

Theoretical and Applied Heating Engineering
Теоретическая и прикладная теплотехника

EDN: JMRZCM

УДК 620.9:502.174.3(517.3)

**Thermophysical Aspects of the Use
of Renewable Energy Resources for Power Supply
of Buildings Under the Climatic Conditions of Mongolia**

Sereeter Batmunkh* and Khaliunaa Burtjin
Mongolian State University Science and Technology
Ulaanbaatar, Mongolia

Received 14.11.2021, received in revised form 21.12.2021, accepted 21.02.2022

Abstract. Currently, the energy sector, including municipal energy, consumes a significant amount of primary and renewable energy resources. As a result, it is a significant source of the release of the corresponding amount of greenhouse gases and low-potential thermal emissions into the environment. This aspect of the negative impact of public energy will continue until we change the general and methodological approach to the problems of energy supply to buildings and household facilities and energy supply in general. One of the new approaches in this case can be called the use for these purposes of ubiquitous renewable energy resources, such as solar energy, its derivative – wind energy and other types of low-potential thermal energies of the environment. This approach, in general, is not new, but nevertheless there are a number of problems associated with their energy intensity, the principle and method of transformation and the scale of application. This paper touches upon some natural-climatic, energy and thermophysical aspects of the problems on the example of Mongolia, gives brief characteristics of the sharply continental climatic conditions of Mongolia, solar and geothermal energy resources. The energy and thermophysical aspects of the use of renewable energy resources in a cold climate and a map of the zoning of the territory of Mongolia according to the “degree-day” of heating and the results of some computational and experimental studies on the use of solar and geothermal heating of buildings are presented. In order to assess the efficiency of solar and geothermal heat supply, the report puts forward the ratio of the number of degree-days of heating and the arrival of total solar radiation per year for a given area as an indicator. In accordance with the zoning map of the territory of Mongolia, according to the efficiency of the use of solar heating of buildings, four zones are identified.

Keywords: solar energy, geothermal energy, number of degree-days of heating, energy-climatic efficiency index, territory zoning, solar and geothermal heating, application.

Acknowledgments. The article is written on the basis of the report of the authors made at the I All-Russian Scientific Conference with international participation «Yenisei Thermal Physics – 2023», held on March 28–31, 2023 at the Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russian Federation).

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: batmunkh_acad@yahoo.com



Теплофизические аспекты использования возобновляемых энергетических ресурсов для энергоснабжения зданий в климатических условиях Монголии

С. Батмунх, Х. Буртжин

*Монгольский государственный университет
науки и технологий
Монголия, Улан-Батор*

Аннотация. В настоящее время энергетика, в том числе коммунальная энергетика, потребляет значительное количество первичных и воспроизведенных энергетических ресурсов. Вследствие чего она является значимым источником выделения соответствующего количества парниковых газов и низкопотенциальных тепловых выбросов в окружающую среду. Этот аспект негативного влияния коммунальной энергетики сохранится до тех пор, пока мы не изменим общего и методического подхода к проблемам энергоснабжения зданий и коммунально-бытовых объектов и энергоснабжения вообще. Одним из новых подходов при этом может быть названо применение для указанных целей повсеместно присутствующих возобновляемых энергетических ресурсов, таких как солнечная энергия, ее производная – ветровая энергия и другие виды низкопотенциальных тепловых энергий окружающей среды. Этот подход, в общем-то, не новый, но тем не менее здесь имеется целый ряд проблем, связанных с их энергетической интенсивностью, принципом и способом преобразования и масштабом применения. В данной работе затронуты некоторые природно-климатические, энергетические и теплофизические аспекты проблем на примере Монголии, даны краткие характеристики резкоконтинентальности климатических условий Монголии, ресурсов солнечной и геотермальной энергии. Приведены энергетические и теплофизические аспекты использования возобновляемых энергоресурсов в условиях холодного климата, карта зонирования территории Монголии по градус-дню отопления и результаты некоторых расчетных и экспериментальных исследований по применению солнечного и геотермального обогрева зданий. В докладе для оценки эффективности солнечного и геотермального теплоснабжения в качестве показателя выдвинуто соотношение числа градус-дня отопления и прихода суммарной солнечной радиации за год для данной местности. В соответствии с картой зонирования территории Монголии по эффективности использования солнечного отопления зданий выделены четыре зоны.

Ключевые слова: солнечная энергия, геотермальная энергия, число градус-дня отопления, энергоклиматический показатель эффективности, зонирование территории, солнечный и геотермальный обогрев, применение.

