроизвольный распад радиоактивных элементов, химический состав, количество вредных примесей и других характеристик [7].

Первый способ, это простейший способ преобразования сухого пара в геотермальную энергию, который включает в себя следующие этапы:

Бурение глубокой скважины. Для того, чтобы пробурить скважину нужно выбрать месторождение с отсутствием крупных тектонических нарушений и наличие нужных горных пород по всей длине бурения. Бурить глубокую скважину нужно до определенной глубины, исследовать на физико-химические свойства и измерить температуру породы на забое скважины. Обсадными стальными трубами закрепляется скважины до верхней границы и цементируется.

Создание гидравлического разрыва. Для создания гидравлического разрыва используют методы для разработки нефтяной промышленности. В части скважины, ниже участка, который укреплен обсадными трубами, устанавливается гидравлический разрыв, не имеющий обсадки. Для нагнетания воды по линии высокого давления, на поверхности устанавливается высоконапорный насос. Гидравлический напор, который должен превышать 48 МПа, создает трещины в породах, прилегающих к скважине, с помощью растягивающего напряжения. Для того, чтобы трещина образовалась по форме вертикальным тонким диском, нагнетаю жидкость уже меньшего давления до образования трещины нужного радиуса.

После создания гидравлического разрыва необходимо провести операцию для предотвращения выброса горячей воды в больших количествах и определение направления трещин. Для предотвращения выброса горячей воды предпринимают медленное пониженное давление и выпуск жидкости через клапан, которые смыкают системы трещин. Определить направление трещин помогут геофоны и сейсмометры, расположенные на поверхности, а также измерители углов наклона.

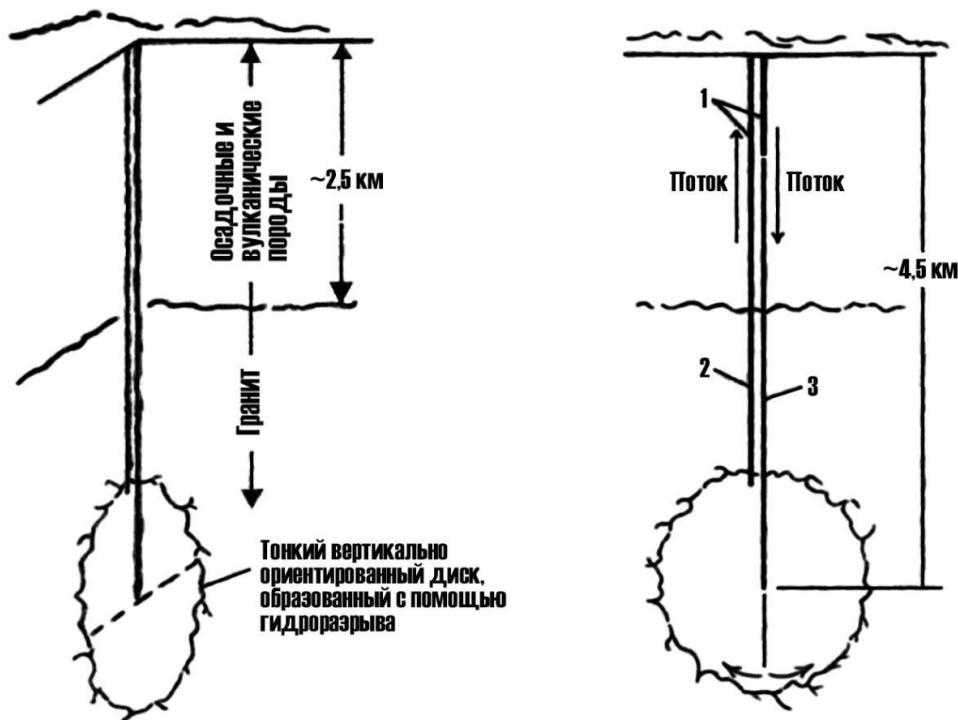
Бурение второй скважины. Вторую скважину бурят по методу направленного бурения, включающий периодическое повышение давления для проверки сообщения между

скважинами. Сперва ее бурят параллельно на забое первой скважины по нормали к ориентации системы трещин и располагают в нескольких десятках метров. Вторая скважина бурится до верхней граница системы трещин, затем она проходит в наклонном состоянии, чтобы пересечь эту систему.

