

УДК 93/94: 620.92.

## История и проблемы развития геотермальной энергетики в России

В.А. Бутузов<sup>[0000-0003-2347-9715]</sup>

Кубанский аграрный университета им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, 350044, Россия

E-mail: butuzov@newmail.ru

**Аннотация.** Представлено сопоставление мощностей геотермальных электростанций (ГеоЭС) в мире и в России по данным 2018 г. Описана реализация советского масштабного геотермального проекта и исследования высокотемпературных паровых геотермальных месторождений с тридцатых годов прошлого века до наших дней. Анализируется опыт создания и 66 – летней эксплуатации первой в стране Паужетской ГеоЭС мощностью 12 МВт, на основе которой предлагаются мероприятия по ее совершенствованию. Представлены технические решения построенного в 2012 г. на Паужетской ГеоЭС бинарного энергоблока мощностью 2,5 МВт с промежуточным рабочим телом для использования сепарата и конденсата паровых турбин. Анализируется опыт создания и эксплуатации Верхне-Мутновской ГеоЭС мощностью 12 МВт и мероприятия по ее совершенствованию. На основе анализа существующего топливного режима и характеристик разведанных геотермальных месторождений сделан вывод о возможности полного обеспечения электро и теплогенерации Камчатского края за счет использования геотермальной энергии. Представлены данные о технических характеристиках реконструируемой Менделеевской ГеоЭС на острове Кунашир (Курильские острова) мощностью 7,4 МВт и законсервированной Океанской ГеоЭС на острове Итуруп (Курильские острова) мощностью 3,6 МВт.

**Ключевые слова:** Геотермальные месторождения, скважины, сепараторы, геотермальные электростанции (ГеоЭС), паровые турбины, конденсаторы, реинжекция, бинарные энергоблоки.

## 1 Введение

Развитие возобновляемой энергетики в современном мире является одним из ведущих мировых трендов. После ветровой и солнечной геотермальная энергетика занимает третье место. Суммарная установленная мощность геотермальных электростанций (ГеоЭС) в 2018 г достигла 13300 МВт. В России мощность

таких электростанций составляет 74 МВт, или менее 0,6% общей. При этом Россия имеет потенциальные запасы высокотемпературных месторождений Камчатки и Курильских островов, достаточные для их полного энергообеспечения, а российские научные и технологические школы входят в число пяти ведущих мировых лидеров геотермальной энергетики [1].

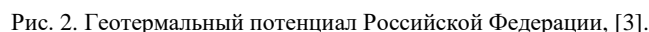
Геотермальная российская энергетика создана как советский проект, предусматривавший широкомасштабное комплексное использование этого возобновляемого источника энергии. С 1954 года соответствующими научными исследованиями занимались более 60 институтов. Министерством газовой промышленности СССР были пробурены более трех тысяч геотермальных скважин глубиной до 5,5 км, созданы пять региональных управлений по использованию глубинного тепла Земли, работало специализированное НПО «Союзбургеотермия».

## 2 Геотермальные исследования

Геотермальная электроэнергетика в отличие от других технологий использования энергии Земли требует высоких значений температур теплоносителя. В России регионами, где имеются пароводяные геотермальные месторождения, являются Камчатка и Курильские острова (рис. 2). Еще в 1737 г знаменитый русский путешественник С.П. Крашенников исследовал геотермы на Камчатке. Систематические исследования их было начаты в тридцатые годы прошлого века видным геологом Борисом Ивановичем Пийпом (1906-1966) (рис. 1), издавшим в 1937 г книгу [2], организовавшим геотермальные исследования и создавшим в 1962 г Институт вулканологии и сейсмологии АН СССР в Петропавловске - Камчатском. Таким образом, можно с 1937 г датировать начало создания Камчатской геотермальной научной школы, отличительной особенностью которой являются исследования высокотемпературных месторождений.



