



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.311.1

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БИНАРНОЙ ГеоЭС В КАМЧАТСКОМ КРАЕ

Ченцова Е.А.

ФГБОУ ВО «ФГБОУ ВО «КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Петропавловск-Камчатский, Россия (683003, Камчатский край, г Петропавловск-Камчатский, Ключевская ул, д. 35), e-mail: kafedra2021@mail.ru

Статья посвящена разработке Бинарной ГеоЭС. Проведен анализ актуальности использования Бинарной ГеоЭС в условиях Камчатского края. Описано использование бинарной энергосистемы в Мире. Приведено обоснование выбора основных компонентов Бинарной ГеоЭС. Представлена принципиальная схема бинарного цикла. Представлены схемы активных турбин для системы полного потока. Представлено влияние перепада температур в цикле на эффективность для различных рабочих тел. Представлено зависимость объемной теплопроизводительности хладонов от температуры испарения хладона в цикле. Сделано научно-техническое обоснование построения Бинарной ГеоЭС для Камчатского края.

Ключевые слова: Бинарная ГеоЭС, геотермальные воды, Верхнепаратунский участок, депрессионная воронка, гидротермальная система, Камчатский край.

ANALYSIS OF THE POSSIBLE DESIGN OF A BINARY GEO-ELECTRIC POWER PLANT IN THE KAMCHATKA TERRITORY

Chentsova E.A.

KAMCHATKA STATE TECHNICAL UNIVERSITY, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia (683003, Kamchatka Krai, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya st., 35), e-mail: kafedra2021@mail.ru

The article is devoted to the development of a Binary geo-electric power plant. The analysis of the relevance of the use of Binary geoenery in the conditions of the Kamchatka Territory is carried out. The use of a binary energy system in the World is described. The rationale for the choice of the main components of a Binary geo-electric power plant is given. A schematic diagram of a binary cycle is presented. Diagrams of active turbines for a full flow system are presented. The efficiency of steam compression heat pumps is calculated. The effect of the temperature difference in the cycle on efficiency for various working bodies is presented. The dependence of the volumetric heating capacity of refrigerants on the evaporation temperature of the refrigerant in the cycle is presented. The scientific and technical substantiation of the construction of a Binary geo-electric power plant for the Kamchatka Territory has been made.

Keywords: Binary geo-electric power station, geothermal waters, Verkhneparatunsky section, depression funnel. the hydrothermal system, Kamchatka Territory.

Геотермальная бинарная энергосистема

Геотермальная вода находит широкое применение в народном хозяйстве, но главное ее применение - тепло- и энергоснабжение. Геотермическая энергия вырабатывается в 22 странах мира. Филиппины занимают первое место по наращиванию геотермальной мощности.

Эфиопия построила свой первый завод мощностью 8,52 МВт. В США геотермическая мощность снизилась, из-за качества ресурса в Поле Гейзеров. Опыт по строительству бинарных ГеоЭС очень велик.

Опыт по установке двухконтурной станции существует и в нашей стране. В 1963 г. вышло постановление Совмина СССР № 1272 «Об использовании геотермических вод для электрофикации и теплофикации г. Петропавловска-Камчатского и прилегающих к нему районов», которое обязывало Государственный комитет по энергетике и электрофикации СССР совместно с Сибирским отделением АН СССР обеспечить в 1968 г. на базе Больше-Банских и Паратунских геотерм ввод промышленной геотермической электростанции (с промежуточным теплоносителем) общей мощностью 25 тыс.кВт и магистральной теплотрассы для электрофикации и теплофикации г. Петропавловска-Камчатского и прилегающих к нему районов. В 1966 г. начался подсчет запасов термальных вод Больше-Банного и Паратунского месторождений. Паратунские термальные воды должны были пойти на отопление северной части г. Петропавловска-Камчатского.