Для завершения гидравлического разрыва расширяем систему трещин до конечных размеров путем нагнетания жидкости через глубокую скважину.

Циркуляция воды. После того, как завершили бурение скважин и создали систему трещин, вода, с помощью нагнетательного насоса и созданной системы на поверхности, нагнетается в образовавшийся контур и циркулируется в нем [8]. Для того, чтобы вода поступила в теплообменник и систему обработки она опускается по глубокой скважине при циркуляции, проходит систему трещин и поднимается по менее глубокой скважине.

Для того, чтобы отключить насос, и циркуляция происходила за счет естественной конвекции нужно достигнуть определенной средней разности температур восходящего и исходящего потоков воды. Если в дальнейшем требуется поддерживать разность температур, то подключают дополнительные насос. На рисунке 1 представлена предложенная система освоения неглубокого сухого геотермального месторождения в качестве промышленного источника энергии.

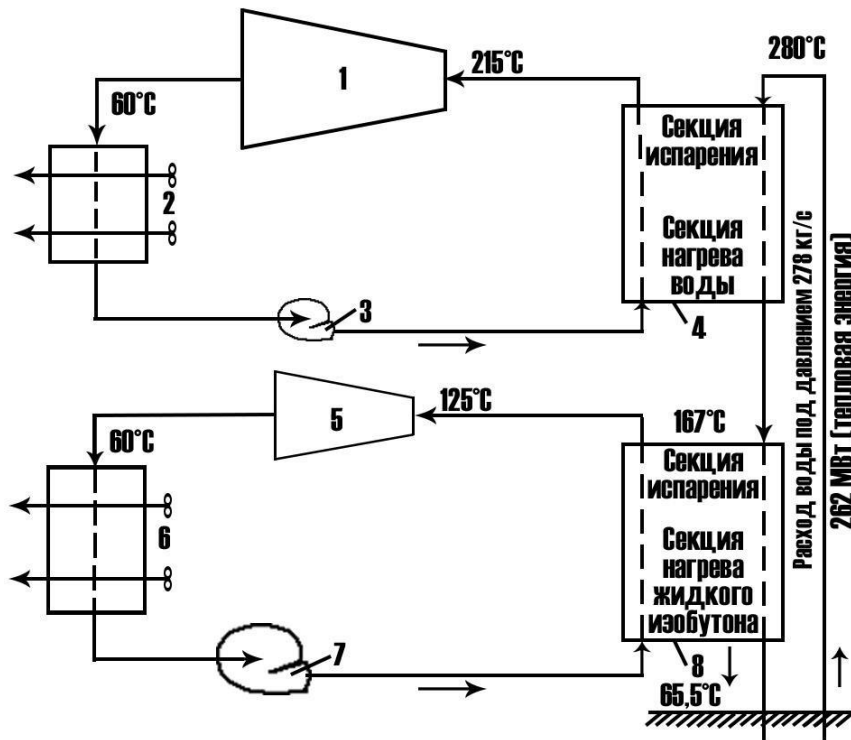


1 – часть ствола скважины, укрепленная обсадными трубами, диаметр 340 мм; 2 – часть ствола скважины, не укрепленная обсадными трубами, диаметр 305 мм; 3 – часть ствола скважины, укрепленная обсадными трубами, диаметр 244 мм

Рисунок 1. Система освоения неглубокого сухого геотермального месторождения [9]

Опытные ГеоЭС применяют схему со вторичным носителем, что позволяет испарить большое количество жидкости, циркулирующей в силовом цикле. В систему с двойным циклом входят теплоноситель, с более высокими температурами, и изобутановым паровым циклом.

Примером такой схемы является запад США. Они дополнительно применяют конденсаторы с воздушным охлаждением, что вызывает повышение стоимости электроэнергии на $(0.2-0.4)10^{-3}$ долл/кВт · ч. Затраты на такую систему увеличены на 10–20 долл/кВт, но отсутствие теплового загрязнения и выбор местоположения оправдывает такие затраты.