Благодарности. Статья написана на основе доклада авторов, сделанного на I Всероссийской научной конференции с международным участием «Енисейская Теплофизика – 2023», проходившей в 28–31 марта 2023 г. в Сибирском федеральном университете (г. Красноярск, Российская Федерация).

Цитирование: Батмунх С. Теплофизические аспекты использования возобновляемых энергетических ресурсов для энергоснабжения зданий в климатических условиях Монголии / С. Батмунх, Х. Буртжин // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2023, 16(4). С. 392–403. EDN: JMRZCM

Природно-климатические условия Монголии

Территория Монголии находится в центре Азиатского континента и отдалена от морей и океанов. Она отличается суровыми климатическими условиями, которые выражаются большой амплитудой колебаний температуры наружного воздуха как в суточном, так и годовом разрезе. В отопительный период разница между максимальной дневной и минимальной ночной температурами достигает от 9 до 16 °С. Эта разница не снижается до конца отопительного сезона и даже в апреле, когда на территории страны происходит такое значимое синоптическое явление, как смена зимнего антициклона на летний циклон, она также превосходит 10–12 °С. Март и апрель являются самыми ветренными месяцами года. В осенние и весенние месяцы в гористых местах нередко наблюдается внезапное похолодание. В этих местах плюсовая температура стоит около 70 дней в году. На других местностях территории годовая продолжительность плюсовой температуры составляет 90–130 дней. Годовая разность температур между средними крайними ее значениями доходит до 80 °С. Температура наружного воздуха в течение восьми месяцев наиболее холодного сезона держится в диапазоне от –20 до –40 °С. Температура наружного воздуха выше +10 °С в высокогорных районах удерживается 90 дней и меньше, а в степных районах такая температура сохраняется в течение 130–150 дней, в пустыне Гоби более 150 дней в году. В лесных и лесостепных районах она продолжается 90–130 дней [1]. В качестве примера на рис. 1 показана карта распределения среднемесячной температуры наружного воздуха территории Монголии для января.

В Монголии, где наблюдаются небольшое количество осадков и незначительная влажность воздуха, для оценки ее климатических условий наиболее подходящим является индекс А. А. Борисова, в расчете которого учитывается влияние амплитуды суточной температуры холодного времени года и годового хода температуры.

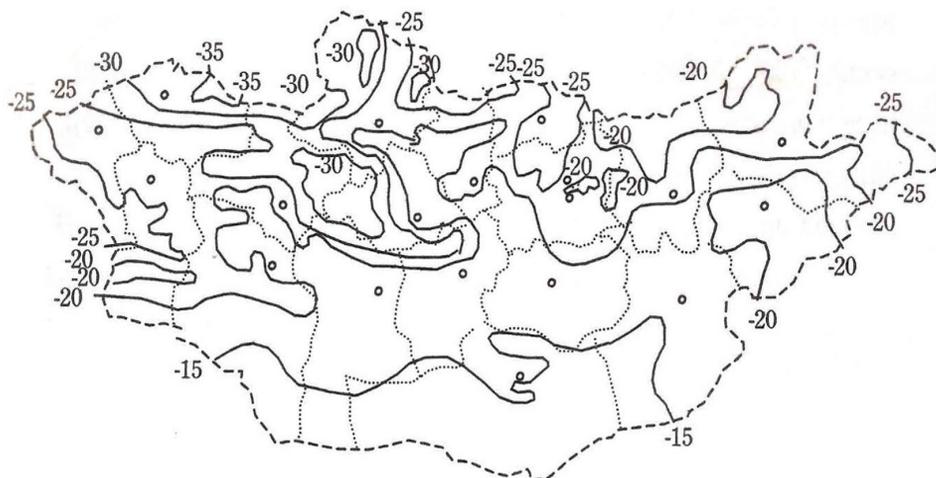


Рис. 1. Распределение среднемесячной температуры (январь)

Fig. 1. Distribution of average monthly temperature (January)

