

Российские теплonasосные технологии геотермального теплоснабжения

Рецензия эксперта на статью получена
11.10.2021 [The expert review of the article
received on October 11, 2021].

Вступление

Помимо данных, представленных в аннотации, в статье приводится анализ разработок по использованию теплонасосных установок (ТНУ) головной организацией СССР — институтом ВНИПИэнергопром (город Москва). В 1992–2000 годах в Российской Федерации было освоено производство парокompрессионных и абсорбционных тепловых насосов (ТН) с единичной мощностью до 5 МВт. Отмечена ведущая роль в эти годы новосибирской теплонасосной школы. Анализируется российский опыт 2015–2020 годов сооружения теплонасосных геотермальных систем теплоснабжения (ГСТ) с использованием поверхностных геотермальных источников энергии (грунтов, подземных и наземных водных потоков).

Отмечено, что единственной госкорпорацией, включившей в стратегию своего развития внедрение тепловых насосов, является ОАО «РЖД». На российском рынке тепловых насосов работает около 20 частных предприятий, использующих преимущественно ТН зарубежных производителей и иностранные методики по их проектированию. ГК «Инсолар-Инвест» (Москва), ООО «ИЭТ-Геотерм» (город Сочи) применяют собственные методики. ООО «Термекс Энерджи» (входит в структуру корпорации «Термекс») в 2020 году приступило к выпуску ТН единичной мощностью до 56 кВт.

В современном мире развитие возобновляемой энергетики является одним из ведущих трендов. После ветровой и солнечной геотермальная энергетика занимает третье место. Суммарная установленная мощность геотермальных ТНУ

На российском рынке тепловых насосов работает около 20 частных предприятий, использующих преимущественно ТН зарубежных производителей и иностранные методики по их проектированию. Единственная госкорпорация, включившая в стратегию своего развития внедрение ТН, — ОАО «РЖД»

в 2020 году, по данным [1], составляла 77,5 ГВт с выработкой тепловой энергии 16,8 ГВт·ч/год. При этом их доля в мировом геотермальном теплоснабжении увеличилась до 71,6 %, а выработка тепловой энергии до 59,2 %.

Теплонасосные технологии получили наибольшее применение при использовании поверхностных геотермальных ресурсов на глубине до 400 м, для оценки которых принципиально важное значение имеет понятие «нейтрального слоя». В теплофизике горных пород на глубинах ниже нейтрального слоя определяющую роль имеет глубинный тепловой поток из недр Земли. На меньших глубинах тепловой режим пород в основном формируется солнечным излучением и климатическими факторами.

В общем случае теплонасосная геотермальная система теплоснабжения состоит из трёх основных элементов: устройства для отбора тепла от массива горных пород, грунтовых или поверхностных вод; собственно тепловых насосов, повышающих низкотемпературное тепло до более высокой температуры, и системы теплоиспользования конкретных объектов.

УДК 620.93. Научная специальность: 05.14.08.

Российские теплонасосные технологии геотермального теплоснабжения

В.А. Бутузov, д.т.н., Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (КубГАУ, г. Краснодар)

Суммарная установленная мощность геотермальных тепловых насосов теплоснабжения в мире в 2020 году составила 77,5 ГВт с выработкой тепловой энергии 16,8 ГВт·ч/год. Эта технология в основном используется с поверхностными геотермальными ресурсами при глубине пород до 400 м. Описана оценка теплового потенциала поверхностных пород территории России, выполненная в 1980-е годы, которая требует актуализации. Рассмотрены имитационно-математические модели поверхностных геотермальных систем теплоснабжения (ГСТ) д.т.н. Э.И. Богуславского. Описаны методы математического моделирования теплового режима в грунтах в условиях средней полосы России д.т.н. Г.П. Васильева. Обобщён советский опыт сооружения ГСТ, в том числе с использованием тепла морской воды и солнечно-теплonasосной установки в Абхазии с использованием серийных холодильных машин. Перечислены рекомендации и методические указания для применения теплонасосных установок в условиях Грузии, рассмотрены недостатки советских холодильных машин, работавших в режиме тепловых насосов.

Ключевые слова: геотермальная энергия, геотермальная система теплоснабжения, тепловой насос, теплонасосная установка, холодильная машина, тепловой потенциал, тепловой режим, математическое моделирование.

UDC 620.93. Scientific specialty number: 05.14.08.