1 – паровая турбина мощностью 33,4 МВт, к.п.д. 85 %; 2 – вентиляторы мощностью 0,71 МВт; 3 – насос мощностью 0,13 МВт; 4 – паровой котел; 5 – изобутановая турбина мощностью 22,3 МВт, к.п.д. 85 %; 6 – вентиляторы мощностью 1,27 МВт; 7 – насос мощностью 2,87 МВт; 8 – изобутановый котел

Рисунок 2. Вариант системы с двойным циклом [9]

В данной схеме расход парового цикла составляет 42,9 кг/с, мощность 32,6 МВт, общий к.п.д. $\eta = 29,8 \%$. Параметры изобутанового цикла: расход 45,3 кг/с; мощность 18,1 МВт; общий к.п.д. $\eta = 11,9 \%$. Общая мощность 50,7 МВт; общий к.п.д. 19,4 %.

Второй способ описывает, как из горячих растворов получить энергию. Он включает в себя три вида разработки и схемы извлечения энергии из горячих растворов.

Метод полного потока является основой для извлечения энергии из горячих растворов. Он является очень экономичным и конкурентоспособным по сравнению с другими способами извлечения электроэнергии. В данном методе предполагается, что энергию, содержащуюся в горячих растворах, можно извлечь мощностью 100000 МВт. Можно сравнить две геотермальные электростанции – это российскую Мутновскую геотермальную электростанцию (ГеоЭС), которая обладает мощностью 50 МВт и ГеоТЭС Соединенных Штатах (Калифорния) – 2,730 МВт.

Первая разработка включает проходку скважин до горизонтов с высокими температурами и поднятие нагретой воды, за счет поступающего давления из геоструктур, до отделения жидкости и пара через центробежный сепаратор. После чего горячий пар переходит из сепаратора к реактивной паровой турбине. Это нужно для того, чтобы в дальнейшем мы могли использовать пар, как тепловую энергию для создания электричества.

Такая схема применяется только на тех источниках горячих растворов, которые содержат небольшую концентрацию солей. Его и используют в России на Мутновской ГеоТЭС [10].

Вторая разработка использования горячих растворов предусматривает вторичный теплоноситель.

