



Qishloq namunaviy uylarining gibridd issiqlik ta'minoti tizimini modellashtirish

Gulom N. Uzoqov¹, Vladimir A. Sednin², Bobir M. Toshmamatov^{1, a)}, Behzod I. Kamolov^{1, b)}

¹ DSc, prof., Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, 180100, O'zbekiston; uzoqov66@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7386-8075>

² DSc, prof., Belarus milliy texnika universiteti, Minsk, Belarus; bntu@bntu.by

^{1, a)} Katta o'qituvchi, Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, 180100, O'zbekiston; bobur160189@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7051-5307>

^{1, b)} Doktorant, Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, 180100, O'zbekiston; behzod0288@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-2119-3010>

Dolzarbli. ushbu maqolada namunaviy qishloq uyining gibridd isitish tizimi (GIT) o'rganilgan bo'lib, u an'anaviy isitish tizimi va qozon qurilmasidan (QQ) iborat isitish, elektr suv isitgichli issiq suv ta'minoti (IST) va qayta tiklanadigan energiya manbalari (QTEM) asosidagi (INQ, QK) kombinatsiyalashgan tizimdan iborat. Taklif qilingan GITda asosiy QTEM asosidagi energiya qurilmalari sifatida bug' kompressorli issiqlik nasosi (BKIN) va quyosh kollektoridan (QK) foydalaniladi. INQ ning asosiy issiqlik-texnik parametrlariga issiqlik ishlab chiqarish va isitish koeffitsiyenti kiradi, quyosh kollektorida esa muhim ko'rsatkich issiqlik ishlab chiqarish va kollektorning samaradorligi (FIK) hisoblanadi. Ushbu parametrlarni aniqlash uchun namunaviy qishloq uyining GIT energiya balansini tenglamasi taklif qilingan.

Maqsad: an'anaviy qozon qurilmali (QQ) isitish tizimi, issiq suv ta'minoti (IST), elektr suv isitgichi (ESI) va qayta tiklanadigan energiya manbalari (INQ va QK) ning kombinatsiyasidan iborat bo'lgan namunaviy qishloq uyining gibridd issiqlik ta'minoti tizimini (GITT) modellashtirish va tadqiqot qilishdan iborat.

Usullar: tadqiqot ishida matematik modellashtirish usullari, issiqlik texnikasining nazariy asoslari, o'xshashlik nazariyasi, issiqlik uzatish jarayonlarini eksperimental tadqiqot qilish va eksperimental natijalarni umumlashtirish usullaridan foydalanilgan.

Natijalar: taklif qilingan matematik model (1) namunaviy qishloq uyi uchun GIT ishlab chiqarish va iste'mol qilish, shuningdek tizimning asosiy qurilmalarining har bir soatlik ishlashidagi issiqlik va elektr energiyasi parametrlarini olish imkonini beradi. Qashqadaryo viloyatida qurilgan namunaviy qishloq uylarining issiqlik balansini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, 144 m² isitish maydoni va 432 m³ isitish hajmiga ega namunaviy qishloq uyida isitish tizimining o'rtacha issiqlik yuklamasi 13,8÷4,0 kVt, sovutish tizimiga 10,1 kVt, issiq suv ta'minoti tizimiga esa 1,3 kVtni tashkil qiladi. INQ asosidagi GIT ning energiya samaradorligi hisob-kitoblarimizga ko'ra 57÷60% ni tashkil etadi, ya'ni INQ ni namunaviy qishloq uylarining isitish tizimlarida qo'llash, isitish mavsumida an'anaviy yoqilg'i sarfini 1,57÷1,60 barobar kamaytiradi. 144 m² maydonga ega namunaviy qishloq uyi isitish davrida INQni qo'llash 1900 m³ tabiiy gazni tejashga imkon beradi. Isitish davrida tabiiy gazning o'rtacha sarfi 3300÷4000 m³ bo'lsa, gazni tejash miqdori 57÷48% ni tashkil qiladi. QK qo'llash esa 33÷27% gazni tejashga olib keladi, "INQ+QK" kombinatsiyalashgan GIT da esa yoqilg'ini tejash miqdori 75÷90% gacha yetadi.

Kalit so'zlar: gibridd issiqlik ta'minoti tizimi, parokompression issiqlik nasosli uskuna, quyosh kollektori, energetik balans, issiqlik energiyasi, issiqlik balansini, issiqlik yuklamasi.

For citation: G.N. Uzakov, V.A. Sednin, B.M. Toshmamatov, B.I. Kamolov. Modeling of a hybrid heat supply system for typical rural houses. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 4, pp. 132-140.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14580513>

Received: 24.10.2024

Revised: 19.11.2024

Accepted: 12.12.2024

Published: 27.12.2024

Copyright: © Gulom N. Uzakov, Vladimir A. Sednin, Bobir M. Toshmamatov, Behzod I. Kamolov, 2024. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Моделирование гибридной системы теплоснабжения типовых сельских домов

Гуллом Н. Узаков¹, Владимир А. Седнин², Бобир М. Тошмаматов^{1, a)}, Бехзод И. Камолов^{1, b)}

¹ д.т.н., проф. Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, 180100, Узбекистан; uzoqov66@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7386-8075>

² д.т.н., проф. Белорусский национальный технический университет, г.Минск, Беларусь; bntu@bntu.by

^{1, a)} Старший преподаватель. Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, 180100, Узбекистан; bobur160189@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-7051-5307>

^{1, b)} Докторант. Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, 180100, Узбекистан; behzod0288@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-2119-3010>

Актуальность: в данной статье исследована гибридная система теплоснабжения (ГСТ) типового сельского дома, которая состоит из сочетаний традиционной системы отопления с котельной установкой (КУ), ГВС с электроводонагревателем и системы на основе ВИЭ (ТНУ, СК). В предложенной ГСТ основными энергоустановками ВИЭ являются пароконпресссионная теплонасосная установка (ТНУ) и солнечный коллектор (СК). К основным теплотехническим параметрам ТНУ относятся теплопроизводительность и отопительный коэффициент, а для солнечного коллектора важным показателем является теплопроизводительность и КПД коллектора. Для определения этих параметров объекта исследования предложено уравнение энергетического баланса сельского дома с ГСТ.