Russian heat pump technologies of geothermal heat supply

V.A. Butuzov, Doctor of Technical Sciences, Kuban State Agrarian University (KubGAU, Krasnodar city)

The total installed capacity of geothermal heat pumps (GHP) of heat supply in the world in 2020 was 77.5 GW with the production of thermal energy of 16.8 GW·h/year. This technology is mainly used with surface geothermal resources at a rock depth of up to 400 m. The article describes the assessment of the thermal potential of the surface rocks of the territory of Russia, performed in the 1980s, which requires updating. Simulation and mathematical models of surface geothermal heat supply systems (GHSS) of Doctor of Technical Sciences Em. I. Boguslavsky are considered. Methods of mathematical modeling of the thermal regime in soils in the conditions of the middle zone of Russia are described by Doctor of Technical Sciences G. P. Vasiliev. The Soviet experience of constructing a GHSS, including using the heat of seawater and a solar-heat pump unit in Abkhazia using serial refrigerating machines, is summarized. The recommendations and methodological guidelines for the use of heat pump units in the conditions of Georgia are listed, the disadvantages of Soviet refrigerating machines operating in the mode of heat pumps are considered.

Key words: geothermal energy, geothermal heat supply system, heat pump, heat pump unit, refrigeration machine, thermal potential, thermal regime, mathematical modeling.



Группа термальных источников на реке Горячая. Природный парк «Налычево», Камчатка

Из анализа современного российского опыта геотермального теплоснабжения [2, 3] следует, что одной из проблем, препятствующей его массовому применению, является отсутствие современных методик оценки и расчёта тепловых режимов поверхностных слоёв грунтов и водоёмов. Использование западноевропейских методик без учёта специфики российских регионов приводит к существенным проблемам при эксплуатации ГСТ и в ряде случаев — к их дискредитации.

Геотермальные поверхностные тепловые ресурсы

При оценке теплового потенциала поверхностных геотермальных ресурсов выделяют два основных подхода. В конце XX века специалистами по теплофизике Ленинградского горного института (ЛГИ) под руководством д.г.-м.н. Ю.Д. Дядькина и д.т.н. Э.И. Богуславского были выполнены исследования всей территории СССР с оценкой теплового потенциала

поверхностных геотермальных ресурсов. В монографии Э.И. Богуславского [4] приведена карта температурного режима нейтрального слоя территории РФ. Из карты следует, что температура нейтрального слоя зависит от климатических и ландшафтных условий. Для арктических местностей она изменяется от $+3^{\circ}\text{C}$ до отрицательных значений, а в южных районах составляет $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$. В регионах современной вулканической активности (Камчатка, Курильские острова), где перенос тепла обусловлен конвективной составляющей, температуры грунтов на поверхности земли могут превышать указанные значения.

В Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В. Плеханова, преемнике ЛГИ, были составлены обзорные карты в масштабе $1:25\,000\,000$ распределения температур горных пород на глубинах 40, 100 и 200 м [4]. Одна из таких карт характеризует распределение поверхностных геотермальных ресурсов на глубине 100 м.



Геотермальная жемчужина Камчатки — Долина Гейзеров (более 20 крупных гейзеров)

Принципиально важное значение в горной теплофизике имеет проницаемость пород. В слабопроницаемых грунтах (скальные породы, глина) преобладает кондуктивный перенос тепла. Температура таких пород слабо зависит от сезонных климатических колебаний. В высокопроницаемых водонасыщенных породах (галечники, крупнозернистые песчаники) решающую роль для теплового режима играет конвективный тепломассообмен.

При оценке теплового потенциала поверхностных водоёмов и водостоков следует учитывать решающую роль солнечной радиации. При этом температура дна наземных водоёмов поддерживается глубинным тепловым потоком.

Результаты исследований кондуктивного теплообмена в поверхностном горном непроницаемом массиве представлены в [4]. Там же приводятся результаты исследований конвективного теплообмена в проницаемых водонасыщенных горных породах при обтекании ствола геотермальной скважины подземными водами. По утверждению Э.И. Богуславского, для оптимизации параметров поверхностной ГСТ целесообразно применять имитационные экономико-математические модели со следующими критериями: чистый дисконтированный доход (ЧДД, NPV) за весь срок службы; приведённые затраты; коэффициент экономической целесообразности (соотношение приведённых затрат на производство теплоты ГСТ и «альтернативной котельной»). Структура экономико-математической модели содержит блоки: исходные данные; параметры системы теплоснабжения; расходы сетевой воды; теплообменные процессы в скважинах; потери напора в ГСТ; расчёты ТНУ; теплотехнические характеристики ГСТ; экономические показатели; параметры и показатели «альтернативной котельной»; технико-экономические параметры и показатели ГСТ. Данная методика в основном применяется при масштабных региональных исследованиях.

Для создания локальных ГСТ д.т.н. Г.П. Васильевым были разработаны рекомендации по применению тепловых насосов [5]. Под его руководством также разработан метод математического моделирования теплового режима в грунтах ГСТ, в том числе с учётом фазовых переходов воды в порах грунтов в условиях средней полосы России [6]. Критерием эффективности ГСТ при этом предложено среднее пятилетнее значение коэффициента трансформации теплоты. Указанные материалы требуют доработки для применения в других регионах РФ и адаптировать их для массового применения.