Впервые в мире Институт теплофизики СО АН СССР в 1967 г. разработал, установил и провел испытания на Паратунском месторождении геотерм двухконтурную энергоустановку мощностью 680 кВт с низкокипящим рабочим телом – хладоном. Предварительно она была испытана на Шатурской ГРЭС-5. В полностью автоматизированной установке термальная вода, пройдя хладоновый пароперегреватель, кипятильник и подогреватели котла, подогревает жидкий хладон до кипения. Пары хладона поступают в турбогенератор и вращают турбину. Отработанный пар конденсируется в конденсаторе, превращаясь в жидкий хладон. Цикл повторяется снова.

В 1968 г. техсовет Минэнерго СССР принял решение отказаться от теплоснабжения г. Петропавловска-Камчатского от Паратунских геотермальных источников ввиду ненадежности и неэкономичности .

Цель ставилась на изучение месторождений термальных вод, оценку бассейнов и на постановку работ по их разведке.

Выбор основных компонентов бинарной ГеоЭС

Для бинарной ГеоЭС используется геотермальная вода со средней или низкой температурой. Горячая вода из производственной скважины подается в теплообменник с помощью насоса, где фреон нагреваясь от термальной воды переходит из жидкого состояния в пар (температура 104°C и давление 860 кПа). Фреон-пар далее подается в турбину, вращает генератор и как следствие выработка электроэнергии. Из турбины использованный фреон подается в конденсатор, где охлаждается до своей первоначальной температуры 47°C (Рисунок 1). Термальная вода закачивается обратно в подземные горизонты (инжекционная скважина). Все оборудование системы размещено компактно, что позволяет использовать данную схему выработки энергии на достаточно небольших территориях.

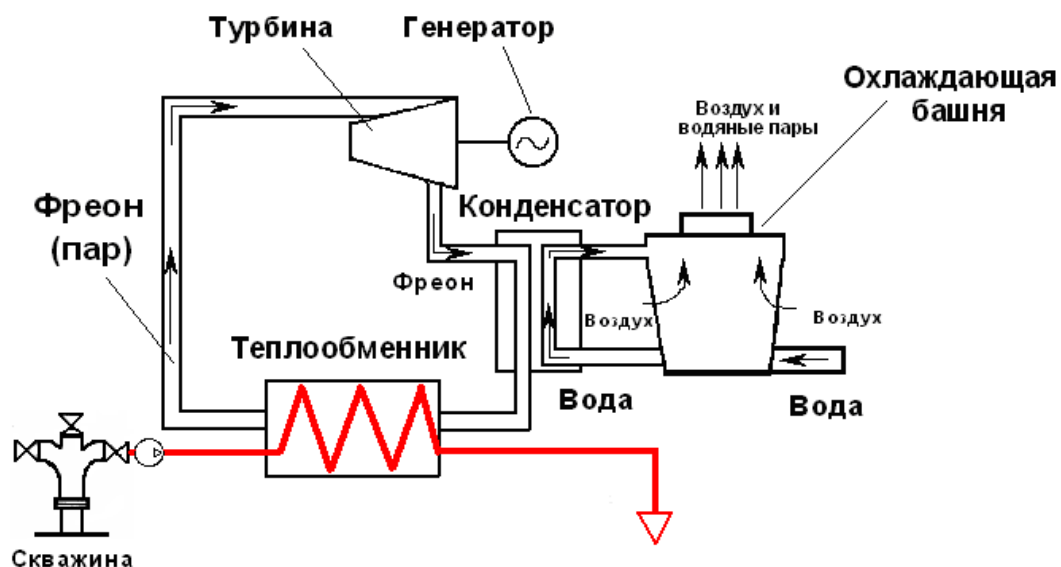


Рисунок 1 – Принципиальная схема бинарного цикла

1. Одним из основных компонентов бинарных циклов является насос нисходящей скважины (ННС). Для управления насоса предусмотрен двигатель, этот насос может быть применен для более глубоких горизонтов геотермальной воды. К насосу предъявлены высокие требования по эксплуатации, так как он работает при высоких температурах, давлении и устанавливается в узкую глубокую скважину, выкачивая воду с высокой нормой разгрузки. Кроме этого, необходимо учитывать коррозионные свойства геотермальной воды.