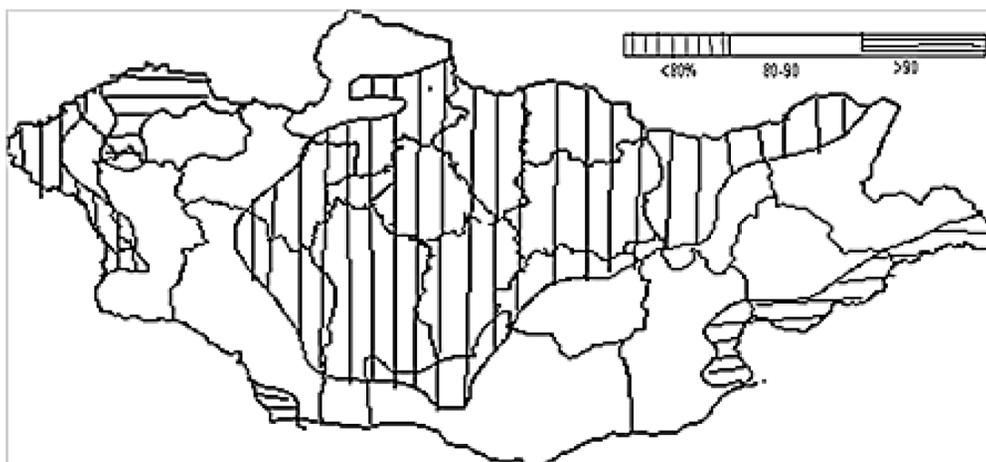


Рис. 2. Карта зонирования территории Монголии по континентальности климата, %

Fig. 2. Zoning map of the territory of Mongolia by continentality of climate, %

Рассчитанный таким образом индекс континентальности климата находится в пределах 70–91 %, что позволяет отнести Монголию к стране с резко континентальными климатическими условиями. При детальном рассмотрении последних можно выделить (рис. 2) три субклиматические зоны в зависимости от рельефа местности: континентальную (I), резко континентальную (II) и сугубо резко континентальную (III).

Продолжительность отопительного периода на всей территории Монголии составляет более 178 дней, при этом на ее значительной части 200 дней и больше. Например, для г. Улан-Батора она равна 223 дням [2].

Характеристика гелиоэнергетического потенциала территории Монголии

Годовой приход суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность для территории Монголии, находится в пределах от 1500 до 2200 кВт·ч/м² (рис. 3). Значения прямой солнечной радиации, падающей на перпендикулярную к лучам солнца поверхность, которые применяются для расчета и обоснования использования солнечных энергетических установок, составляют 2800–3000 кВт·ч/м² [3].

Геотермальные ресурсы Монголии

Плотность геотермального теплового потока в Монголии находится в пределах от 30 до 110 мВт/м² и для большинства ее территорий – 60–80 мВт/м², что можно считать достаточным для использования в теплоэнергетических целях. Среднее значение этого показателя для суши оценивается в 65 мВт/м², для мирового океана – 101 мВт/м² [4]. По данным исследований геотермального потока, проведенных на всех участках земного шара (между 71° северной и южной широты), его среднее значение оценивается в 55 мВт/м² [5].

Карта распределения ресурсов геотермальной энергии на территории Монголии приведена на рис. 4 в виде изолиний плотностей теплового потока. А места расположений геотермальных

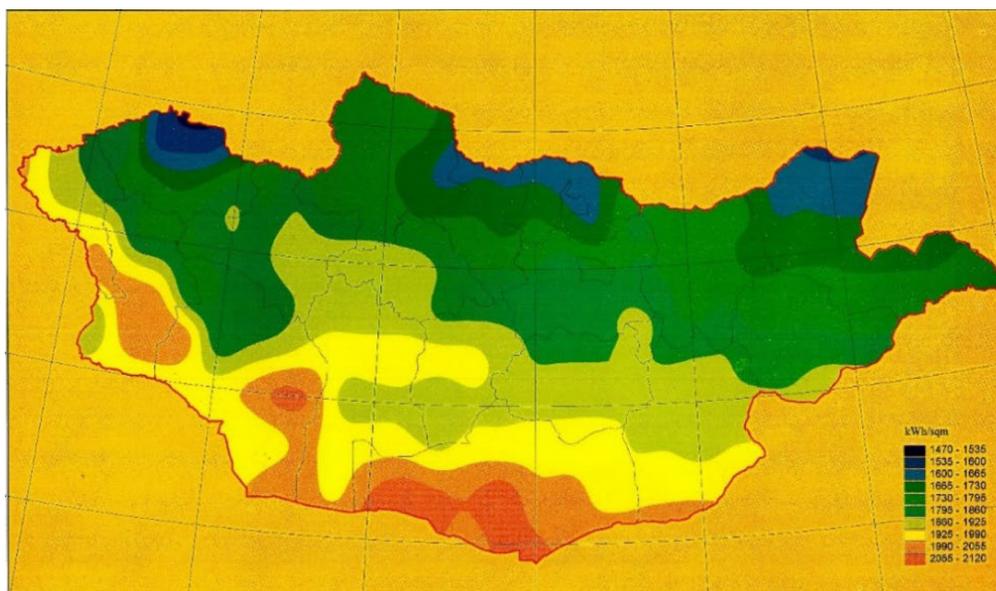


Рис. 3. Годовой приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м²

Fig. 3. Annual arrival of total solar radiation on a horizontal surface, kWh/m²

источников в виде горячей воды сосредоточены в основном в центральной зоне страны между 45° и 49° с.ш. На рис. 3 выделены расположения этих источников. Территории с наибольшими значениями геотермального потенциала расположены в Хангайском горном районе, где особо выделяется Хэрлэн-Аргунский район.