Цель: целью работы является моделирование и исследование гибридной системы теплоснабжения (ГСТ) типового сельского дома, которая состоит из сочетаний традиционной системы отопления: котельной установки (КУ), горячего водоснабжения (ГВС) с электроводонагревателем и системы на основе ВИЭ (ТНУ, СК).

Методы: в работе были использованы методы математического моделирования, теоретические основы теплотехники, теория подобия, экспериментальное исследование процессов теплообмена и обобщение



результатов экспериментов.

Результаты: предложенная математическая модель ГСТ типового сельского дома (1) позволяет получить данные по производству и потреблению тепловой и электрической энергии, а также основные теплотехнические характеристики за каждый час работы основных видов оборудования системы. Анализ теплового баланса типовых сельских домов, построенных в Кашкадарьинской области, показывает, что для типового сельского дома с площадью отопления 144 м² и объемом 432 м³, средняя тепловая нагрузка на систему отопления составляет 13,8÷14,0 кВт, на систему охлаждения — 10,1 кВт, а на систему горячего водоснабжения — 1,3 кВт. Энергетическая эффективность применения ГСТ на базе ТНУ составила 57÷60 %, т.е. применение ТНУ в системах отопления типового сельского дома позволяет сократить расход традиционного топлива в 1,57÷1,60 раз за отопительный сезон. Применение ТНУ в период отопления сельского дома площадью 144 м² обеспечит экономию 1900 кубометров природного газа, при среднем расходе газа в отопительный период 3300÷4000 м³ или экономия природного газа составит 57÷48 %; при использовании СК 33÷27%; при рациональном сочетании «ТНУ+СК» -75÷90%.

Ключевые слова: гибридная система теплоснабжения, парокомпрессорная теплонасосная установка, солнечный коллектор, энергетический баланс, тепловая энергия, тепловой баланс, тепловая нагрузка.

Modeling of a hybrid heat supply system for typical rural houses

Gulom N. Uzakov¹, Vladimir A. Sednin², Bobir M. Toshmamatov^{1,a)}, Behzod I. Kamolov^{1,b)}

¹ DSc, prof., Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, 180100, Uzbekistan; uzoqov66@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-7386-8075>

² DSc, prof., Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus; bntu@bntu.by

^{1,a)} Senior Lecturer, Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, 180100, Uzbekistan; bobur160189@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7051-5307>

^{1,b)} PhD student, Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, 180100, Uzbekistan; behzod0288@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-2119-3010>

Relevance: this article investigates the hybrid heating system (HHS) of a typical rural house, which consists of a combination of a traditional heating system with a boiler unit (BU), a hot water supply (HWS) with an electric water heater, and a system based on renewable energy sources (RES) such as a heat pump unit (HPU) and a solar collector (SC). In the proposed HHS, the main energy units based on RES are the vapor-compression heat pump unit (HPU) and the solar collector (SC). The main thermodynamic parameters of the HPU include heat output and the heating coefficient, while for the solar collector, the key indicators are heat output and collector efficiency. To determine these parameters for the object of study, an energy balance equation for the rural house with the HHS is proposed.

Aim: is to model and study the hybrid heat supply system (HSS) of a typical rural house, which consists of a combination of a traditional heating system with a boiler unit (BU), hot water supply (HWS) with an electric water heater and a system based on renewable energy sources (HPU, SC).

Methods: the work used methods of mathematical modeling, theoretical foundations of heat engineering, similarity theory, experimental study of heat exchange processes and generalization of experimental results.

Results: the suggested mathematical model of the HHS for a typical rural house (1) allows for calculating the heat and electricity production and consumption, as well as the main thermodynamic characteristics for each hour of operation of the system's key equipment. An analysis of the thermal balance of typical rural houses built in the Kashkadarya region revealed that for a typical rural house with a heating area of 144 m² and a heating volume of 432 m³, the average thermal load on the heating system is 13.8–14.0 kW, on the cooling system it is 10.1 kW, and on the hot water supply system it is 1.3 kW. The energy efficiency of using the HHS based on the HPU, according to our calculations, is 57–60%, meaning that the use of the HPU in heating systems for typical rural houses can reduce traditional fuel consumption by 1.57–1.60 times during the heating period. The use of the HPU in the heating period of a rural house with an area of 144 m² can save 1900 m³ of natural gas. With an average natural gas consumption in the heating period of 3300–4000 m³, the gas savings amount to 57–48%. The use of the SC results in savings of 33–27%, and the rational combination of “HPU + SC” provides savings of 75–90%.

Keywords: hybrid heat supply system, steam compression heat pump unit, solar collector, energy balance, thermal energy, thermal balance, thermal load.