Насос может выкачивать из подземных горизонтов достаточно большой объем геотермальной воды, что приведет к увеличению объемов выработки электроэнергии. Горячая вода от производственной скважины (Рисунок 1) выкачивается вверх с помощью насоса и передается в теплообменник, где происходит обмен теплом между геотермальной водой и рабочей жидкостью, которая имеет низкую температуру кипения. У кипящей жидкости (пара) поднимается жидкостное давление, которое достаточно для запуска турбины, а, следовательно, воспроизводства электроэнергии. Обычно глубина бурения скважин составляет от 300 до 600 м. Сам ННС состоит из рабочих колес (13 штук), корпуса и вал насоса.

Последний выполнен из высоко никелированной, нержавеющей стали для увеличения срока службы, поскольку в геотермальной воде могут находиться небольшие остатки горных пород. На рабочей поверхности предусмотрено кобальтовое покрытие, где происходит непосредственное соприкосновение с геотермальной водой.

Как было указано выше, ННС работает при достаточно высоких температурах, поэтому все составляющие насоса должны обладать высоким термическим сопротивлением. В результате научных исследований [1] были отобраны лучший диэлектрик и смазочный материал. Для предотвращения нагревания двигателя необходимо предусмотреть охлаждающее устройство.

Для улучшения вращающей способности насоса на рабочих колесах установлены специально разработанные подшипники, у которых предусмотрено:

- специальная самовыравнивающаяся бороздка в виде спирали для гашения вибраций;
- внутри подшипник заполнен смазочным материалом для гладкого вращения вала насоса.

Для того чтобы внутрь колес не проникала вода, установлены двойные механические самоблокировочные устройства. Для улучшения изоляционной надежности насоса использована термически устойчивая изоляционная смазка, которая заполняет ту часть двигателя, которая погружена в воду. Поскольку насос управляемый, разработана система контроля за температурой, давлением и вибрациями. Насос разработан таким образом, что при замене смазочного материала не требуется подъем насоса.

2. Рабочая жидкость. Выбор рабочей жидкости - очень важный этап в проектировании системы. Хладон выбран, потому что отвечает всем необходимым требованиям, которые предъявляются к рабочей жидкости бинарного цикла:

- имеет необходимые тепловые характеристики (низкую температуру кипения);
- обладает устойчивыми свойствами;
- легок в обработке (не воспламеняется и не взрывается);
- не оказывает вредного воздействия на человека.

3. Турбина. Существует большое разнообразие типов турбин, но все они обычно подразделяются на два класса. Активная турбина преобразует тепловую энергию в кинетическую при падении давления лишь в сопле. Кинетическая энергия жидкости затем преобразуется в энергию вращательного движения, когда поток направляют на какой-либо тип лопаток на колесе турбины. Давление во вращающихся узлах турбины почти не изменяется. Реактивная турбина, обычно используемая для преобразования энергии газов высокого давления, приводится в действие расширяющимся газом, проходящим через вращающиеся лопатки, и это расширение сопровождается падением давления. Чтобы предотвратить перетекание газа, зазоры между лопатками и корпусом (или статором) должны быть очень малыми.

Следовательно, существует два способа преобразования энергии в системе полного потока. Первый – расширение двухфазной смеси в сопле с тем, чтобы получить высокоскоростные струи, которые используются затем для приведения в действие активной турбины. При этом падение давления целиком происходит в сопле. Второй – расширение двухфазной смеси в реактивной турбине, где происходит как изменение скорости, так и падение давления.