По геотермическим градиентным тепловым потокам территории страны разделены на 5 зон, а именно: I. Селенга-Яблоновая; II. Монгольско-Трансбайкальская; III. Хэрлэн-Аргунская; IV. Южно-Монгольская; V. Монгол-Алтайская. Следует отметить, что параметры термальной воды зависят от выбора места, глубины ее извлечения и дальности транспортировки теплоносителя до потребителя. Важным параметром, характеризующим термодинамическую эффективность термального источника, является градиент изменения температуры на каждые 100 м глубины, что весьма важно для организации теплоснабжения локальных и рассредоточенных потребителей.

Современные вызовы исследования по использованию ВЭС для теплоснабжения

В связи с холодными климатическими условиями теплоснабжение в стране обладает высокой социальной и экономической значимостью. Основным видом топлива, применяемым в теплоэнергетике Монголии, в настоящее время является уголь. Около 85 % внутреннего потребления угля приходится на ТЭЦ, а оставшаяся часть угля используется для производства тепловой энергии в котельных и бытовых печах.

Поэтому в связи с современными вызовами, диктуемыми экологическими требованиями, возникает необходимость поиска альтернативных подходов к вопросам теплоснабжения, реализация которых позволяет его трансформацию с учетом современных технологических решений и достижений в области теплоэнергетики, и в соответствии с этим разработать новую концепцию

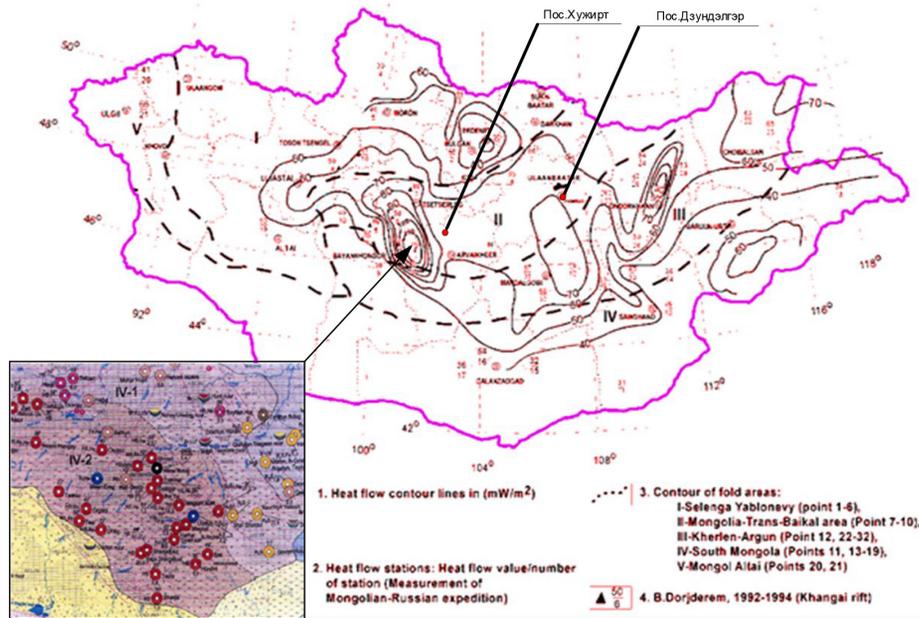


Рис. 4. Районирование территории Монголии по геотермальному потенциалу

Fig. 4. Zoning of the territory of Mongolia according to geothermal potential

и программы развития теплоснабжения Монголии. Причем это должно выполняться на современной научно-методической основе с применением методов оптимизации и эффективного развития всего теплового хозяйства страны.

Из-за климатических условий для повышения эффективности теплоснабжения здания необходимо прежде всего пересмотреть соответствующие требования энергоэкономичности – годовая теплотеря не должна превышать хотя бы 100 кВт/м²·год. Это может быть обеспечено за счет увеличения термических сопротивлений внешних ограждающих конструкций зданий. Для зданий, использующих солнечное отопление, этот показатель должен быть еще меньше, допустим, не более 40–70 кВт/м²·год.

С другой стороны, в общем случае основным энергоклиматическим показателем, учитывающим целесообразность применения солнечной энергии для отопления помещения при конкретных климатических условиях, здесь является соотношение (θ) годового прихода суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (Q) и годовых теплотерь зданий, характеризуемых градус-днем отопления ($HDD-T$) местности:

$$\theta = Q / T, \quad (1)$$

где Q – годовой приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, кВт·ч/м²; T – число градус-дня отопления, °С.