Советский опыт

Инициатором теплонасосного теплоснабжения в СССР был физик Владимир Александрович Михельсон (1860–1927), который в 1926 году опубликовал статью о солнечной системе теплоснабжения с тепловым насосом [7]. Практический опыт применения ТН, в том числе в геотермальном теплоснабжении, был накоплен в 1950-х годах в грузинской школе теплонасосных установок.

Лидером этой школы был академик Вахтанг Иванович Гомелаури, который в 1953 году в журнале «Холодильная техника» в соавторстве с А. И. Мухелишвили опубликовал статью об использовании ТНУ для утилизации отработанных геотермальных вод для теплоснабжения санаторных объектов. В 1970-х годах д.т.н. Отаром Шаловичем Везиришвили были



Фото: пользователь Dimant, ru.wikipedia.org

•• Пансионат «Дружба» (посёлок Курпаты, городской округ Ялта) послужил экспериментальной площадкой для демонстрационной ТНУ (2,1 МВт) с использованием тепла морской воды



Фото: Артём Номохов, rastvni.com

•• Дом отдыха «Гумиста» в Сухуми был оборудован первой в СССР гелио-ТНУ. Фото 1986 года

разработаны и построены в Абхазии несколько поверхностных геотермальных систем теплоснабжения (ПГСТ) с использованием тепла морской воды Чёрного моря [8], в том числе торговый центр в городе Сухуми (1971) и курортный зал в городе Пицунда (1977).

Д.т.н. О. Ш. Везиришвили совместно с д.т.н. Нукзаром Варлановичем Меладзе в эти же годы в Сухуми для дома отдыха «Гумиста» построили первую в СССР гелио-теплонасосную установку площадью 980 м². Все грузинские ТНУ использовали адаптированные советские холодильные машины ХМФУУ-80 тепловой мощностью 145 кВт. На основе многолетнего опыта разработки и эксплуатации ТНУ с участием указанных авторов в 1986 году были разработаны «Рекомендации» [9], которые в том числе включали методику расчёта оптимальной производительности

ТН и технико-экономическое обоснование их применения. В 1987-м ими же были разработаны «Методические указания по определению экономической эффективности установок с использованием ВИЭ», в котором оценивался их потенциал с приложением базы расчётных данных солнечной радиации, скоростей ветра, температур водоёмов, воздуха, грунтов регионов Грузии.

В СССР разработкой холодильных машин и тепловых насосов занимался институт ВНИИХолодмаш (Москва). Однако адаптированные им для работы в теплонасосном режиме холодильные машины быстро выходили из строя. Основной причиной было то, что соотношение давлений хладагента на входе и выходе из них было существенно выше, чем у обычных холодильных машин (6–7 и 9–10, соответственно). Автор данной

статьи в 1982–1984 годах при эксплуатации компрессора А-220-0 производства московского завода «Компрессор» в режиме геотермального теплового насоса на своём опыте убедился в повышенном износе кривошипно-шатунного механизма, проблемах с маслохозяйством и автоматикой [10]. Вследствие низкой надёжности таких машин при проектировании ТНУ на морской воде в городе Ялте на каждый блок «испаритель-конденсатор» были установлены по два компрессора (рабочий и резервный).

В СССР головной организацией по проектированию теплонасосных установок был институт ВНИПИЭнергопром (Москва), крымский филиал которого в 1986 году разработал проект ТНУ для пансионата «Дружба» в Ялте с использованием тепла морской воды. Данная демонстрационная ТНУ расчётной тепловой мощностью 2,1 МВт [11] являлась советской учебно-методической базой по подготовке специалистов для эксплуатации этого оборудования.

Всего крымским филиалом института ВНИПИЭнергопром было разработано 26 проектов теплонасосных установок с 117-ю тепловыми насосами общей тепловой мощностью 165 МВт, в том числе геотермальных и с использованием тепла морской воды. При обобщении этого опыта головным институтом ВНИПИЭнергопром в 1986 году были разработаны «Методические указания» [12].

В 1980-х годах разработкой проектов ТНУ занимался также московский Центральный научно-исследовательский институт экспериментального проектирования инженерного оборудования (ЦНИИ ЭПИО), который в 1986 году разработал соответствующие «Рекомендации» [13].

В 1987 году совместным постановлением ведущих структур советского правительства, Госпланом, Бюро Совета Министров по ТЭК, Госкомитетом по науке и технике были разработан и утверждён к реализации комплекс мероприятий по увеличению использования ВИЭ в народном хозяйстве СССР в 1987–1990 годах. Предусматривалось в том числе построить теплонасосные установки общей тепловой мощностью 320 МВт.