Осевые реактивные турбины имеют более высокий КПД, работают обычно при более высоких скоростях, имеют несколько ступеней и, как правило, сложнее, поскольку для обеспечения заданного давления на ступени зазоры должны быть очень малыми. Нельзя, однако, ожидать, что многоступенчатые турбины будут надежными в работе, когда они непосредственно приводятся в действие смесью пара, геотермального раствора с кремнеземом, возможно, песком и другими посторонними примесями.

Из-за этого свойства рабочей жидкости турбина должна быть простой и легко обслуживаемой. Поэтому активная турбина оказывается наиболее подходящей. Самой распространенной активной турбиной является осевая активная турбина, в которую жидкость поступает через серию сопел, расположенных по окружности колеса.

составляет ~ 88 %. Трение на лопатках, утечки за лопатками, турбулентность и рассеяние струи будут понижать КПД турбины. Кроме того, могут возникать большие осевые силы, и подавление вибраций всегда является важной задачей при создании осевых турбин.

Радиальные и тангенциальные активные турбины (Рисунок 2) являются самыми перспективными для подобного применения. Радиальная турбина (Рисунок 2а) аналогична

гидравлической турбине Френсиса за исключением того, что в ней вместо входных направляющих лопаток применяются сопла. При правильном выборе углов на входе и выходе рабочего колеса жидкость будет входить в турбину радиально без тангенциальной составляющей скорости (завихрений).

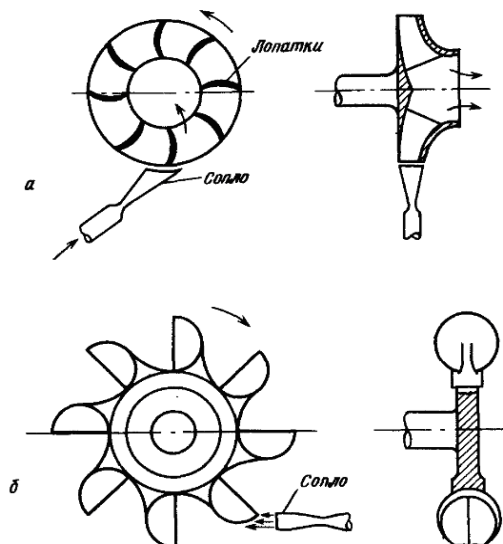


Рисунок 2 – Схемы активных турбин для системы полного потока: а – радиальная турбина; б – тангенциальная турбина.

В принципе КПД лопаток в данных условиях может достигать 100 %. Это, однако, маловероятно, так как будут иметь место потери, обусловленные турбулентностью, и могут понадобиться такие углы установки лопаток, которые сообщают жидкости на выходе из сопла некоторое завихрение. Радиальные активные турбины обладают следующими преимуществами: высокий КПД, малые вентиляционные потери, возможность выбора угла установки сопла, небольшие потери от рассеяния струи и минимальная вибрация. Вибрации незначительны, так как сопло расположен в плоскости колеса и осевое усилие мало.

Тангенциальные турбины (Рисунок 2б) имеют прообразом колесо Пелтона. Хотя оно использовалось только как гидравлическая турбина, не существует серьезных возражений против его использования для работы с двухфазной жидкостью. Это устройство может иметь КПД до 95 % в зависимости от угла наклона лопаток и угла на выходе. Конечно, может оказаться важным трение на лопатках, но основные потери (и недостатки) будут, вероятно, обусловлены эффектом вентилирования и рассеянием струи, так как сопла должны размещаться на некотором расстоянии от лопаток.

К основным преимуществам турбин этого типа следует отнести высокую эффективность, простоту изготовления (и, следовательно, низкую стоимость), малую вероятность вибрации и простоту замены и восстановления лопастей. Последнее может быть особенно важным в связи с высокой коррозионной активностью рабочей жидкости.

Обычно гидравлические устройства таких типов обладают КПД рабочего колеса более 90%. Из-за отсутствия данных для режима работы с двухфазной жидкостью невозможно оценить КПД при таких рабочих условиях. Тем не менее нет существенных причин для больших различий в КПД, и вполне вероятно, что турбина с двухфазным полным потоком будет иметь КПД 90%.