На основе обработки метеоданных нами получена карта распределения градус-дня отопления (T), который характеризует теплотребление зданий на обогрев для климатических условий местности и показывает суммарную продолжительность разности стандартной (опорной) температуры помещения и температуры наружного воздуха за отопительный сезон, рассчитанной

с учетом ее суточного изменения. При определении T в качестве опорной температуры воздуха внутри помещения принималось значение $18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$. На основе чего были рассчитаны значения соотношения θ по формуле (1), представляющего собой некоторый показатель эффективности применения солнечного отопления зданий для всех населенных пунктов страны.

Территория Монголии расположена между 41° и 51° с.ш., и при переходе от севера на юг годовые значения T уменьшаются, а приход суммарной солнечной радиации Q увеличивается, что указывает на повышение эффективности применения солнечного отопления зданий. Нами рассчитывались показатели (1) для 275 населенных пунктов страны, и в качестве примера на рис. 5 приведена карта, на которой по отдельным пунктам отмечены значения θ . Здесь же желтыми линиями показаны изолинии годовых значений суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, для значений 1200, 1300, 1400, 1500 и 1600 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$.

По этим показателям (т.е. значениям θ) на территории Монголии выделены четыре зоны. Для первой зоны значения показателя находятся в пределах $\theta = 0,164\text{--}0,194$ и их средневзвешенное значение составляет $\theta = 0,180$. Здесь применение солнечного отопления сопровождается значительным капвложением, связанным с суточным и сезонным аккумуляциями солнечной энергии и теплонасосной поддержкой. Во второй зоне – $\theta = 0,201\text{--}0,249$, и их среднее значение – $\theta = 0,222$. Здесь с приемлемыми дополнительными затратами можно использовать солнечный обогрев зданий. Третья зона с $\theta = 0,253\text{--}0,290$ (в среднем $\theta = 0,270$) представляет интерес для внедрения системы солнечного отопления зданий как с экологической, так и с экономической точки зрения. А четвертая зона с $\theta = 0,300\text{--}0,361$ соответствует южным регионам страны, где наблюдается сравнительно повышенная среднегодовая температура окружающей среды. Поэтому здесь целесообразно применение солнечной энергии, и это сопровождается приемлемыми затратами.

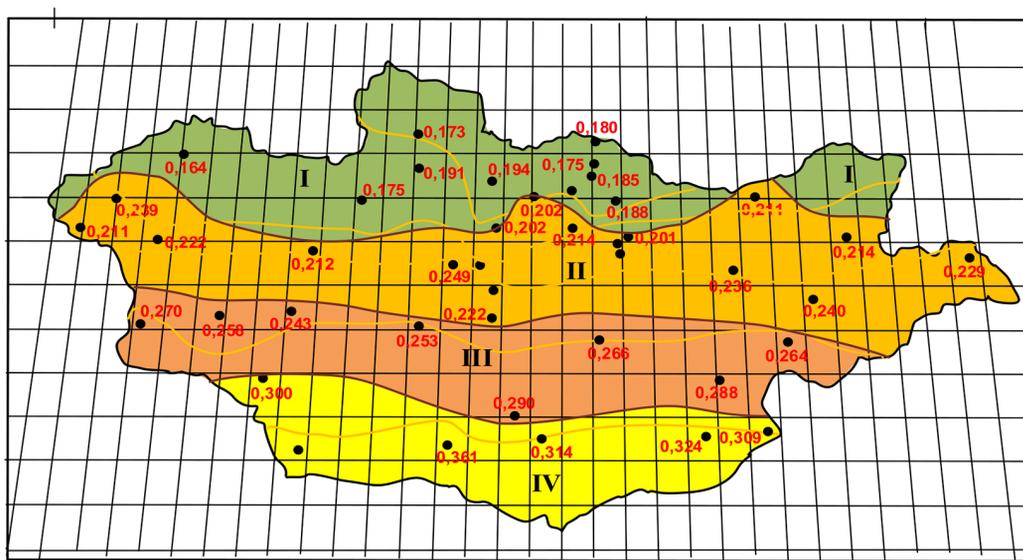


Рис. 5. Зонирование территории Монголии по эффективности использования солнечной энергии для обогрева зданий

Fig. 5. Zoning of the territory of Mongolia in terms of efficiency using solar energy to heat buildings

Следует отметить, что вертикальная установка солнечных коллекторов на южном фасаде здания для гелиосистем, используемых преимущественно в холодное время года в условиях северных широт (например $41\text{--}51^\circ$ с.ш., в пределах которых расположена территория Монголии), где наблюдается низкая высота солнца, является наиболее эффективной. Также наши расчеты, проделанные для 48° с.ш., на которой расположен г. Улан-Батор, это подтверждают (рис. 6). Поэтому нами в расчетах теплоснабжения здания школы принималась теплопроизводительность солнечного приемника с таким расположением.