Рис. 1. Пийп Б.И. Источник: фото предоставлено автором



В 1956 г. на Камчатку выезжала комиссия Президиума АН СССР во главе с академиком М.А. Лаврентьевым (рис. 4). В ее составе были академики И.Е. Тамм, А.Н. Тихонов, известные вулканологи, геотермики и гидрогеологи Б.И. Пийп, Ф.А. Макаренко, В.И. Влодавец, В.В. Иванов, Н.И. Нехорошев, Н.И. Хитаров, инженер А.А. Гавронский [4]. Комиссия выбрала точку заложения бурения первой 500-метровой скважины на площадке Паужетских геотермальных

источников и утвердила программу работ, созданной в 1957 г там Контрольно-наблюдательной геотермальной станции Лаборатории вулканологии (Паужетская геотермальная экспедиция). Руководителем этой экспедиции был назначен Б.И. Пийп, гидрогеологическими исследованиями руководили В.В. Аверьев и В.М. Сугробов.



Рис. 3. Гавронский А.А.



Рис. 4. Лаврентьев М.А.

Источник: фото предоставлены автором

### 3 Создание Паужетской ГеоЭС

1957 год считается фактическим началом всего комплекса работ по строительству Паужетской ГеоЭС. В 1957-1958 гг. была пробурена и опробована первая в СССР пароводяная скважина. На глубине 120-300 м она вскрыла месторождение с пароводяной смесью с температурой 200°C. С 1959 г по 1963 г. на Паужетском месторождении были пробурены и опробованы 21 разведочная скважина, на десяти из которых были выполнены годовые опытно-эксплуатационные испытания. Выдающийся вклад в развитие геотермальной геологии Камчатки внес Валерий Викторович Аверьев (1929-1968) [5] (рис. 5). Он возглавлял новое научное направление исследований о вулканизме, как проявлении магматического вещества на поверхности Земли и о соответствующих геотермальных процессах [6]. В.В. Аверьев предложил произвести глубокое бурение в зону влияния магматических очагов под вулканами, которое только в XXI веке было реализовано в США и в Исландии. Под руководством В.В. Аверьева впервые в СССР на Паужетской станции была разработана, изготовлена и испытана аппаратура для испытания пароводяных скважин, разработаны

методики испытания (гидрогеологических, гидрохимических, гидротермических), определения запасов геотермальных пароводяных месторождений.



**Рис. 5.** Аверьев В.В. Источник: фото предоставлено автором

После оценки потенциальной мощности Паужетской геотермальной системы в 30 МВт правительство СССР в 1965 г. приняло решение о строительстве Паужетской ГеоЭС (рис.6) установленной мощностью 5 МВт. Результаты исследований Паужетского месторождения, а также других месторождений были обобщены Б.И. Пийпом в книге [7], актуальной до настоящего времени. Проект Паужетской ГеоЭС разработал инициатор проектирования отечественной геотермальной энергетики главный специалист Новосибирского филиала института «Теплоэлектропроект» Борис Михайлович Выморков (главный инженер проекта), и он же был первым директором этой станции. Технические решения Паужетской ГеоЭС были приняты с учетом мирового опыта того времени [8] и передовых технологий отечественного энергостроения. Сепараторы были установлены на каждой из 9 эксплуатируемых скважин (всего пробурено 79 скважин).



**Рис. 6.** Скважины Паужетского месторождения. Источник: фото автора.

На станции были установлены две паровые турбины каждая мощностью 2,5 МВт, переделанные персоналом станции из серийных машин Калужского турбинного завода (КТЗ). Оригинальная конструкция смешивающего конденсатора с речной водой обеспечивала устойчивую работу станции. Паужетская ГеоЭС, первая в нашей стране была построена за два года и 19 августа 1966 г введена в эксплуатацию. Она работает и в наши дни. На рис. 7 – машинный зал Паужетской ГеоЭС. Следует отметить, что с первых дней работ по разведке месторождения и до последних дней жизни инициатор строительства Паужетской ГеоЭС А.А. Гавронский активно участвовал на всех этапах ее создания [5]. Со временем менялись турбины и другое оборудование станции. В настоящее время в работе паровая турбина мощностью 6 МВт КТЗ, изготовленная в 1940 г., а вторая той же мощности, переоборудованная из судовой АО «Кировский завод» в 2006 г - в резерве.