Турбина имеет радиальный тип потока, который обладает высокой эффективностью и надежностью. В турбине предусмотрено механическая самоблокировка для предотвращения просачивания паров фреона в окружающую среду. Скорость турбины регулируется вручную, для автоматической регулировки может применяться регулятор скорости. Для безопасной работы этой составляющей бинарного цикла устанавливается специальное устройство защиты превышения скорости. Оно срабатывает, когда скорость турбины становится больше чем на 10% номинальной скорости, при этом клапан управления и главный клапан остановки, установленные во входном отверстии турбины, закрываются и турбина останавливается.

4. Генератор. Тип генератора должен быть выбран в соответствии с тем, энергию какой мощности хотим получить. Например, при вращении генератора турбиной с 1800 об/мин, мощность составляет 490 кВт, напряжение 440 В. Произведенная энергия 3300 В передается через трансформатор.

5. Конденсатор. Хладон-пар из турбины попадает в конденсатор. Для охлаждения фреона используется вода, которая охлаждается в охлаждающей башне. Трубы, по которым циркулирует вода, изготовлены из алюминиевого сплава или из меди, оболочка труб – из стали.

6. Охлаждающая башня. Для охлаждения используется речная вода.

Геотермальные растворы известны своими коррозионными свойствами. Единственными коррозионно-стойкими материалами являются керамика, тантал, пластики и, возможно, цирконий.

Разработаны методы танталового покрытия, что позволяет производить стальные трубы с танталовым покрытием, но стоимость, возможно, будет высока. Удовлетворительными свойствами могут обладать высокотемпературные пластмассы. Такие как тефлон. Стекланную облицовку или вообще стекло также можно иметь ввиду при использовании в качестве конструкционного материала для трубопроводов.

На сопла и детали турбины можно, вероятно, наносить танталовое покрытие, но если требуется очень высокая абразивная стойкость, то может потребоваться облицовка карбидами тантала. Хотя технология этих перспективных материалов достаточно развита, тем не менее необходима программа разработок, чтобы применить эти знания для промышленного производства коррозионно-стойких деталей и для борьбы с образованием накипи.

Научно-техническое обоснование построения бинарной ГеоЭС

На Камчатском полуострове имеются многочисленные выходы геотермальной воды, которая пригодна для выработки энергии. На Паратунском месторождении разработаны Нижне- и Среднепаратунские группы гидротерм, Верхнепаратунский участок из-за удаления от населенного пункта не разработан. Пробуренные на этом участке скважины еще в 1968 г. можно использовать в двух направлениях. Первое - построение теплиц. Что довольно дорогой способ использования геотермальной воды, так как необходимо будет строить поселок, наладить инфраструктуру, построить трубопроводы, насосы для подачи воды и т.д. Второе направление - построение бинарного завода по выработке электроэнергии.

Термальная вода Верхнепаратунского участка имеет среднюю температуру 70 °С, воды напорные, т.е. ресурсные возможности этого участка реализуются только за счет самоизлива из скважин, который регулируется при понижении гидростатического напора примерно на 2

атм, что составляет снижение гидростатического уровня в скважинах на 20 м. (1атм ~10 м), образуя депрессионную воронку, показанную на рисунке 5 синим цветом.