1. Введение (Introduction)

В Узбекистане, с целью экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов, расширяется внедрение энергосберегающих технологий с применением возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Применение ВИЭ в отраслях экономики и социальных объектах позволяет обеспечить снижение расхода органического природного топлива в 2-3 раза. Поэтому задача энергосбережения и повышения энергоэффективности с использованием ВИЭ является актуальной [1]; при этом необходимо обеспечить стабильность системы теплоснабжения и соответствующий уровень комфорта в типовых сельских домах, который в настоящее время в типовых сельских домах часто определяется применением зеленых технологий на основе ВИЭ [2].

Требуемые теплотехнические параметры микроклимата сельских жилых домов обеспечиваются системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [3]. Создание комфортных условий приводит к чрезмерному потреблению энергии при использовании систем отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования воздуха. В этом случае важно рациональное использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [4]. Решение такой задачи требует проведения исследований с применением современных методов моделирования.

Анализ тепловых режимов жилых одноэтажных типовых сельских домов показывает, что климатические параметры местности и теплотехнические характеристики ограждений во многом определяют расход тепловой энергии на отопление. Для термодинамического анализа теплового баланса типовых сельских домов, оптимизации температурного режима и повышения энергоэффективности важно использовать методы моделирования.

Целью исследования является моделирование и исследование гибридной системы теплоснабжения (ГСТ) типового сельского дома, которая состоит из сочетаний традиционной системы отопления с котельной установкой (КУ), горячего водоснабжения (ГВС) с электроводонагревателем и системы на основе ВИЭ (ТНУ, СК).

Методы математического моделирования теплового баланса зданий позволяют оценить основные теплотехнические и энергетические характеристики гибридных систем теплоснабжения с учетом теплофизических и метеорологических характеристик местности.

Математическая модель теплового баланса типового сельского дома при нестационарном режиме с гибридной системой теплоснабжения (ГСТ) разработана согласно расчетной схеме теплового баланса (рис.1).

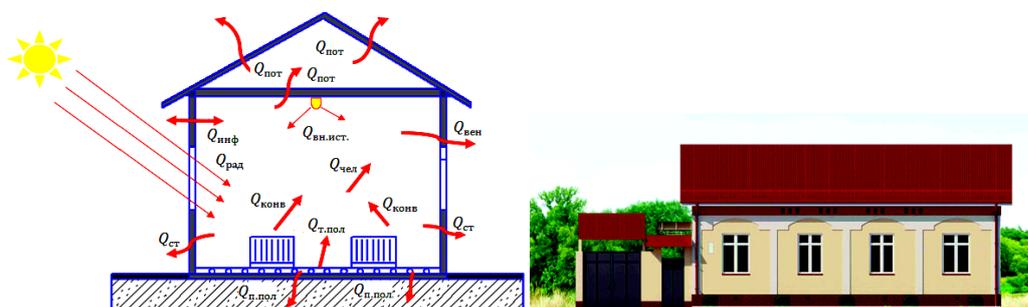


Рис.1. Расчетная схема теплового баланса типового сельского дома

Fig. 1. Calculation scheme of the heat balance of a typical rural house

2. Методы и материалы (Methods and materials)

В работе использованы методы математического моделирования энергетических балансов зданий, термодинамический анализ теплоиспользующих систем и общеизвестные аналитические методы. Объектом исследования является гибридная система теплоснабжения типового сельского дома. Нами разработанная гибридная система теплоснабжения (ГСТ) типового сельского дома, которая состоит из сочетаний традиционной системы отопления с котельной установкой (КУ), ГВС с электроводонагревателем и системы на основе энергоустановок ВИЭ (ТНУ, СК) [5,6,7]. В предложенной ГСТ основными энергоустановками ВИЭ являются парокомпрессионная теплонасосная установка (ТНУ) и солнечный коллектор (СК). К основным теплотехническим параметрам ТНУ относятся теплопроизводительность и отопительный коэффициент, а для солнечного коллектора важным показателем является теплопроизводительность и КПД коллектора [8,9,10,11,12]. Для определения этих параметров объекта исследования, предложено уравнение энергетического баланса сельского дома с ГСТ (математическая модель ГСТ):

$$\begin{cases} Q_{от}(\tau) + Q_{ГВС}(\tau) = Q_{ку}(\tau) + Q_{ТЭН}(\tau) + Q_{ТН}(\tau) + Q_{СК}(\tau) + Q_{рек}(\tau) \pm mc_p \frac{dt_B}{dt} + \sum Q_{пот.}; \\ N_{ТН}(\tau) + N_{ТЭН}(\tau) = I(\tau)F_{ФЭВ} \cdot \eta \pm E(\tau)U_{инв} \cdot \eta_{инв} + N_{ЭЭ}; \\ Q_{СК} = F_{СК} \cdot F_R [q_p(\tau \cdot \alpha) - U_L(T_i - T_{окр})]; \\ Q_{ТН}(\tau) = \varphi \cdot N_{ТН}(\tau); \\ Q_{ТЭН}(\tau) = N_{ТЭН}(\tau); \end{cases} \quad (1)$$

где $Q_{от}$ -тепловая нагрузка систем отопления, $кВтчас$; $Q_{ГВС}$ -тепловая нагрузка систем ГВС, $кВтчас$; $Q_{ТН}$ - теплопроизводительность ТНУ, $кВтчас$; $Q_{ку}$ -теплопроизводительность котельной установки, $кВтчас$; $Q_{СК}$ -теплопроизводительность солнечного коллектора, $кВтчас$; $Q_{рек}$ -теплота утилизируемая через рекуператора, $кВтчас$. τ - продолжительность эксплуатации ГСТ, $час$; $Q_{общ}$ -общие потери тепловой энергии, $кВтчас$; $N_{ТН}$ -потребляемая электроэнергия ТНУ,

$\text{кВт}\cdot\text{час}$; $N_{\text{ТЭН}}$ – потребляемая электроэнергия ТНУ, $\text{кВт}\cdot\text{час}$.