**Рис. 7.** Машинный зал Паужетской ГеоЭС. Источник: фото автора.

Паужетское геотермальное месторождение в настоящее время эксплуатируется АО «Тепло Земли», которое является правопреемником – ГУП «Камчатскбургеотермия». Запасы месторождения утверждены в 2008 г на 25 летний срок эксплуатации при удельном расходе пара ГеоЭС – 2,5 кг/спри фактическом расходе 4,03 кг/с, что соответствует среднегодовой мощности станции 6,7 МВт, а при пиковом потреблении до 11 МВт. Сейчас на месторождении 22 скважины глубиной от 405 до 1205 м, из которых 10 действующих добычных с общим расходом пара 27,1 кг/с, достаточными для обеспечения электрической мощно-



сти до 10,9 МВт, температуре пароводяной смеси на устье 179°C и давление до 3 бар. Каждая добычная скважина оборудована сепаратором, пар, из которых (около 10 %) по трубопроводам централизованно подается на ГеоЭС. Сепарат скважин в объеме 5 % используется для теплоснабжения объектов в пос. Паужетка, 8 % подается в реинжекционную скважину, остальной в объеме 87 % сбрасывается в ручей Быстрый и реку Паужетка. За 9 месяцев 2019 г добыто 558,8 тыс. тонн при средней мощности 4,5 МВт. Выработка электроэнергии составила 326285 тыс. кВтч.

#### 4 Бинарные ГеоЭС

Первая в мире бинарная Паратунская ГеоЭС мощностью 670 кВт по изобретению академика СССР С.С. Кутателадзе (1914-1986) (рис. 8) в соавторстве с д.т.н. Л.М. Розенфельдом и Б.М. Выморковым, по разработкам Института технической теплофизики (ИТТФ) СО АН СССР, ВНИИ холодильного оборудования и Ленинградского технологического института холодильной промышленности и по проекту Новосибирского института ГИПРОНИИ АН СССР в 1967г была построена в 70 км от Петропавловска-Камчатского у пос. Термального. Строительством и эксплуатацией станции занималась ученица С.С. Кутателадзе к.т.н. В.Н. Москвичева. Результаты работы ГеоЭС в течение 2000 часов подтвердили ее проектные характеристики. Через 2 года после ликвидации участка Новосибирского ИТТФ АН СССР данная ГеоЭС прекратила работу. [9].

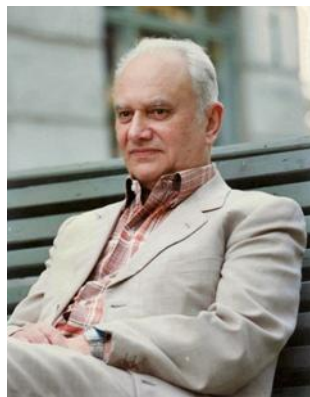


Рис. 8. Кутателадзе С.С.



Рис. 9. Г.В. Томаров.

Источник: фото автора.

С целью возрождения российских бинарных энерготехнологий и организации серийного производства бинарных электростанций (БЭС) в соответствии с приказом ОАО «РАО ЕЭС России» № 500 от 9 августа 2007 г была начата реализация проекта строительства бинарного энергоблока на Паужетской ГеоЭС. В 2007 г. московским ЗАО «ГЕОИНКОМ» (генеральный директор Томаров Г.В.)

(рис. 9) разработало технический проект типового бинарного энергоблока, а также технические проекты основного оборудования - испарителя – пароперегревателя, конденсатора, паровой турбины, выбрав в качестве рабочего цикла озонобезопасный хладон R-134a. Была также разработана технологическая схема и рассчитаны ее параметры, подобрано специальное вспомогательное оборудование и арматура, определены основные компоновочные и архитектурно-строительные решения. Генеральным проектировщиком - ОАО «НИИЭС» (Москва) на базе технического проекта была разработана рабочая проектная документация на строительство опытно - промышленного экспериментального энергоблока с бинарным циклом мощностью 2,5 МВт на площадке Паужетской ГеоЭС (рис.10).

В 2014 г. монтаж данной ГеоЭС мощностью 2,5 МВт для утилизации тепла сепарата и конденсата паровых турбин был завершен, однако по ряду причин бинарный энергоблок не введен в эксплуатацию до настоящего времени.

Дальнейшее развитие бинарных энергоциклов было выполнено к.т.н. Александром Исаевичем Калиной (1933-2018), который предложил использовать в качестве промежуточного рабочего тела взамен фреонов водоаммиачную смесь, что более чем вдвое повысила эффективность бинарных электростанций [10]. Первая такая станция была построена в 1942 г в США (Лос-Анджелес).