Здесь в качестве примера рассмотрены данные, полученные для здания средней школы на 320 мест, находящегося в условиях II зоны. Согласно типовому проекту приведенная к площади пола расчетная теплотеря двухэтажного здания школы с площадью основания (по осям стен) $48,0 \times 48,6 \text{ м}^2$ с имеющимся открытым местом в центре площадью $18 \times 18,6 \text{ м}^2$ в плане (расчетная площадь пола $3662,1 \text{ м}^2$) и высотой стены ($H = 7,75 \text{ м}$) с учетом теплоты на нагрев воздуха, поступающего инфильтрацией, и воздухообмена при расчетной температуре местности $-35,4^\circ\text{C}$ составляла $101,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. С целью иллюстрирующего применения солнечного теплоснабжения нами предприняты мероприятия по уменьшению теплотеря здания путем дополнительного утепления его наружных ограждающих конструкций и утилизации отбросной теплоты при воздухообмене. При этом расчетные теплотребления на отопление значительно снизились и годовое (за отопительный сезон) потребление теплоты, необходимое для покрытий тепловых потерь через ограждающие конструкции и с воздухообменом здания, составляет $151692,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$, что соответствует теплотерям $41,4$ (~ 40) $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$, включая горячее водоснабжение, общее теплотребление школы – $225088,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$. Тогда удельное теплотребление составляет $61,5$ (~ 60) $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$.

Южный фасад здания оборудован плоскими солнечными коллекторами, и на его крыше дополнительно установлены коллекторы, предназначенные преимущественно для приго-

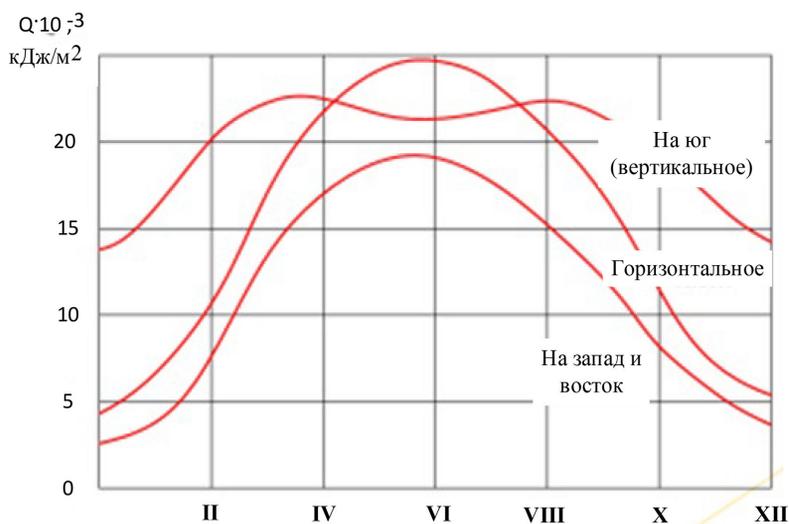


Рис. 6. Годовой приход суммарной солнечной радиации на поверхности с различной ориентацией для 48° с.ш. (г. Улан-Батор)

Fig. 6. Annual arrival of total solar radiation on surfaces with different orientations for 48° N. Sh. (Ulaanbaatar)

товления горячей воды. Теплопроизводительность системы солнечного обогрева составляет 280000,0 кВт·ч/год, что по балансу достаточно для покрытия тепловых нужд школы. Ходы изменения основных теплотехнических показателей здания и его гелиосистемы за отопительный период показаны в табл. 1.

Отсюда можно увидеть, что в зимние месяцы наблюдаются недостатки солнечной теплоты для покрытия тепловых нужд школы. При непрерывной работе системы солнечного отопления в осенние и весенние месяцы выполняется суточный баланс между тепловой производительностью солнечных коллекторов и расходами тепловой энергии, необходимыми для покрытия теплопотерь здания. В зимний период образуется дефицит тепловой энергии для горячего водоснабжения, поэтому целесообразно использование аккумуляторов с повышенной суммарной емкостью, которые позволяют запастись избыточную тепловую энергию за несколько дней для последующего теплопотребления. Также это разрешимо наряду с суточным аккумулятором и путем применения более длительного (сезонного) аккумуляирования тепловой энергии.