Потребляемая ТНУ электроэнергия, электроводонагревателя с ТЭН в системе обеспечивается применением ФЭБ; также предусмотрен вариант электропотребления от сети ($N_{\text{ЭЭ}}$). Мощность ФЭБ – 5,0 кВт, площадь $F_{\text{ФЭБ}}=25 \text{ м}^2$.

Динамика изменения температуры наружного воздуха и падающей солнечной радиации для местности Каршинского района представлены на рис.2 и рис.3.

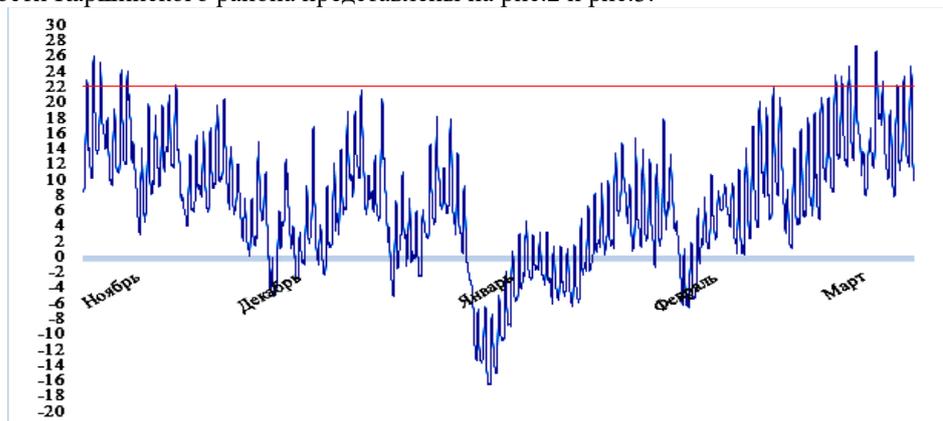


Рис.2. Динамика изменения температуры наружного воздуха в период отопления (Карши)
Fig. 2. Dynamics of changes in outside air temperature during the heating period (Karshi district)

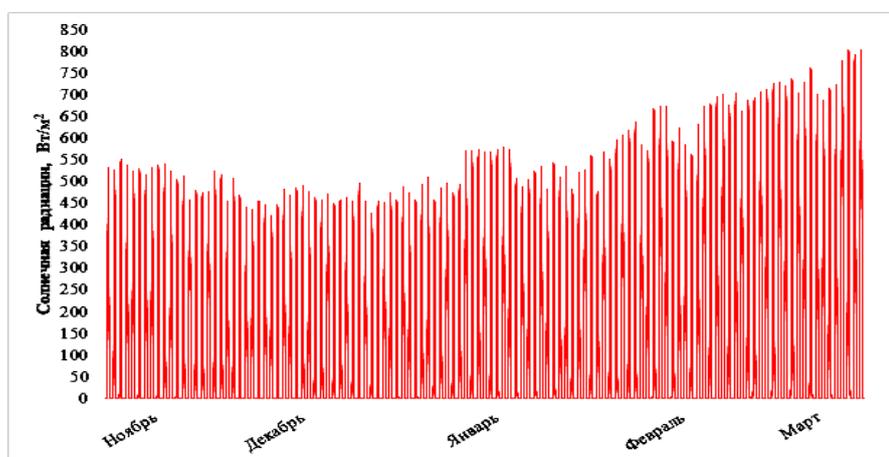


Рис.3. График изменения солнечной радиации в период отопления
Fig. 3. Graph of changes in solar radiation during the heating period

Количество выработанной электроэнергии ФЭБ в период отопления в условиях Каршинского района в зависимости от изменений солнечной радиации представлено на рис.4.

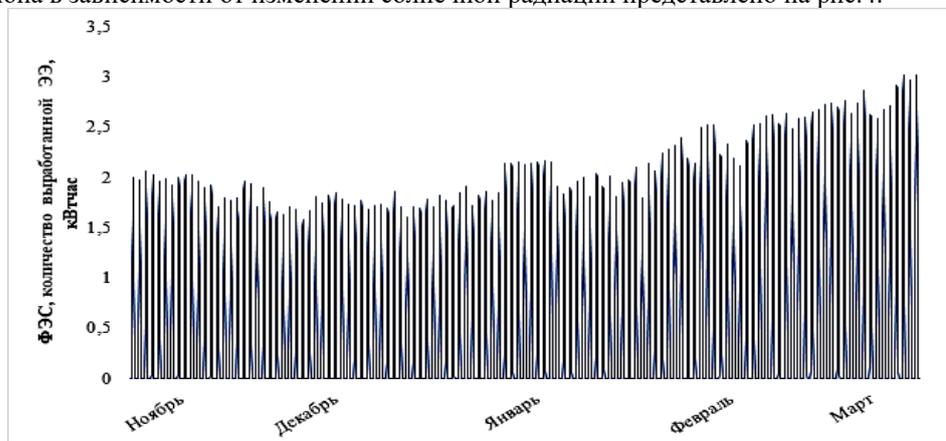


Рис.4. График выработки ЭЭ ФЭБ в отопительном периоде (Каршинский район)
Fig. 4. Graph of the FEB's energy production during the heating period (Karshi district)

Предложенная математическая модель ГСТ типового сельского дома (1) позволяет получить данные по производству и потреблению тепловой и электрической энергии, а также ос-



новые теплотехнические характеристики за каждый час работы основных оборудований системы.