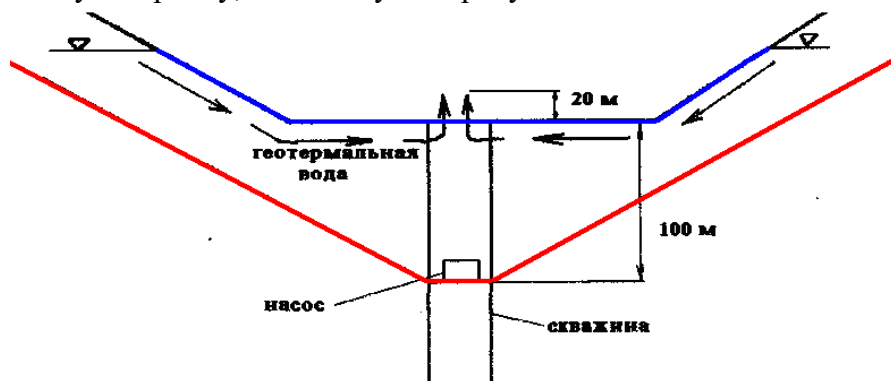


Рисунок 3 – Депрессионная воронка

В результате проведенных расчетов, мощность бинарной электростанции на Верхнепаратунском участке составляет примерно 3,3 МВт. Этого количества достаточно, чтобы снабдить электроэнергией близлежащие поселки: пос. Паратунка и пос. Термальный.

Но мощность ГеоЭС можно увеличить. Этого можно достичь следующим способом: заново перебурить скважины и ввести в них насосы. Понижение уровня откачки на 100 м вызовет увеличение депрессионной воронки (на Рисунке 3 - красный цвет), следовательно, можно будет более интенсивно использовать геотермальные ресурсы. Геотермальная вода будет подниматься уже не на 20 м, а на 120 м, т.е. расстояние увеличится в 6 раз, следовательно, и мощность бинарной станции достигнет примерно 20 МВт.

На Верхнепаратунском участке Паратунской гидротермальной системы на основании опыта длительной эксплуатации данного месторождения термальных вод возможно строительство геотермальной электростанции с бинарным циклом извлечения энергии мощностью до 20 МВт. Эти расчеты требуют проведения необходимых исследований теплового режима, оценки запасов термальной воды.

Список литературы

1. Алхасов А. Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технология. – М.: Научное издание, 2008.
2. Ворожейкина Л.А. Прогнозная оценка геотермальных ресурсов Камчатской области по работам 1977-1980 гг. Отчет по теме I – УП, г. Петропавловск-Камчатский, 1980.
3. Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки.: сборник статей/ АН СССР, Дальневосточный научный центр институт вулканологии /Отв.редактор Сугробов В.М./ -Владивосток: ДВНЦ, 1976. - 284с.
4. Дворов И.М., Дворов В.И. Термальные воды и их использование. Пособие для учащихся. - М., «Просвещение», 1976.
5. Манухин Ю.Ф. Отчет о гидрогеологических, гидрохимических, гидрогеотермических исследованиях, проведенных на территории места № - 57 – ХХУП Первой Карымшинской ГГП в 1965-1966 гг. (окончательный отчет). Г. Елизово, 1967.
6. Иванов В.В., Блюменфельд А.О. Минеральные воды Камчатки (Отчет Камчатской Комплексной экспедиции, 1951), 1952. Фонды КПО.

References

1. Alkhasov A. B. Geothermal energy: problems, resources, technology. – М.: Scientific edition, 2008.
 2. Vorozheikina L.A. Forecast assessment of geothermal resources of the Kamchatka region based on the works of 1977-1980. Report on the topic I – UP, Petropavlovsk-Kamchatsky, 1980.
 3. Hydrothermal systems and thermal fields of Kamchatka.: collection of articles/ USSR Academy of Sciences, Far Eastern Scientific Center Institute of Volcanology / Editor-in-chief V.M. Sugrobov/ -Vladivostok: DVNTs, 1976. - 284с.
 4. Dvorov I.M., Dvorov V.I. Thermal waters and their use. A manual for students. - М., "Enlightenment", 1976.
 5. Manukhin Yu.F. Report on hydrogeological, hydrochemical hydrogeothermal studies conducted on the territory of site No. 57 – XXUP of the First Karymshinskaya GGP in 1965-1966. (final report). Yelizovo, 1967.
 6. Ivanov V.V., Blumenfeld A.O. Mineral waters of Kamchatka (Report of the Kamchatka Complex Expedition, 1951), 1952. KPGO funds.
-