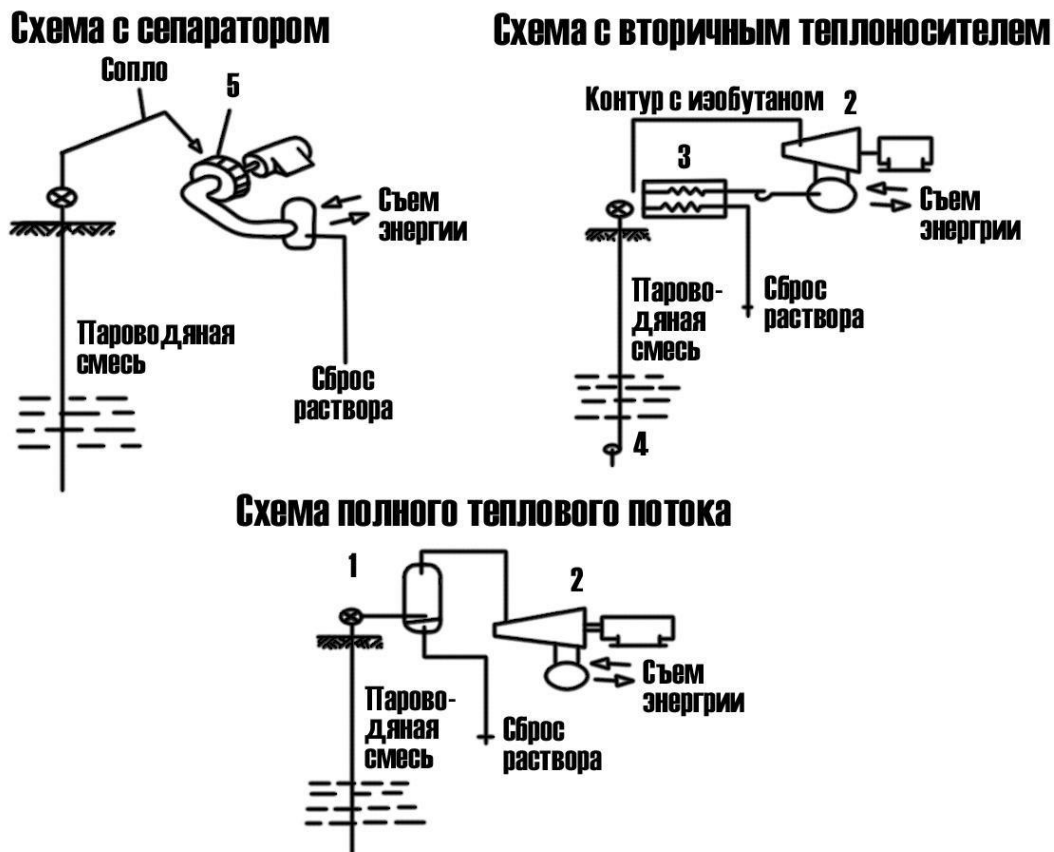
Горячие растворы также перекачивают, как и в других методов с помощью давления, но этот способ является более сложен от первого тем, что появляется проблема надежного обеспечения теплообменника и подземного насоса из-за коррозионных свойств горячих растворов, что ограничивает применение данного метода. Здесь задействована система турбогенератора с циклом Ренкина и жидкостью, которая предотвращает вскипание горячих растворов в теплообменнике и не содержит коррозию, например, изобутана.

Третья разработка использования горячих растворов будет наиболее экономически выгоднее по сравнению с предыдущими способами. Требуемое капитальное вложение составит порядка 200долл/кВт, а стоимость мощности 0,32 цент/кВт.

Для увеличения скорости и понижения давления геотермальный раствор перекачивают на поверхность и направляют в сопло. В некорродирующей активной трубе можно потом использовать кинетическую энергию данной жидкости для производства электроэнергии с помощью гидроэлектрических устройств.

Экономическая выгода такой разработки состоит в том, что число механических устройств на поверхности гораздо меньше, несмотря на затраты защитных растворов и производительность энергии больше в 1,6 раз, чем в предыдущих способах разработки [11].

Все 3 схемы по разработке горячих растворах можно увидеть на рисунке 3. Если сравнивать температуру сброса геотермального раствора из турбины и системы, то на схемах с сепаратором и вторичным теплоносителем можно увидеть, что температура сброса из системы гораздо больше. Из всего разобранный можно говорить о том, что схема полного теплового потока имеет самый большой общий к.п.д., нежели две другие.



1 – центробежный сепаратор; 2 – турбогенератор; 3 – теплообменник; 4 – глубинный насос; 5 – активная радиальная турбина

Рисунок 3. Способы получения энергии из горячих геотермальных растворов [9]