Таким образом, в СССР была создана теоретическая теплофизическая база оценки поверхностных геотермальных ресурсов, производилось адаптированное для работы в теплонасосном режиме оборудование, были разработаны методические материалы по проектированию ТНУ, сооружались десятки установок, велась подготовка эксплуатационных кадров.

Российский опыт в 1992–2000 годах

В 1990-е годы в России было освоено производство специализированных тепловых насосов. Парокомпрессионные ТН производил в Москве завод по выпуску холодильных машин «Компрессор» (тип НТ-410 мощностью 400 кВт), а в городе Рыбинске — Рыбинский завод приборостроения (тип АНТУ мощностью 10,3; 12,0; 14,0 кВт). Абсорбционные ТН производили в Новосибирске ООО «Термонасос» и ОКБ «Теплосибмаш».

В эти годы ведущей российской теплонасосной школой была новосибирская, созданная академиком Владимиром Елифирьевичем Накорякиным (1935–2018) и его учениками. К.т.н. Юрий Маркович Петин (1939–2017) в Новосибирске организовал производство типоряда ТН мощностью от 100 кВт до 5 МВт. За десять лет, в 1990–2000 годах, под его руководством ЗАО «Энергия» произвела 126 машин общей мощностью 40 МВт [14]. В этом же городе ученик В.Е. Накорякина д.т.н. Сергей Львович Елистратов выполнил исследования теплонасосных технологий с обширным перечнем актуальной литературы (321 наименование) [15]. На сайте prometens.nsc.ru А.П. Зарубиным представлена современная отечественная библиография по ТН из 116 наименований.

Абсорбционные ТН были разработаны и изготовлены в 1994 году в новосибирском Институте теплофизики СО РАН на основе собственных НИР и ОКР, а также результатов исследований Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ, ныне присоединён к Университету ИТМО). Базовые модели АБНТ-2000П (с паровым обогревом)

и АБНТ-5000Т (с газовым или мазутным обогревом) имели мощности 2 и 5 МВт, соответственно. Инициатором производства применения абсорбционных ТН является к.т.н. Валерий Гаврилович Горшков (1941 г.р.) [16].

В 1999 году по инициативе новосибирских учёных и инженеров была разработана и утверждена единственная в России региональная программа массового внедрения теплонасосных установок в 30 сёлах, деревнях и городах Новосибирской области.

Известным российским специалистом д.т.н. Даниром Галимзяновичем Закировым (1939 г.р.) в 1990-е годы в городе Перми была создана школа применения тепловых насосов, в том числе с использованием тепла шахтных вод десятка горных предприятий, тепла канализационных стоков и т.п. [17].

Высокой эффективностью и быстрой окупаемостью характеризуются децентрализованные (кольцевые) геотермальные теплонасосные системы. Эти кольцевые системы были разработаны в США. Они отличаются низкотемпературным водяным кольцевым контуром внутри здания и установкой реверсивных ТН в каждом помещении. Первая такая ГСТ в России была построена в 1991 году для восьмиэтажного здания Iris Congress Hotel в Москве (сейчас находится в составе сети Holiday Inn Hotels) на 195 номеров [18]. Всего в помещениях отеля было установлено около 300 реверсивных ТН вида «вода-воздух». Особенностью данной системы является возможность перераспределения избыточных тепловых потоков между помещениями.

Абсорбционные тепловые насосы были разработаны и изготовлены в 1994 году в новосибирском Институте теплофизики СО РАН на основе собственных НИР и ОКР, а также результатов исследований СПбГУНиПТ

Децентрализованная ГСТ в 2007 году была построена в городе Краснодаре для отопления и кондиционирования административного здания с общим объёмом 10,2 тыс. м³ с расчётными нагрузками отопления — 45 кВт, кондиционирования — 68 кВт [19]. Перед зданием были пробурены 16 геотермальных скважин глубиной 90 м. Каждая скважина оборудована U-образной пластиковой трубой диаметром 32 мм. В подвесных потолках помещений здания смонтированы 16 теп-



Фото. ЗАО «Сервис тепло и климатоборудования» (РФ), broad-sty.by

Современная абсорбционная бромистостириловая холодильная машина Broad BDS300

ловых насоса (вида «вода-вода») и precisely-вентиляционные установки. ТН работают в реверсивном режиме и летом сбрасывают избыточное тепло помещений в геотермальные скважины. Двенадцатилетний срок эксплуатации подтвердил основные проектные показатели системы, фактический срок окупаемости данной ГСТ составил шесть лет.