В Хангайском регионе, например в Архангайском аймаке Монголии (см. рис. 4), имеются предпосылки перевода теплоснабжения от котельных на органическом топливе на теплоснабжающие станции, работающие от геотермальной энергии, где дебиты термальных источников значительно превышают потребности в энергоснабжении региона [6]. К примеру, можно упомянуть о том, что в 90-х годах прошлого века нами (Институтом теплотехники и промышленной экологии МГУНТ) было переведено теплоснабжение курортного комплекса “Хужирт” (см. на рис. 4), находящегося в одноименном поселке, на горячую воду подземного источника.

Для практической проверки возможности применения геотермальной энергии для теплоснабжения потребителей нами был создан экспериментальный дом-стенд, оборудованный теплонасосной системой, источником которой является тепловая энергия глубинного грунта местности. В качестве стенда использовалось здание, первоначально предназначенное для детского сада, оно находится в пос. Дзундэлгэр вблизи г. Зуунмод, центра Центрального аймака (см. на рис. 4), расположенного на расстоянии около 50 км от г. Улан-Батора.

Здание двухэтажное, построенное из кирпича, с внешним объемом 3304 м³, имеет площадь пола 1120 м². Толщина стен 640 мм. Потолочное перекрытие из бетонной плиты, площадь кры-

Таблица 1. Теплопроизводительность гелиосистемы и тепловой баланс здания по месяцам отопительного периода, кВт·ч

Table 1. Heat output of the solar system and heat balance of the building by months of the heating period, kWh

Показатель	Месяц						
	X	XI	XII	I	II	III	IV
Теплопроизводительность гелиосистемы	1373,3	1064,7	947,0	1031,7	1275,6	1537,2	2103,7
Теплопотребление здания на отопление	398,5	732,9	968,2	1030,8	923,6	645,8	356,6
Горячее водоснабжение	282,9	282,9	282,9	282,9	282,9	282,9	282,9
Общее теплопотребление школы	681,4	1015,8	1251,1	1313,7	1206,5	928,7	639,5
Суточный баланс тепловой энергии (+/-)	+691,9	+48,9	-304,1	-282,0	+69,1	+608,5	+1464
Баланс тепловой энергии за месяц (+/-)	+20797	+1516	-9123	-8742	+2142	+17038	+43920

ши 560 м². Имеет 56 окон, ориентированных по всем четырем сторонам света. При оборудовании теплонасосной системой для уменьшения теплопотерь здания старые окна с деревянными переплетами заменены на новые с переплетами из полистирола и двухслойным остеклением.

Расчетная отопительная температура для г. Зуунмод –39 °С, средняя температура и продолжительность отопительного сезона –7,3 °С и 5800 ч в год соответственно. При комнатной температуре, равной $T_{\text{т}}^{cp} = 22$ °С, максимальная мощность теплопотери здания составляет 83,6 кВт, годовая потребность тепловой энергии для его обогрева – 208,7 МВт·ч. Здание первоначально спроектировано по стандартным строительным нормативам и оборудовано обычными отопительными приборами, соединенными по двухтрубной схеме с принудительной циркуляцией теплоносителя от топливной котельной. При замене котельной геотермальной станцией теплоснабжения были сохранены все отопительные приборы и их схемы соединения к абонентскому вводу.

Созданная система использования геотермальной энергии состоит из 24 скважин глубиной 100 м, расположенных в 4 ряда, с вмонтированными в них трубами диаметром 150 мм, расстояние между скважинами 8 м. Площадь поля забора тепловой энергии 48 x 24 м. Глубинный теплообменник выполнен в виде двух параллельных U-образных труб, находящихся в защитном чехле, выводы которых полиэтиленовыми трубками соединены с общими коллекторами подвода и отвода теплоносителя к теплонасосной установке. Эта часть образует первый контур принудительной циркуляции низкопотенциального теплоносителя, который оборудован самостоятельным циркуляционным насосом. Второй контур соединяет теплонасосную установку с последовательно связанными резервуарами воды и отдает высокопотенциальную энергию им. В резервуарах установлены электронагреватели как дублирующий тепловой источник.

Центр Центрального аймака г. Зуунмод расположен на территории Монгольско-Трансбайкальской зоны (II), где проходит изолиния плотности геотермального теплового потока, равная 70 мВт/м². Предположительный теплоотвод с одного погонного метра глубинного теплообменника составит 45 Вт. В табл. 2 в качестве примера показаны параметры работы отопительной системы помещения в зимний период. Эта система удовлетворительно работает до сих пор.

По результатам практической эксплуатации теплонасосной установки можно сделать вывод, что в районах средней плотности геотермального потока возможно экономически оправданное использование теплонасосной установки системы «грунт» для отопления зданий.