Выводы

Рано говорить о полном переходе на геотермальную энергию, пока существуют такие ресурсы, как нефть и газ. Но задуматься и начать разрабатывать уже самое время. Ведь выбросов в атмосферу вредных примесей становится все больше, а геотермальная энергия способна решить данный вопрос за счет своей экологичностью [12]. Такая страна, как Исландия уже давно перевела экономику на геотермальные ресурсы и планирует довести до 92 % их использования. В России энергия геотермальных ресурсов на порядок превышает потенциал органического топлива. Наиболее перспективными регионами России являются Камчатка, Курилы, Северо-Кавказские и СевероСибирские. Крайне перспективно использовать подземное тепло. Оно может обеспечить здания теплым и холодным воздухом и поможет немало сэкономить. К 2020 году Мировой Энергетический комитет прогнозирует развитым странам мира, что они будут использовать не только горячие недра земли, но и воды морей, океанов и воздух. Миру, несмотря на органическое топливо, нужно всерьез подумать над данным источником энергии, ведь рано или поздно это будет основным поставщиком электроэнергии и теплоснабжением для всего человечества, а не только для отдельных стран [13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Алхасов, А.Б. Возобновляемые источники энергии / А.Б. Алхасов – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – 268 с.
2. О.А. Поваров. Г.В. Томаров. А.И. Никольский. А.И. Постников Энергообеспечение центра Камчатки на базе геотермальных ресурсов / – Новое в Российской энергетике (электронный журнал), 2001. № 6. <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/1363> - (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
3. Алхасов, А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии / А.Б. Алхасов. М.: Физматлит, 2008 – 375 с.
4. Васильев Ю.С., Хрисанов. Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников / Ю.С. Васильев, Н.И. Хрисанов. Л.: изд. Ленингр. ун-та, 1991 – 343 с.
5. Братенков, В.Н. Теплоснабжение малых населенных пунктов / В.Н. Братенков, П.А. Хаванов, Л.Я. Вэскер. М.: Стройиздат, 1988 – 223 с.
6. Алклычев М.М., Гайдаров Г.М., Шарафутдинов Ф.Г. – патент «Способ разработки геотермального месторождения».
7. Лаверов, Н.П. Топливо-энергетические ресурсы: состояние и рациональное использование / Вестник Российской академии наук, 2006 №5, <https://cyberleninka.ru/article/n/energetika-rossii-problemy-i-perspektivy/viewer> - (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
8. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайл – М.: изд. Пергамон Пресс, 1979 – 224 с.
9. Берман, Э. Геотермальная энергия / Э. Берман – М: Издательство МИР, 1978 – 411 с.
10. Бритвин О.В., Поваров О.А., Ключков Е.Ф. Мутновский геотермальный энергетический комплекс на Камчатке / МАИК Наука / Интерпериодика, 2001 № 2, <http://old.kamlib.ru/resources/mutn2.htm> – (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
11. Шпильрайн, Э.Э. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / Теплоэнергетика, 1996, №5 http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t82-1_1997/go,52/ – (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
12. Е.П. Велихов, А.Ю. Гагаринский, С.А. Субботин, В.Ф. Цибульский, Эволюция энергетики в XXI веке / Энергия: экономика, техника, экология. 2009. № 11 <http://naukarus.com/evolyutsiya-energetiki-v-xxi-veke> – (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
13. Моисеев И.И. Альтернативные источники органических топлив / Вестник Российской академии наук, 2006 №5. <https://elibrary.ru/item.asp?id=9189709> – (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Suksova Sofya Alekseevna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: suksovas@gmail.com

Dolkan Alexander Alekseevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: dolkan2018@mail.ru

Timofeeva Yulia Vladimirovna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: 23julechka02@mail.ru

Usoltseva Ludmila Alexandrovna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: l.a.usoltseva@gmail.com

Methods for developing geothermal energy

Abstract. In this paper, issues related to the problem of depletion of traditional fuels (oil, gas, coal) were considered. For the development of this energy, there is an urgent issue related to the selection of effective development methods in a particular field. The problems with the costs of developing traditional fuels are discussed. The article gives examples of areas geothermal energy in which can be used in addition to the electric power industry. Examples of leaders in geothermal energy and what maximum power for this period they managed to get are considered. A brief example of the development of geothermal energy in Russia is given. The article mentions that many countries are seriously developing and improving geothermal energy, based on an understanding of the problem with the environmental friendliness and economy of this energy. Geothermal energy is an endless supply of energy compared to oil, gas and coal. Two main types of development of geothermal energy associated with hot springs and dry steam are considered. The first method is considered the easiest. It is based on the conversion of dry steam into energy by drilling a deep well, creating a hydraulic fracture, preventing the release of hot water and circulating water using an injection pump. The second method considers how to convert hot water into energy. This method includes three development schemes. The following is the most effective and economical development method, that working on the basis of the full flow scheme using the kinetic energy of a given liquid to produce electricity that is produced from hydroelectric devices.

Keywords: geothermal energy; geothermal power plant; hot solutions; dry steam; electricity; mining methods