В книге А.Б. Алхасова [20] представлены результаты работы ГСТ с гелиоустановкой, которая в межотопительный период восстанавливает тепловой режим горных пород после зимнего отвода тепла на отопление. Расчётная тепловая мощность ГСТ — 15 кВт. Скважинный теплообменник с обсадной трубой 148 мм и внутренней трубой 40 мм имеет глубину 100 м, площадь солнечных коллекторов — 20 м², тепловая мощность ТН «вода-вода» равна 9,4 кВт. На примере опытной эксплуатации этой ГСТ было показано, что отопление и горячее водоснабжение (ГВС) объекта в зимнее время возможно от скважинного теплообменника, а в летнее время обеспечение ГВС и пополнение тепловой энергии горных пород осуществляется теплоносителем гелиоустановки. Опыт проектирования и эксплуатации ТН до 2015 года обобщался в журнале «Тепловые насосы», издававшимся в городе Харькове (Украина). На сайте этого журнала имеется обширная библиография российских, украинских и зарубежных публикаций.

Таким образом, в 1990–2000 годах в РФ было организовано производство и внедрение парокомпрессионных и абсорбционных ТН собственных конструкций. Зарубежное теплонасосное оборудование по экономическим показателям тогда было недоступно. Ведущей российской теплонасосной школой была новосибирская. В Новосибирской области была начата реализация региональной программы внедрения тепловых насосов.

Современный опыт

В настоящее время в России отсутствует государственная поддержка отрасли теплонасосного оборудования. Действующим Распоряжением Правительства РФ от 1 июня 2021 года №1446-р из всех видов ВИЭ до 2035 года предусмотрено только электроснабжение на основе ветровых, фотоэлектрических и малых гидравлических станций. Региональные программы развития ТНУ также отсутствуют. Из анализа опыта работы российских фирм [2, 3] следует, что в стране существует небольшой рынок ТНУ, на котором работают до 20 небольших частных компаний.

В работе [3] Ассоциация специалистов «Зелёный киловатт» представила перечень объектов с использованием ВИЭ, в том числе геотермальных тепловых насосов. Из 14 жилых домов геотермальные ТН применены в половине из них. Для отопления трёхэтажного МКД в посёлке Решетниково Клинского района Московской области построена ГСТ с 65 зондами (скважинами) и четырьмя ТН типа «Корса-55» общей мощностью 165 кВт. Из 19 административных, коммерческих и социальных объектов ТН применены в 13 случаях, в том числе для отопления административных зданий в городе Приозерске Ленинградской области с ТН типа TME GHP68S мощностью 68 кВт с использованием тепла канализационных стоков, отопление магазина в посёлке Сутун в Новосибирской области с 24 геотермальными зондами и тремя ТН типа «Экомер-ЭКО-12 Инвертор» общей тепловой мощностью 36 кВт. 14 промышленных объектов геотермальные ТН применены в 11 случаях, в том числе для отопления десяти вокзалов «РЖД» с грунтовыми ГСТ с ТН различных производителей.

Как следует из [3], в России единственная госкорпорация — ОАО «Российские железные дороги» — планомерно занимается внедрением тепловых насосов.



Здание школы (МБОУ «Житковская СОШ») в посёлке Житково Выборгского района Ленинградской области отапливается ГСТ с тремя тепловыми насосами Thermex Energy Pro 35 (112 кВт)

Согласно её энергетической стратегии, до 2030 года планируется замещение ВИЭ, в том числе тепловыми насосами, до 10 % потребления органического топлива объектами стационарной энергетики.

В связи с ограниченностью рынка российские разработчики ТНУ используют зарубежные конструкции тепловых насосов и в основном задействуют методики расчёта и проектирования соответствующих компаний. В ГК «Инсолар-Инвест» под руководством д.т.н. Г.П. Васильева в 2001 году было разработано «Руководство по применению тепловых насосов...» [21]. Перед проектированием геотермальных ТНУ собственным исследованием тепловых характеристик грунтов занимался генеральный директор ООО «ИЭТ-Геотерм» (город Сочи) Виктор Анатольевич Малкин.

В 2020 году компания «Термекс Энерджи» (город Тосно Ленинградской области), входящая в структуру корпорации «Термекс», приступила к производству геотермальных тепловых насосов: бытовой серии Contrast, мощностью 6–18 кВт

со встроенным ТЭНом и циркуляционными насосами, и двухкомпрессорной серии Pro мощностью 16–56 кВт.

С использованием этого оборудования построены несколько ГСТ, в том числе школы в посёлке Житково в Выборгском районе Ленинградской области с тремя ТН Thermex Energy Pro 35 (112 кВт) и 14-ю геотермальными скважинами (145 м).

Как следует из информационного бюллетеня Ассоциации российской возобновляемой энергетики (АРВЭ) за 2021 год [22], стимулирование спроса на возобновляемую энергетику в России осуществляется в основном на оптовом и розничном рынках электроэнергии, а также организацией торговли «зелёными» сертификатами. Проект закона о поправках в действующий закон «Об электроэнергетике», подготовленный в 2020 году Минэнерго РФ, предусматривает в том числе введение «зелёных» сертификатов для квалифицированных объектов с использованием геотермальной энергии с природными подземными теплоносителями, а также низкопотенциальной тепловой энергии земли, воздуха, воды с использованием специальных теплоносителей.