Применение теплонасосной установки положительно влияет на экологическую обстановку в городах и местах расположения санаториев, курортов, домов отдыха и туристических баз, а также объектов на особо охраняемых природных территориях. Подобные проекты будут способствовать снижению загрязнения атмосферного воздуха в отопительные сезоны на урбанизированных территориях.

Таблица 2. Параметры работы отопительной системы и помещения в зимний период

Table 2. Operating parameters of the heating system and premises in winter

Показатель	Дата и часы			
	23. 11.2010 15:49	02.12.2010 14:35	08.12.2010 13:47	10.12.2010 17:02
Температура, °С				
- наружного воздуха	-12,8	-10,3	-7,9	-16,1
- теплоносителя первого контура, подающего в глубинный теплообменник	-2,7	-3,1	-3,6	-3,4
- теплоносителя, нагретого в теплообменнике	+1,8	+1,6	+1,6	+1,7
- теплоносителя от солнечного коллектора	+40	+48,6	+46,7	+42,5
- теплоносителя, подающего в систему обогрева – помещения	+53,6	+58,2	+54,4	+49,2
теплоносителя, поступающего от системы обогрева – помещения	+42,1	+46,6	+42,5	+37,4
комнатная	+23 °С	+23 °С	+23 °С	+23 °С
Давление, бар				
- в первом контуре	2,5	2,5	2,5	2,5
- системы обогрева	2,1	2,1	2,0	2,0

Заключение

1. Монголия обладает достаточными возобновляемыми энергетическими ресурсами в виде солнечной и геотермальной энергий.

2. Несмотря на резкоконтинентальность климата, представляет практический интерес использование возобновляемых энергетических ресурсов для теплоснабжения административных и коммунальных объектов.

3. Территория Монголии зонирована по показателям эффективности применения солнечной энергии, которые выражаются отношением суммарной солнечной радиации на горизонтальной поверхности и отопительного градус-дня, и при этом выделены 4 зоны. Для I и II зон использование солнечного отопления сопровождается дополнительными затратами, связанными с ее суточными и в отдельных случаях сезонными аккумуляциями. А для III и IV зон использование солнечного отопления является целесообразным и эффективным.

4. Рассмотренные примеры иллюстрируют возможность применения солнечного и геотермального теплоснабжения для наиболее крупных объектов в сельских местностях, таких как для здания средней школы и детского сада. Для мелких потребителей без особой сложности могут применяться более простые способы и схемы солнечного и геотермального теплоснабжения.

Список литературы / References

- [1] Бадарч Н. *Климат Монголии*. Улаанбаатар, Госиздат, 1977. 120 с. [Badarch N. *Climate of Mongolia*. Ulaanbaatar, Gosizdat, 1977. 120 p. (in Rus.)].
- [2] *Климатические характеристики МНР*, Справочник. Том II. УГиМ при СМ МНР. 1971. 339 с. [*Climatic characteristics of the Mongolian People's Republic*, Handbook. Volume II. UGiM at the SM of the MPR. 1971. 339 p. (in Rus.)].
- [3] Батдэлгэр Д. *Атлас солнечной радиации территории Монголии*. АНМ: ФТИ. Улан-Батор, 2010. 148 с. [Batdelger D. *Atlas of solar radiation of the territory of Mongolia*. ANM: FTI. Ulaanbaatar, 2010. 148 p. (in Rus.)].
- [4] Heat flow from the earth's interior: Analysis of the global data set. *Reviews of Geophysics*, 31, 3/August, 1993. 267–280.
- [5] Голованова И. В. *Тепловое поле Южного Урала*; ред. В. Н. Пучков; Ин-т геологии Уфим. НЦ РАН. М., Наука, 2005. 189 с. [Golovanova I. V. *Thermal field of the Southern Urals*; ed. V. N. Puchkov; Institute of Geology Ufim. NC RAS. M., Nauka, 2005. 189 p. (in Rus.)].
- [6] *Энергетическое сотрудничество России и Монголии: современное состояние, взгляд в будущее*; ред. Б. Г. Санеев и С. Батмунх. ИСЭМ им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Акад. наук Монголии, Монгольский государственный университет науки и технологий. Иркутск – Улан-Батор, 2021. 346 с. [*Energy cooperation between Russia and Mongolia: current state, a look into the future*; ed. B. G. Saneev and S. Batmunkh. ISEM them. L. A. Melentiev SB RAS, Acad. Sciences of Mongolia, Mongolian State University of Science and Technology. Irkutsk – Ulaanbaatar, 2021. 346 p. (in Rus.)].