Отопительный коэффициент (коэффициент преобразования тепла) ТНУ определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{Q_{\text{ТНУ}}(\tau)}{N_{\text{ТНУ}}(\tau)} = \frac{Q_{\text{н}} + N_{\text{эл}}}{N_{\text{эл}}} \quad (2)$$

Отопительный коэффициент зависит от температуры кипения хладагента в испарителе и от температуры низкопотенциального источника:

$$\varphi = f(t_{\text{нв}}, t_{\text{и}}); \quad \varphi = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (3)$$

Тепловая нагрузка на отопления:

$$Q_{\text{от}} = \alpha V_{\text{от}} q_{\text{от}} (t_{\text{вв}} - t_{\text{нв}}^{\text{р}}) (1 + K_{\text{инф}}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (4)$$

Тепловая нагрузка на ГВС:

$$Q_{\text{ГВС}} = 0,278 \cdot n \cdot q_{\text{сп}}^{\text{н}} \cdot c_{\text{в}} (t_2 - t_1) (1 + \beta_{\text{т}}) / 24 \cdot 10^3 \quad (5)$$

По нашим расчетным и экспериментальным исследованиям для сельского дома $F_{\text{от}} = 144 \text{ м}^2$; $Q_{\text{от}} = 14,0 \text{ кВт}$; тепловая нагрузка на ГВС составляет $Q_{\text{ГВС}} = 1,3 \text{ кВт}$ [4,5].

Для исследуемого типового сельского дома с площадью отопления $F_{\text{от}} = 144 \text{ м}^2$ была выбрана ТНУ типа «вода-вода» Mammoth J036WLE (производство Китай/США с коэффициентом преобразования тепла $\varphi = 3,6 \div 4,0$. Основные характеристики ТНУ приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Основные теплотехнические характеристики типового сельского дома
Table 1. Main thermal characteristics of a typical rural house

№	Название параметров	Обозначение	Ед. измер.	Значение
1	Отопительная площадь	$F_{\text{от}}$	м^2	144
2	Отапливаемый объем	$V_{\text{от}}$	м^3	432
3	Поправочный коэффициент	α	-	1,18÷1,2
4	Температура внутреннего воздуха	$t_{\text{вв}}$	град С	20÷24
5	Расчетная температура наружного воздуха	$t_{\text{нв}}^{\text{р}}$	град С	-13
6	Удельная отопительная характеристика здания	$q_{\text{от}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}}$	0,5÷0,6
7	Тепловая нагрузка на отопления	$Q_{\text{от}}$	кВт	14,0
8	Удельная тепловая нагрузка на 1 м^2	$q_{\text{уд}}$	Вт/ м^2	97,2
9	Производительность КУ марки КМИ-15А	$Q_{\text{КУ}}$	кВт	15,0
10	Теплопроизводительность ТНУ при $\varphi = 4,0$	$Q_{\text{ТНУ}}$	кВт	14,68

Таблица 2. Теплотехнические параметры ТНУ «вода-вода»
Table 2. Thermal parameters of the water-to-water heat pump unit

№	Параметр	Единица измерения	Значение параметра
1	Тип ТНУ	«вода-вода»	-
2	Модель-J036WLE	-	-
3	Бренд-Mammoth	-	-
4	Мощность на отопление	кВт	13÷14
5	Питание	-380V/N	50Hz
6	Мощность на охлаждение	кВт	12,2
7	Электрическая мощность потребления на охлаждения	кВт	2,71
8	Электрическая мощность потребления на нагрев	кВт	3,67
9	Водяной поток-первичный контур	$\text{м}^3/\text{ч}$	2,58
10	Водяной поток-вторичный контур	$\text{м}^3/\text{ч}$	2,10
11	EER	-	4,5
12	COP (φ)	-	3,6÷4,0

С учетом коэффициента φ определим максимальную теплопроизводительность ТНУ, при $\varphi = 4,0$, $Q_{\text{ТНУ}} = \varphi \cdot N_{\text{э}} = 4,0 \cdot 3,67 = 14,68 \text{ кВт}$.

Гибридную систему теплоснабжения, состоящую из традиционной котельной установки КУ, ЭВУ и энергоустановок ВИЭ (ТНУ, СК), можно представить в виде единой системы совместно с потребителем тепловой энергии (рис.5.).

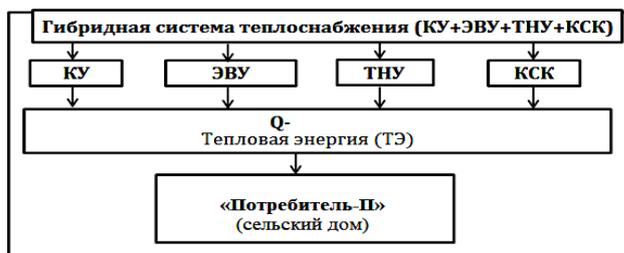


Рис. 5. Система гибридного автономного теплоснабжения (КУ+ЭВУ+ТНУ+КСК)
Fig. 5. Hybrid autonomous heat supply system (BU+HWS+HPU+SC)

3. Результаты (Results)

Доля ВИЭ в ГТС определена с помощью критерия коэффициента замещаемой энергии [13]:

$$f_i = \frac{Q_{\text{ВИЭ}}}{Q_{\text{T}}} = \frac{Q_{\text{КСК}} + Q_{\text{ТНУ}}}{Q_{\text{T}}}. \quad (6)$$