Анализ мирового опыта сооружения ГСТ показал, что один из лучших результатов был достигнут в Германии. Немецкая Федеральная ассоциация тепловых насосов (BWP) объединяет 700 проектных, эксплуатационных, буровых организаций с общей численностью сотрудников 5000 человек и с годовым оборотом €1,5 млрд. В её состав входят в том числе Федеральная ассоциация поверхностного отопления и охлаждения (BVF), Немецкая холодильная и климатическая ассоциация (DKV), Центр испытаний и повышения квалификации «Тепловые насосы и холодильная техника».



Энергоэффективный дом в посёлке Решетниково Клинского района (ул. Парковая, д. 3) оборудован ГСТ с 65 скважинами и четырьмя тепловыми насосами «Корса-55» (165 кВт)

Выводы

С учётом изложенного можно сделать следующие выводы:

1. В России имеется многолетний опыт разработки, производства и эксплуатации геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения. В основе этой технологии результаты исследований советских горных теплофизиков по поверхностной геотермии. В постсоветский период эти исследования были практически прекращены, а их результаты требуют актуализации в современных условиях. Отсутствуют действующие российские методики и компьютерные программы для расчётов теплообмена при создании ГСТ, а применяемые зарубежные не всегда учитывают грунтовые условия регионов РФ.
2. В России отсутствует государственная поддержка развития рынка теплонасосных установок. В настоящее время российский рынок геотермальных тепловых насосов представлен в основном зарубежными изделиями. Единственной государственной корпорацией, систематически внедряющей тепловые насосы, является ОАО «РЖД».
3. В современных российских условиях для консолидации рынка теплонасосных ГСТ целесообразно создание национальной ассоциации тепловых насосов. ●

1. John W. Lund, Aniko N. Toht. Direct Utilization of Geothermal Energy: 2020 Worldwide Review. 2020 World Geothermal Congress. Reykjavik, Iceland. 2020. 39 p.
2. Гашо Е.Г., Козлов С.А. и др. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. — М.: Изд-во «Перо», 2017. 204 с.
3. Возобновляемая энергетика: примеры и практики реального использования / Под ред. Е. Г. Гашо и Р. Н. Разорёнова. — М.: РИА; Ассоциация «Зелёный киловатт», 2017. 80 с.
4. Богуславский Э.И. Освоение тепловой энергии недр: монография. — М.: Спутник, 2018. 435 с.
5. Васильев Г.П. Тепловодоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв Земли. — М.: ИД «Граница», 2006. 176 с.
6. Васильев Г.П., Горнов В.Д. и др. Геотермальное теплоснабжение в Московском регионе: температурный потенциал и рациональная глубина термоскважин // Теплоэнергетика, 2008. №1. С. 85–96.
7. Михельсон В.А. О динамическом отоплении // Журнал прикладной физики, 1926. Т. III. Вып. 3–4. С. 243–260.
8. Везиришвили О.Ш., Меладзе Н.В. Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и холодоснабжения. — М.: Изд-во МЭИ, 1994. 160 с.
9. Унгадзе Н.М., Везиришвили О.Ш. Рекомендации по разработке систем теплонасосных установок. — Тбилиси: Грузгипрогорстрой, 1986. 31 с.
10. Бутузов В.А. Повышение эффективности систем теплоснабжения на основе использования возобновляемых источников энергии: дисс. докт. техн. наук по спец. 05.14.08. — М., 2004. 297 с.
11. Курдюмова К.А., Куратенко А.П. Опыт эксплуатации теплонасосной станции пансионата «Дружба» // Холодильная техника, 1991. №11. С. 2–4.
12. Методические указания по применению тепловых насосов для использования низкопотенциальной теплоты в системах теплоснабжения. — М.: ВНИПИэнергопром, 1986.
13. Рекомендации по технико-экономическому обоснованию применения нетрадиционных и солнечно-теплонасосных систем теплоснабжения на гражданских и промышленных объектах. — М.: ЦНИИЭПИО, 1987.
14. Петин Ю.М. Опыт десятилетнего производства тепловых насосов в ЗАО «Энергия» // Энергетическая политика, 2001. №1. С. 28–34.
15. Елистратов С.Л. Комплексные исследования эффективности тепловых насосов: дисс. докт. техн. наук по спец. 01.04.14. — Новосибирск, 2010. 383 с.
16. Горшков В.Г., Паздников А.Г. и др. Промышленный опыт и перспективы использования отечественных АБХМ и тепловых насосов нового поколения // Холодильная техника, 2007. №8. С. 23–29.
17. Закиров Д.Г. Тепловые насосы — теплотрансформаторы на службе экологии и энергоэффективности. — Пермь: «Гармония», 2014. 424 с.
18. Райх В. Специфика использования тепловых насосов в России: климат, эксплуатация, условия // Журнал СОК, 2006. №3. С. 66–70.
19. Бутузов В.А., Амерханов Р.А., Григораш О.В. Геотермальное теплоснабжение в России // Теплоэнергетика, 2020. №3. С. 3–14.
20. Алхасов А.Б., Алишаев М.Г. и др. Освоение низкотемпературного геотермального тепла. — М.: Физматлит, 2012.
21. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных ВИЭ. — М.: ОАО «Инсолар-Инвест»; УППН Москомархитектуры, 2001.
22. Рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития (июль 2021). Инф. бюлл. — М.: АРВЭ, 2021. 36 с.