**Рис. 10.** Бинарная Паужетская ГеоЭС. Источник: kamchatkaland.ru.



## 5 Создание Верхне-Мутновской и Мутновской ГеоЭС

В восьмидесятые годы камчатская геотермальная школа Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в Петропавловске-Камчатском приступила к широкомасштабным исследованиям геотермальных месторождений, в том числе крупнейшего Мутновского в 100 км от Петропавловска-Камчатского. В 1990 г. Госкомитет по запасам СССР утвердил запасы Мутновского месторождения с суммарным дебитом пара 156,2 кг/сек, при давлении 6-8 бар, что соответствовало мощности 78 МВт, а в 1987 г. не дожидаясь подсчета запасов Минэнерго СССР, утвердил ТЭО строительства Мутновской ГеоЭС мощностью 50 МВт, и в 1988 г. организовал Дирекцию по ее строительству (рис.11). [11].

В течение последующих пяти лет Минэнерго СССР и Администрация Камчатской области пытались построить атомную электростанцию. Проблемы сейсмичности и отсутствия соответствующего оборудования заставили вернуться к строительству Мутновской ГеоЭС. В 1993 г. губернатор Камчатской области В.А. Бирюков в Лондоне инициировал выделение Европейским банком реконструкции и развития (ЕБРР) гранта исландской фирме Virkir-Orkin LTD для разработки ТЭО «Система геотермального электротеплоснабжения городов Елизово и Петропавловска-Камчатского». [12].

Аналогичную работу в России выполнил также институт ВНИПИЭНЕРГОПРОМ (Москва) совместно с Калужским турбинным заводом (КТЗ). Банк отдал предпочтение исландскому ТЭО с комбинированной ГеоЭС мощностью 50 МВт с теплофикационными турбинами, тепловой станцией с использованием тепла 600 т/ч сепарата и конденсата со строительством теплопровода диаметром 500 мм протяженностью 83 км до г. Елизово и далее до Петропавловска-Камчатского стоимостью 158 млн. долл. США.

Российский вариант при сохранении тех же параметров (установленная электрическая мощность 50 МВт, такая же теплотрасса) предусматривал раздельное сооружение конденсационной ГеоЭС и такое же теплоснабжение указанных городов. Такой подход объяснялся особенностью российского финансирования строительства энергообъектов. РАО «ЕЭС России» утвердило ТЭО Мутновской ГеоЭС, и готово было финансировать только электрогенерацию. Для строительства объектов геотермального теплоснабжения в 1993 г. была организована «Камчатская теплоэнергетическая компания (КамТЭК), которая не смогла собрать средства потенциальных потребителей для реализации проекта.

В этой тупиковой ситуации проблемами геотермальной энергетики в девяностые годы начал заниматься ведущий российский специалист по паровым турбинам атомных электростанций д.т.н., профессор Олег Алексеевич Поваров (1938-2006). В 1994 г. он инициирует создание в Москве акционерного общества (АОЗТ «Геотерм») с участием руководителей РАО «ЕЭС России» и ОАО «Камчатскэнерго» и уже в 1995 г. РАО «ЕЭС России» утверждает ТЭО на строительство Верхне-Мутновской ГеоЭС мощностью 12 МВт, открывает финансирование проекта. Директором строительства станции назначается В.Е. Лузин. В том же году начинает прибывать и монтироваться оборудование

станции. КТЗ изготовил 14 модулей вагонного типа, соединенных между собой закрытыми переходами. Были пробурены 3 продуктивные и 2 реинжекционные скважины 29.12.1999 г. Верхне-Мутновская ГеоЭС была принята в эксплуатацию, а все проблемы в ходе пуско-наладочных работ были устранены в декабре 2002 г.: (замена воздушной конденсаторной установки, защита электрооборудования станции от выделяющегося из геотермальной воды сероводорода и т.п.). Впервые в мировой практике были применены горизонтальные гравитационные сепараторы, обеспечивающие максимальное удаление воды из геотермального пара. При проектировании и строительстве Верхне-Мутновской ГеоЭС были апробированы новые технические решения, которые затем были успешно применены при строительстве Мутновской ГеоЭС.