Согласно принятой схеме, требуемая тепловая энергия потребителем складывается из тепловой энергии произведенной традиционной системой и установками ВИЭ:

$$Q_{\text{T}} = Q_{\text{ТР}} + \sum_{i=1}^n [Q_{\text{ВИЭ}}] = Q_{\text{КУ}} + Q_{\text{ЭВУ}} + \sum_{i=1}^n [Q_{\text{ВИЭ}}]; \quad (7)$$

$$Q_{\text{T}} = Q_{\text{КУ}} + Q_{\text{ЭВУ}} + Q_{\text{ТНУ}} + Q_{\text{КСК}}; \quad (8)$$

где, Q_{T} –требуемая тепловая энергия, кВт; $Q_{\text{ВИЭ}}$ –полезная тепловая энергия, получаемого от ВИЭ, кВт; $Q_{\text{ТР}}$ – произведенная тепловая энергия, получаемого из традиционных систем теплоснабжения (ТСТ).

Для эффективного теплоснабжения необходимо рациональное использование природного газа в КУ (традиционные) и ВИЭ (СК и ТНУ).

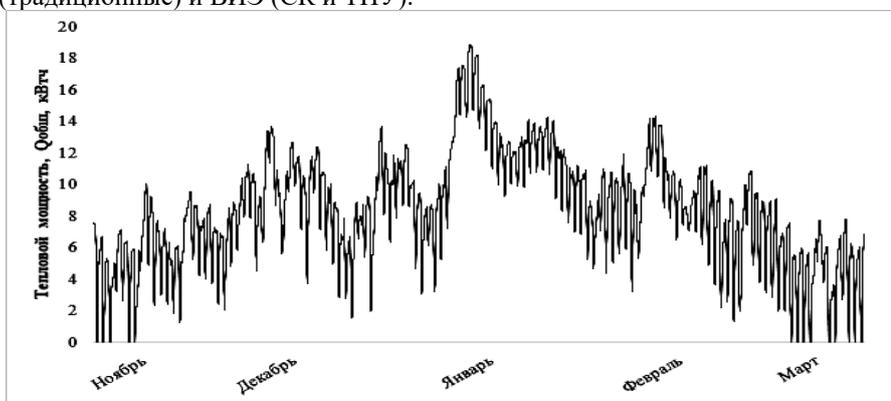


Рис. 6. График изменения тепловой нагрузки типового сельского дома
Fig. 6. Graph of changes in the thermal load of a typical rural house

Количество изменений динамики выработанной тепловой энергии СК, КУ, ТНУ в период отопления в условиях Каршинского района с учетом изменений климатических параметров местности приведено на рис.7 и 8.

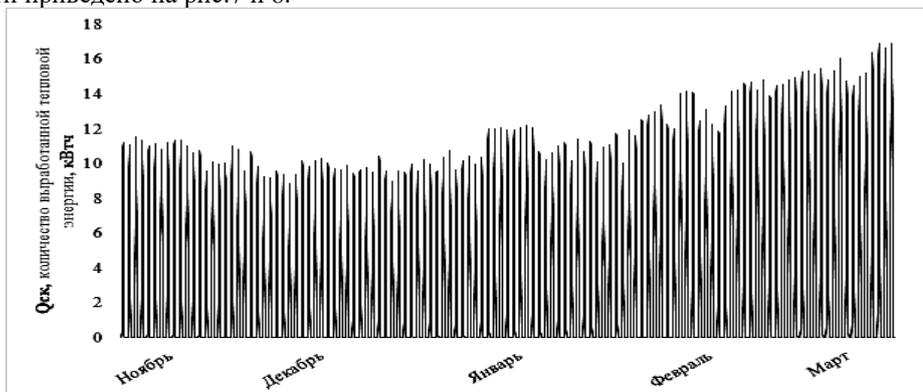


Рис. 7. График выработки тепловой энергии СК
Fig. 7. Graph of thermal energy production by the SC

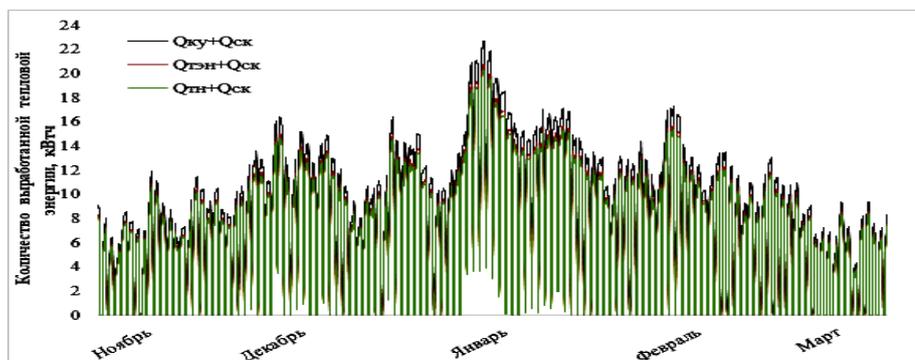


Рис. 8. График выработки тепловой энергии КУ, ТНУ и СК

Fig. 8. Graph of thermal energy production by the BU, HPU and SC

Требуемый расход топлива для отопления сельского дома за отопительный период зависит от вида топлива и КПД котельной установки [14,15]:

$$V_T = \frac{Q_{от}^T}{Q_p^H \cdot \eta_{КУ}}, \text{ кг (м}^3\text{)/год}; \quad (9)$$

где, V_T –годовой расход топлива на отопления, кг/год (м³/год); $Q_{от}^T$ –годовой расход тепловой энергии, МДж; Q_p^H –низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг (кДж/м³); $\eta_{КУ}$ –КПД котельной установки.