[References — see page 79.](#)

Russian heat pump technologies of geothermal heat supply. Pp. 68–73.

Vitaly A. Butuzov, Doctor of Technical Sciences, Kuban State Agrarian University (Kub-GAU, Krasnodar city)

1. John W. Lund, Aniko N. Toht. Direct Utilization of Geothermal Energy: 2020 Worldwide Review. Proc. of the 2020 World Geothermal Congress. Reykjavik, Iceland. 2020. 39 p.
2. E.G. Gasho, S.A. Kozlov, V.S. Puzakov, R.N. Razorjonov, N.V. Sveshnikov, M.V. Stepanova. *Teplovye nasosy v sovremennoj promyshlennosti i kommunal'noj infrastrukture: inf.-metod. izd.* [Heat pumps in modern industry and communal infrastructure: informational and methodological publication]. Moscow. Izd-vo "Pero" ["A nib" Publishing House]. 2017. 204 p. [In Russian]
3. *Vozobnovljajemaja jenergetika: primery i praktiki real'nogo ispol'zovaniya* [Renewable energy: examples and practices of real use]. Edited by E.G. Gasho and R.N. Razorjonov. Moscow. RIA [Russian Engineering Academy]; Associacija "Zelenyy kilovatt" ["Green Kilowatt" Association of Renewable Energy Specialists]. 2017. 80 p. [In Russian]
4. Je.I. Boguslavskij. *Osvoenie teplovoj jenerгии nedr: monografija* [Development of thermal energy of Earth bowels: A monograph]. St. Petersburg. Naukoemkie tehnologii ["Science-intensive technologies" Magazine]. 2020. 435 p. [In Russian]
5. G.P. Vasil'ev. *Teplovodosnabzhenie zdaniy i sooruzhenij s ispol'zovaniem nizkopotencial'noj teplovoj jenerгии poverhnostnykh sloev Zemli* [Heat and water supply of buildings and structures using low-potential thermal energy of the surface layers of the Earth]. Moscow. ID "Granica" ["A border" Publishing House]. 2006. 176 p. [In Russian]
6. G.P. Vasil'ev, V.D. Gornov, A.N. Dmitriev, M.V. Kolesova, V.A. Jurchenko. *Geotermal'noe teplosnabzhenie v Moskovskom regione: temperaturnyj potencial i racional'naja glubina termoskvazhin* [Geothermal heat supply in the Moscow region: temperature potential and rational depth of thermal wells]. *Teplojenergetika* ["Heat power engineering" Magazine]. 2008. No. 1. Pp. 85–96. [In Russian]
7. V.A. Mihelson. *O dinamicheskom otoplenii* [About dynamic heating]. *Zhurnal prikladnoj fiziki* [Journal of Applied Physics of the USSR]. 1926. Vol. 3. Issue 3–4. Pp. 243–260. [In Russian]
8. O.Sh. Vezirishvili, N.V. Meladze. *Jenergoberegajushhie teplonasosnye sistemy teplo- i holododsnabzheniya* [Energy-saving heat pump systems for heat and cold supply]. Moscow. Izd-vo MJeI [Publishing house of Moscow Power Engineering Institute]. 1994. 160 p. [In Russian]
9. N.M. Ungiadze, O.Sh. Vezirishvili. *Rekomendacii po razrabotke sistem teplonasosnykh ustanovok* [Recommendations for the development of heat pump systems]. *Gostroj Gruzinskoj SSR* [State Construction Committee of the Georgian Soviet Socialist Republic]. Tbilisi. *Gruzgiprogostroj* [State Institute for Urban Construction Design of the Georgian Soviet Socialist Republic (Gruzgiprogostroj)]. 1986. 31 p. [In Russian]
10. V.A. Butuzov. *Povyshenie jeffektivnosti sistem teplosnabzheniya na osnove ispol'zovaniya vozobnovljajemykh istochnikov jenerгии* [Improving the efficiency of heat supply systems based on the use of renewable energy sources]. The dissertation of Doctor of Technical Sciences on specialty No. 05.14.08. Moscow. 2004. 297 p. [In Russian]
11. K.A. Kurdjumova, A.P. Kuratenko. *Opyt jekspluatacii teplonasosnoj stancii pansionata "Druzhba"* [Operating experience of the heat pump station of the "Druzhba" boarding house]. *Holodil'naja tehnika* ["Refrigeration equipment"]. 1991. No. 11. Pp. 2–4. [In Russian]