**Рис. 11.**Верхне-Мутновская ГеоЭС. Источник: фото автора.

В 1996 г. О.А.Поваров (рис.12), имея большой авторитет в зарубежных научных кругах (стажировки в США, разработка ГеоЭС «Сан-Хасинто» в Никарагуа и др.) инициировал выделение средств ЕБРР на разработку окончательного варианта ТЭО Мутновской ГеоЭС. японской компании «WestJEC», АО «Наука» (президент О.А. Поваров) и Новозеландской фирме CENZi. В 1997 г. ЕБРР утвердил ТЭО Мутновской ГеоЭС мощностью 50 МВт стоимостью строительства 154 млн. долл. США. В 1998 г. было подписано соглашение между правительством РФ и ЕБРР о выделение АОЗТ «Геотерм» кредита на 99,9 млн. долл. США со сроком погашения 3 года. Остальные 55 млн. долл. США и обязались профинансировать РАО «ЕЭС России», ОАО «Камчатскэнерго», Администрация Камчатской области. Дополнительно за счет ОАО «Камчатскэнерго» была построена ЛЭП 220 кВ и автодорога до г. Елизово. Генпроектировщиком ГЕОЭС в 1999 г. было назначено ОАО «Зарубежэнергомонтаж» (г. Иваново), а

генподрядчиком строительства - ФГУП «ВО Технопромэкспорт», имевшего многолетний опыт строительства зарубежных электростанций.



**Рис. 12.**Поваров О.А. Источник: фото автора.

В 2002 г. в установленный трёхлетний срок было завершено строительство и пуск в эксплуатацию, ставшая флагманом российской геотермальной энергетики Мутновской ГеоЭС мощностью 50 (2х25) МВт (рис.13). При ее создании были реализованы современные технико-технологические решения: высокоэффективные оригинальные горизонтальные сепараторы первой и второй ступени, работающие на основе гравитационного принципа отделения влаги (производство ОАО «ЗиО», г. Подольск), высокоэкономичные и надежные двухпоточные паровые турбины, разработанные и изготовленные на ОАО «КТЗ», современная распределенная АСУ ТП на базе оборудования фирмы «Сименс» [12, 13].



**Рис. 13.**Мутновская ГеоЭС. Источник: фото автора.

## 6 Перспективы геотермальной энергетики Камчатки

В соответствии со схемой и программой развития электроэнергетики Камчатского края на 2019-2024 гг., суммарная мощность электрогенерирующих станций Камчатки в 2018 г составляла 630 МВт (100%), в том числе избыточная мощность около 50%. Установленная мощность ГеоЭС составляет 74 МВт (11,7 % от суммарной установленной мощности или 23,5 % от фактически используемой). При общей выработке электроэнергии в 2018 г на Камчатке 1816 млн. кВт (100%) основная доля приходится на ТЭЦ-1, установленной мощностью 204 МВт и ТЭЦ-2 соответственно – 160 МВт, которые обеспечивают 57% производства всей электроэнергии полуострова. На долю Мутновской и Верхне - Мутновской ГеоЭС приходится 23,5% выработки электроэнергии (427 млн. кВт·ч).

В настоящее время основным источником газоснабжения Камчатки является магистральный газопровод от Кшукского месторождения диаметром 530 мм и протяженностью 392 км, построенный в 2012 г. В программе отмечено, что в 2019 г его производительность сократилась с 750 до 420 млн. м<sup>3</sup> в год, а к 2030 г – до 120 млн. м<sup>3</sup> в год. Соответственно существующие электрогенерирующие мощности в количестве 364 МВт потребуют дополнительных объемов топочного мазута или замещения геотермальными электростанциями. Ведущие специалисты России д.г.н. – м.н. Кирюхин А.В., к.г.-м.н. Сугробов В.М. из Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в статье [14] дают прогнозную оценку геотермальных ресурсов для выработки электрической энергии от 680 до 1100 МВт (по объемному методу и по естественной тепловой нагрузке) и от 3000 до 3900 МВт (по интенсивности вулканической активности). Применение авторами численного термогидродинамического TOUGH2 – моделирование с прогнозом эксплуатации продуктивных геотермальных резервуаров с известными фильтрационно-емкостными и энергетическими свойствами показывают возможность увеличения мощности эксплуатируемого Мутновского геотермального месторождения до 105 МВт, а Паужетского геотермального месторождения до 11 МВт, в том числе с использованием бинарных технологий.