Применение ТНУ в ГСТ сельского дома позволяет экономить традиционные виды топлива (природный газ, уголь). Определим экономию топлива при использовании теплонасосной установки в ГСТ для отопления типового сельского дома вместо котельной установки (КУ). Тепловая нагрузка на отопления типового сельского дома составляет $Q_{от} = 14$ кВт.

Для рассматриваемой системы с ТНУ и КУ коэффициент преобразования тепла (COP) теплового насоса $\varphi = 4,0$; КПД электросетей $\eta_c = 0,95$; КПД котельной установки $\eta_k = 0,85$.

Мощность, потребляемая электродвигателем компрессора теплонасосной установки, будет равна:

$$N_3^K = \frac{Q_{от}}{\varphi} = \frac{14}{4} = 3,5 \text{ кВт.}$$

Потребляемая мощность с учетом потерь в электросетях традиционной системы электро-снабжения:

$$N_3 = \frac{N_3^K}{\eta_c} = \frac{3,5}{0,9} = 3,68 \text{ кВт.}$$

Расход топлива на ТЭС для выработки электроэнергии для привода компрессора теплонасосной установки определяется по формуле:

$$V_{ТНУ} = N_3 \cdot b_{КЭС}^3 = 3,68 \cdot 0,350 = 1,28 \text{ кг условного топлива/ч;}$$

где $b_{КЭС}^3 = 0,340 \div 0,360 \frac{\text{кг у.т.}}{(\text{кВт}\cdot\text{ч})}$ – удельный расход условного топлива на 1 кВт ч электроэнергии, вырабатываемой на ТЭС.

Расход топлива в котельной установке на выработку 14 кВт час или 50400 кДж тепла в час:

$$V_K = \frac{Q_{от}}{(Q_{PH} \cdot \eta_k)} = \frac{50400}{(29300 \cdot 0,85)} = 2,02 \frac{\text{кг у.т.}}{\text{час.}}$$

Тогда, экономия условного топлива при использовании ТНУ взамен традиционной КУ составляет:

$$\Delta B = V_K - V_{ТНУ} = 2,02 - 1,28 = 0,74 \frac{\text{кг}}{\text{час.}}$$

При этом экономия топлива при использовании ТНУ в отопительный период (для 132 суток) составляет: $0,74 \cdot 132 \cdot 24 = 2344,2$ кг. у. т., или $1860 \div 1900$ кубометров природного газа.

Удельная экономия условного топлива (на единицу отпущенного тепла) составляет:

$$\Delta b = \frac{\Delta B}{Q_B} = \frac{0,74}{14} = 0,05 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$$

4. Обсуждение (Discussion)

На основе выполненных расчетов и моделирования ГСТ определены теплотехнические и энергетические параметры: $Q_{общ}$, $Q_{КУ}$, $Q_{ТНУ}$, $Q_{СК}$ и др., которые являются исходными данными для проектирования рациональных систем теплоснабжения сельских домов.

Проведен анализ потребления энергии системами отопления, охлаждения и горячего водоснабжения типовых сельских домов с площадью отопления 144 м² с учетом природно-климатических условий Кашкадарьинской области.

Анализ теплового баланса типовых сельских домов, построенных в Кашкадарьинской области показывает, что для типового сельского дома с площадью отопления 144 м² и объемом 432 м³ средняя тепловая нагрузка на систему отопления составляет $13,8 \div 14,0$ кВт, на систему охлаждения — 10,1 кВт, а на систему горячего водоснабжения — 1,3 кВт.



5. Заключение (Conclusion)

Гибридная система теплоснабжения типового сельского дома выполнена сочетанием КУ, ТНУ и солнечных коллекторов (СК) площадью 28 м². Сезонная теплопроизводительность СК составляет: при эксплуатации 792 часов 11 000÷11 100 кВтч или 39 916 МДж тепловой энергии. Энергетическая эффективность применения ГСТ на базе ТНУ составила 57÷60 %, т.е. применение ТНУ в системах отопления типового сельского дома позволяет сократить традиционное топливо в 1,57÷1,60 раз.