12. *Metodicheskie ukazaniya po primeneniju teplovykh nasosov dlja ispol'zovaniya nizkopotencial'noj teploty v sistemah teplosnabzheniya* [Guidelines for the use of heat pumps for the use of low-grade heat in heat supply systems]. Moscow. VNIPInergoprom [All-Union Scientific Research Design Institute of the Energy Industry (VNIPInergoprom)]. 1986. [In Russian]
13. *Rekomendacii po tehniko-jekonomicheskomu obosnovaniju primeneniya netradicionnykh i solnechno-teplonasosnykh sistem teplohododsnabzheniya na grazhdanskih i promyshlennykh ob'ektakh* [Recommendations for a feasibility study for the use of non-traditional and solar heat pump systems for heat and cold supply at civil and industrial facilities]. *Gosgrazhdanstroj* [State Committee for Civil Engineering and Architecture under the USSR State Committee for Construction (Gosgrazhdanstroj)]. Moscow. CNIIJePIO [Central Research Institute for Experimental Design of Engineering Equipment of the USSR]. 1987. [In Russian]
14. Ju.M. Petin. *Opyt desjatiletnego proizvodstva teplovykh nasosov v ZAO "Jenergiya"* [Ten-year experience in the production of heat pumps at "An energy", CJSC]. *Jenergeticheskaja politika* ["An energy policy" Magazine]. 2001. No. 1. Pp. 28–34. [In Russian]
15. S.L. Elistratov. *Kompleksnye issledovaniya jeffektivnosti teplovykh nasosov* [Comprehensive studies of the efficiency of heat pumps]. The dissertation of Doctor of Technical Sciences on specialty No. 01.04.14. Novosibirsk. 2010. 383 p. [In Russian]
16. V.G. Gorshkov, A.G. Pazdnikov, D.G. Muhin, R.V. Sevast'janov. *Promyshlennyj opyt i perspektivy ispol'zovaniya otechestvennykh absorbcionnykh bromistolitovykh holodil'nykh mashin i teplovykh nasosov novogo pokoleniya* [Industrial experience and prospects of using domestic absorption lithium bromide refrigerating machines and heat pumps of a new generation]. *Holodil'naja tehnika* ["Refrigeration equipment"]. 2007. No. 8. Pp. 23–29. [In Russian]
17. D.G. Zakirov. *Teplovye nasosy — teplotransformatory na sluzhbe jekologii i jenergojeffektivnosti* [Heat pumps — heat transformers at the service of ecology and energy efficiency]. Permian. *Pechatnyj salon "Garmonija"* ["Harmony" Printing Salon]. 2014. 424 p. [In Russian]
18. V. Rajh. *Specifika ispol'zovaniya teplovykh nasosov v Rossii: klimat, jekspluatacii, uslovija* [Specificity of using heat pumps in Russia: climate, operation, conditions]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2006. No. 3. Pp. 66–70. [In Russian]
19. V.A. Butuzov, R.A. Amerhanov, O.V. Grigorash. *Geotermal'noe teplosnabzhenie v Rossii* [Geothermal heat supply in Russia]. *Teplojenergetika* ["Heat power engineering" Magazine]. 2020. No. 3. Pp. 3–14. [In Russian]
20. A.B. Alhasov, M.G. Alishaev, D.A. Alhasova, A.G. Kajmarazov, M.M. Ramazanov. *Osvoenie nizkotemperaturnogo geotermal'nogo tepla* [Development of low-temperature geothermal heat]. Moscow. Fizmatlit [Publishing house of physical, mathematical and technical literature ("Physmathlit")]. 2012. [In Russian]
21. *Rukovodstvo po primeneniju teplovykh nasosov s ispol'zovaniem vtorichnykh jenergeticheskikh resursov i netradicionnykh vozobnovljajemykh istochnikov jenerгии* [Guidelines for the use of heat pumps using secondary energy resources and non-traditional renewable energy sources]. Moscow. OAO "Insolar-Invest" ["Insolar-Invest", OJSC]; UPPN Moskomarhitektury [The Department of Advanced Design and Standards of the Moscow Committee for Architecture and Construction]. 2001. [In Russian]
22. *Rynok vozobnovljajemoj jenergetiki Rossii: tekushhij status i perspektivy razvitiya (ijul' 2021). Inf. bjull.* [Renewable energy market in Russia: current status and development prospects (July 2021). Newsletter]. Moscow. ARVJe [Russia Renewable Energy Development Association]. 2021. 36 p. [In Russian]