Камчатское АО «Тепло Земли» помимо единственного в России пароводяного Паужетского месторождения эксплуатирует также 8 водяных геотермальных месторождений с 51 скважиной. Оно обеспечивает теплоснабжение около 500 объектов общей отапливаемой площадью 45 тыс. м<sup>2</sup>, в том числе в поселках Паратунка и Термальный, 400 объектов площадью 23 тыс. м<sup>2</sup>, десятки санаториев и лососевый рыбоперерабатывающий завод. Из трех аналогичных российских организаций АО «Тепло Земли» добывает больше всех геотермальной воды – 9 млн. м<sup>3</sup> в год и около 700 тыс. тонн геотермального пара. Исследователями гидротерм этой организации в шестидесятые годы являлись: З.Б. Декусар, Ю.Ф. Манухин, В.М. Зимин, В.И. Воробьев, В.Е. Диланян, Ю.Н. Звонцов, С.Е. Апрельков, С.И. Федоренко, Г.П. Декин, А.М. Осьмакова, И.М. Зайцев, В.Д. Бубнов, В.К. Со-

ловьев Ю.С. Князятков, Л.Е. Павлова, Л.А. Коваленко; поисково – разведочные работы проводили: Г.И. Гинсбург, В.Ф. Винокур, Ц.Э. Ахизер, Л.Г. Пащенко, К.И. Мальцева, В.В. Овчеренко, Л.А. Ворожейкина, Н.Ф. Смирнова, Г.С. Захарова, Л.Т. Наумов, Л.И. Кафитин, В.М. Мальцев, В.А. Ямпольский; методическое руководство осуществляли: Ц.Э. Ахизер, Ю.А. Краевой, Ю.Ф. Манухин, В.Г. Охапкин; совместно с сотрудниками АО «Тепло Земли» работали научные сотрудники Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН: В.В. Аверьев, В.И. Белоусов, Е.А. Вакин, И.Т. Кирсанов, В.М. Сугробов, В.Л. Леонов, И.В. Мелекесцев, С.И. Набоко, Б.И. Пийп, Б.Г. Поляк, Ю.А. Таран, Ю.П. Трухин.

## 7 Курильские ГеоЭС

Геотермальные пароводяные месторождения разведаны также на Курильских островах: Кунашир, Итуруп, Парамушир. Разведочные работы первого геотермального месторождения на участке Прибрежном были начаты на острове Кунашир в 1964 г, а в 1976 г. были утверждены его запасы. Инициатором развития курильской энергетики является Вилли Львович Микиртумов, 1943 г.р., который в 1977 г. работая в институте «Сахалингражданпроект» разработал проект ТЭО геотермального теплоснабжения острова Кунашир. При его участии фирма «Энергия» заказала Калужскому турбинному заводу (КТЗ) модульную геотермальную электростанцию «ОМЕГА-500», мощностью 500 кВт, которая была установлена у подножия вулкана Менделеевский в 1993 г. В составе энергоблока была противодавленческая турбина «Кубань-0,5», разработанная КТЗ совместно с АО «Южно-русская энергетическая компания» (Краснодар). В 1994 г. были завершены работы по строительству Менделеевской ГеоЭС, мощностью 3,6 МВт с двумя энергоблоками «ТУМАН-2Л» КТЗ с мощностью каждого по 1,8 МВт. В 1996 г. был построен геотермальный теплопровод от ГеоЭС в пос. Горячий Ключ с закрытием 5 угольных котельных. В 1997 г. на Менделеевской ГеоЭС была смонтирована блочная станция «ТУМАН» (КТЗ) мощностью 17 Гкал/ч, а в 2008 г по проекту института «Сахалингражданпроект» был построен теплопровод в пос. Южно-Курильск протяженностью 9 км вдоль океанской бухты с пересечением двух рек и с перепадом отметок до 100 м. В пос. Южно-Курильск теплопровод подключили к тепловому пункту бывшей котельной и обеспечили геотермальное отопление здания поселка. С 2011 по 2019 гг. выполнялась реконструкция ГеоЭС с установкой оборудования фирмы Ormat Technologies Inc (США, Израиль). Мощность Менделеевской ГеоЭС после реконструкции составит 7,4 МВт. В сентябре 2019 г начаты тестовые испытания.