Установлено, что за счет применения солнечных коллекторов в дневном режиме, экономия энергии составляет 1361,8 кг условного топлива или 1080÷1100 м³ природного газа. Применение ТНУ для отопления сельского дома площадью 144 м² обеспечит экономии 1900 м³ природного газа, при среднем расходе газа в отопительный период 3300÷4000 м³ (т.е. 57÷48 %), при использовании солнечного коллектора: 33÷27%, при рациональном сочетании «ТНУ+СК» -75÷90%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития /под ред. Салимова А.У. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 с.
2. Узиков Г.Н., Базаров О.Ш., Давлонов Х.А., Тошмаматов Б. Научно-инновационные разработки Каршинского инженерно-экономического института по использованию возобновляемых источников энергии. /Сборник материалов научно-практической конференции, 2023. –С. 353-356.
3. Харченко В.В., Чемяков В., Тихонов П., Адомавичюс В. Теплоснабжение дома от теплонасосной системы, использующей возобновляемые источники энергии. /Научные труды Литовской академии прикладных наук. Клайпеда, 2012. –№7. – С. 45-52.
4. Узиков Г.Н., Давлонов Х.А., Тошмаматов Б.М. Анализ гибридных систем отопления жилых зданий, использующие ВИЭ. //Альтернативная энергетика. Научно-технический журнал, 2023. –№ 1. –С. 9-15.
5. Узиков Г.Н., Давлонов Х.А., Камолов Б.И., Тошмаматов Б.М. Интегрированные автономные системы энергоснабжения объектов, расположенных в сельской местности. //Альтернативная энергетика. Научно-технический журнал, 2023. –№2, –С. 9-14.
6. Uzakov G.N., Charvinski V.L., Ibragimov U.Kh., Khamraev S.I., Kamolov B.I. Mathematical modeling of the combined heat supply system of a solar house. // Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc. –V. 65, No 5 2022 –pp. 412–421.
7. Бутузов В. А. Повышение эффективности систем теплоснабжения на основе использования возобновляемых источников энергии. / Дисс. докт. техн. наук. -М., 2004.
8. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. -М.: Энергоиздат, 1982. –С. 80.
9. Uzakov G.N., Khamraev S.I., Khuzhakulov S.M. Rural house heat supply system based on solar energy // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1030, 012167 2021.
10. Uzakov G.N., Toshmamatov B.M., Kamolov B.I. Selection of rational heat carriers and thermal accumulators in a hybrid heating system for a rural house // International journal of advanced research in science, engineering and technology. –Vol. 11, Issue 10, October 2024 –pp. 22450- 22456.
11. Бутузов В.А. Солнечные коллекторы: тепловые процессы, баланс и эффективность работы. // СОК, 2017. –№3, –С. 120-125.
12. Даффи Дж. Основы солнечной теплоэнергетики. /Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство. Издательский дом «Интеллект», 2013. – С. 888.
13. Аvezов Р.Р., Барский – Зорин М.А., Васильева И.М. и др. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. / Под.ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. –М.:Стройиздат, 1990. – С. 328.
14. Узиков Г.Н., Камолов Б.И. Оценка эффективности гибридной системы тепло- и электро-снабжения типового сельского дома. //Инновационные технологии. Научно-технический журнал, 2023. –№3(21), –С. 107-114.
15. Путилов С.С. Метод расчета норматива удельного расхода топлива на отпущенную тепловую энергию от котельной. // Univesum. Технические науки, 2023. –№7 (112).

REFERENCES

1. Allaev K.R. Modern energy and prospects for its development / ed. Salimova A.U. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 p. (In Russ.).
2. Uzakov G.N., Bazarov O.Sh., Davlonov H.A., Toshmamatov B. Scientific and innovative developments of the Karshi Engineering and Economics Institute on the use of renewable energy sources. // Collection of materials of the scientific and practical conference, 2023. - P. 353-356. (In



Russ.).

3. Kharchenko V.V., Chemekov V., Tikhonov P., Adomavičius V. Heat supply of a house from a heat pump system using renewable energy sources. // *Scientific works of the Lithuanian Academy of Applied Sciences*. Klaipeda, 2012. –№7. – P. 45-52. (In Russ.).

4. Uzakov G.N., Davlonov H.A., Toshmamatov B.M. Analysis of hybrid heating systems for residential buildings using renewable energy sources. // *Alternative Energy. Scientific and Technical Journal*, 2023. –№ 1. –P. 9-15. (In Russ.).

5. Uzakov G.N., Davlonov H.A., Kamolov B.I., Toshmamatov B.M. Integrated autonomous power supply systems for facilities located in rural areas. // *Alternative Energy. Scientific and Technical Journal*, 2023. –№2, –P. 9-14. (In Russ.).

6. Uzakov G.N., Charvinski V.L., Ibragimov U.Kh., Khamraev S.I., Kamolov B.I. Mathematical modeling of the combined heat supply system of a solar house. // *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* –V. 65, No. 5 2022 –pp. 412–421.

7. Butuzov V.A. Improving the efficiency of heat supply systems based on the use of renewable energy sources. / Diss. Doctor of Engineering Sciences. Moscow, 2004. (In Russ.).

8. Beckman W., Klein S., Duffy J. Calculation of solar heating systems. -M.: - Energoizdat, 1982. –P. 80. (In Russ.).

9. Uzakov G.N., Khamraev S.I., Khuzhakulov S.M. Rural house heat supply system based on solar energy // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1030, 012167 2021.

10. Uzakov G.N., Toshmamatov B.M., Kamolov B.I. Selection of rational heat carriers and thermal accumulators in a hybrid heating system for a rural house // *International journal of advanced research in science, engineering and technology*. –Vol. 11, Issue 10, October 2024 –pp. 22450- 22456.

11. Butuzov V.A. Solar collectors: thermal processes, balance and efficiency. // *SOK*, 2017. –№3, –P. 120-125. (In Russ.).

12. Duffy J. *Fundamentals of Solar Thermal Energy*. Translated from English: Textbook and Reference Guide. Publishing House "Intellect", 2013. - P. 888. (In Russ.).

13. Avezov R.R., Barsky - Zorin M.A., Vasilyeva I.M. et al. *Solar Heating and Cooling Systems*. / Ed. by E.V. Sarnatsky and S.A. Chistovich. - Moscow: Stroyizdat, 1990. - P. 328. (In Russ.).

14. Uzakov G.N., Kamolov B.I. Evaluation of the Efficiency of a Hybrid Heat and Power Supply System for a Typical Rural House. // *Innovative Technologies. Scientific and Technical Journal*, 2023. - No. 3 (21), - P. 107-114. (In Russ.).

15. Putilov S.S. Method for calculating the standard for specific fuel consumption for the supplied thermal energy from a boiler house. // *Univesum. Technical sciences*, 2023. –№7 (112). (In Russ.).