На другом курильском острове Итуруп в 2007 г по проекту института «Новосибирсктеплоэлектропроект» была построена Океанская ГеоЭС, установленной мощностью 3,6 МВт с двумя энергоблоками «ТУМАН-2Л», мощностью по 1,8 МВт. В 2015 г после аварии станция была выведена из эксплуатации.



## 8 Выводы

При общей мощности ГеоЭС мира 13300 МВт установленная мощность российских геотермальных станций 74 МВт при потенциальной мощности ГеоЭС, составляющей только на Камчатке 1100 МВт. Россия одна из пяти стран мира, обладающая технологиями производства геотермальных турбин и оборудования, геологической и научной школой мирового уровня, инженерными школами по проектированию и эксплуатации.

Развитие российской геотермальной энергетики осуществлялась инициаторами высочайшей научной и инженерной квалификации. Исследования пароводяных геотермальных месторождений Камчатки были начаты в тридцатые годы прошлого века д.г.-м. Б.И. Пийпом. Его идеи развил в шестидесятые годы В.А. Аверин, обосновавший теорию образования месторождения. После организации Б.И. Пийпа в 1962 г. Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН лаборатория геотермии выполнила исследования геотермальных ресурсов Камчатки, которое оценивалось от 650 до 3900 МВт в зависимости от метода использования.

На Камчатке строительство первой в СССР Паужетской ГеоЭС в 1949 г. инициировал А.И. Гавронский. Эта электростанция была построена в 1966 г. по проекту Б.И. Выморкова, который и руководил ее эксплуатацией в первые годы. В 1967 г. также на Камчатке была построена первая в мире бинарная Паратунская ГеоЭС. В основе ее энергетического цикла было изобретение Б.И. Выморкова, академика С.С. Кутателадзе и д.т.н. Л.М. Розенфельда. В восьмидесятые-девяностые годы ученым мирового уровня О.А. Поваровым инициировано сооружение Верхне - Мутновской и Мутновской ГеоЭС, являющимися самыми мощными геотермальными станциями в России. В 2003 г. по разработке д.т.н. Г.В. Томарова была построена Паужетская бинарная ГеоЭС, которая адаптировала в себе современные технологические решения мирового уровня.

Предварительный анализ энергобаланса и генерирующих мощностей Камчатского края, опыта эксплуатации ГеоЭС, геологических прогнозных оценок показал, возможность обеспечить существующую и перспективную электрогенерацию Камчатки за счет использования геотермальной энергии суммарной мощности от 116 до 3900 МВт.

Для определения перспектив развития геотермальной энергетики Курильских островов требуются дополнительные исследования.

## Литература

1. Бутузов В.А. Геотермальное теплоснабжение: столетний опыт работы российских научных школ // Энергия: экономика, техника, экология. 2019. №5. С.16-32.
2. Пийп Б.И. Термальные ключи Камчатки // Труды СОПС АН СССР. 1937. Вып.2
3. Алхасов А.Б. Освоение низкопотенциального геотермального тепла. М.: Физматлит. 2017.

4. Рычагов С.Н. Начало освоения геотермальной энергии на Камчатке и перспективы ее использования // История естествознания и техники. 2017. № 7. С.45-50.
5. Белоусов В.И., Эрлих Э.Н. Становление геотермальной энергетики Камчатки: проблемы и решения. // Вопросы истории естествознания и техники. 2015. Т.36. №2. С.306-321.
6. Аверьев В.В. Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью. // Современный вулканизм. М.: Наука. 1966. С. 118-128
7. Паужетские горячие воды на Камчатке. / Ред. Б.И. Пийпа М.: Наука. 1965. 208с.
8. Выморков Б.М. Геотермальные электростанции М.-Л.: Энергия. 1966. 113с.
9. Геотермальная энергетика: Справочно-методическое издание / Г.В. Томаров, А.И. Никольский, В.Н. Семенов, А.А. Шипков. –М.: Интехэнерго – Издат. 2015.
10. Калина А.И. Новая бинарная геотермальная энергетическая система/ Аннотации докладов Международного геотермального семинара. Сочи. 6-10.10.2003. С. 51
11. Колосов В.М. Создание Камчатской энергосистемы (1964-1993) Петропавловск-Камчатский. Камчатский печатный двор. 1997. 40с.
12. Очерки истории Камчатской энергетики. К 45-летию «Камчатскэнерго». Петропавловск-Камчатский. 2009. Камчатскпресс. 135с.
13. Дарующая свет и тепло. Из истории Камчатской энергетики 1964-2009. К 55 –летию ПАО «Камчатскэнерго». Петропавловск-Камчатский. Камчатскпресс. 2019. 99с.
14. Кирюхин А.В., Сугробов В.М., Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения // Вулканология и сейсмология. 2019 № 6. С. 50-65.

## References

1. Butuzov V.A. Geothermal heat supply: a hundred-year work experience of Russian research schools // Energy: economy, engineering, ecology. 2019. No 5. P.16-32.
2. Pijp B.I. Thermal Thermal springs of Kamchatka // Works of SOPS AN SSSR. 1937. Vol.2
3. Alhasov A.B. Development of low-potential geothermal heat supply. M.: Fizmatlit. 2017.
4. Rychagov S.N. Beginning of development of geothermal energy in Kamchatka and prospects of its utilization // History of natural sciences and engineering. 2017. No 7. P.45-50.
5. Belousov V.I., Erlih E.N. Development of geothermal power industry in Kamchatka: problems and solutions // Issues on history of natural sciences and engineering 2015. Vol.36. No 2. P.306-321.
6. Aver'ev V.V. Hydrothermal process in volcanic areas and its connection with magmatism // Modern volcanism. M.: Nauka. 1966. P. 118-128
7. Pauzhet heat waters in Kamchatka. / Ed. B.I. Pijpa M.: Nauka. 1965. 208pp.
8. Vymorkov B.M. Geothermal power plants M.-L.: Energy. 1966. 113pp.
9. Geothermal power industry: Referential and methodic edition / G.V. Tomarov, A.I. Nikol'skij, V.N. Semenov, A.A. SHipkov. –M.: Intekhenergo – Izdat. 2015.
10. Kalina A.I. New binary geothermal power system / Abstracts of reports of the International geothermal workshop. Sochi. 6-10.10.2003. P. 51
11. Kolosov V.M. Building the Kamchatka power system (1964-1993) Petropavlovsk-Kamchatskij. Kamchatskijpechatnyjdvor. 1997. 40pp.
12. Sketches of the history of Kamchatka power industry. To 45<sup>th</sup> anniversary of "Kamchatskenergo". Petropavlovsk-Kamchatskij. 2009. Kamchatskpress. 135pp.

13. Giving light and heat. Form the history of Kamchatka power industry 1964-2009. To 55<sup>th</sup> anniversary of PAO «Kamchatskenergo». Petropavlovsk-Kamchatskij. Kamchatskpress. 2019. 99pp.
14. Kiryuhin A.V., Sugrobov V.M. Geothermal resources of Kamchatka and the nearest prospects of its utilization // Volcanology and seismology. 2019 No 6. P. 50-65

## History and development problems of geothermal power industry in Russia

V.A. Butuzov

Kuban' State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russia

E-mail: butuzov@newmail.ru

**Abstract.** A comparison of the capacities of geothermal power plants (GeoPP) in the world and in Russia according to 2018 data is presented. The implementation of the Soviet large-scale geothermal project and the study of high-temperature steam geothermal deposits from the thirties of the last century to the present day are described. The experience of creating and operating for 66 years the country's first Pauzhetskaya GeoPP with a capacity of 12 MW is analyzed, on the basis of which measures for its improvement are proposed. Technical solutions for a 2.5 MW binary power unit built in 2012 at the Pauzhetskaya GeoPP with an intermediate working fluid for the use of separated liquid and steam condensate are presented. The experience of creating and operating the Verkhne-Mutnovskaya GeoPP with a capacity of 12 MW and measures to improve it are analyzed. Based on the analysis of the existing fuel regime and the characteristics of the explored geothermal deposits, it is concluded that it is possible to fully ensure the electric and heat generation of the Kamchatka Territory through the use of geothermal energy. The data on the technical characteristics of the reconstructed Mendelev GeoPP on Kunashir Island (Kuril Islands) with a capacity of 7.4 MW and mothballed Ocean GeoPP on Iturup Island (Kuril Islands) with a capacity of 3.6 MW are presented.

**Keywords:** Geothermal deposits, wells, separators, geothermal power plants (GeoPP), steam turbines, condensers, reinjection, binary power units.