

УДК: 553.981.2

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛО- И ХЛАДОСНАБЖЕНИЯ С ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ И ВИЭ В УЗБЕКИСТАНЕ: АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ, ПРИМЕР РАСЧЁТА И НЕОБХОДИМОСТЬ НОВОЙ МЕТОДИКИ

Авезова Нилуфар Раббанакуловна¹ – доктор технических наук,
ORCID: 0000-0002-4298-1041, E-mail: avezovanr@gmail.com

Шарипов Конгратбай Авезимбетович² – доктор технических наук, профессор,
ORCID: 0000-0003-4826-3486, E-mail: k.sharipov@edu.uz

Саломов Уктам Рахимович¹ – доктор технических наук, профессор,
ORCID: 0000-0001-9350-9284, E-mail: uktam.salomov@polito.it

Кучкарбаев Рустам Уткурович³ – доктор философии по педагогическим наукам (PhD),
ORCID: 0009-0001-0031-0223, E-mail: r.kuchkarbaev@gmail.com

Шерматова Малика Бахрамовна¹ – младший научный сотрудник,
ORCID: 0000-0002-3270-1915, E-mail: mbshermatova@gamil.com

¹Ферганский государственный технический университет, г. Фергана, Узбекистан

²Туринский политехнический университет, г. Ташкент, Узбекистан.

³Ташкентский архитектурно-строительный университет, г.Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Статья посвящена анализу и демонстрации подходов к расчёту комбинированных систем тепло- и хладоснабжения с использованием тепловых насосов, и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в условиях Узбекистана. Представлены результаты расчёта, обоснована необходимость разработки новой методики, учитывающей региональные особенности. Повышение энергоэффективности зданий и активное внедрение возобновляемых источников энергии становятся приоритетами в строительной политике Узбекистана. Однако на сегодняшний день отсутствует единый нормативный подход к расчёту комбинированных систем тепло- и хладоснабжения, особенно применительно к жилым и пассивным домам. Это создаёт барьеры для широкого внедрения таких решений.

Проведена инвентаризация существующей нормативной базы (ГОСТ, СП, КМК), которая показала фрагментарность регулирования. Проанализированы международные и национальные методики расчёта, а также их применимость к условиям Узбекистана. В качестве примера предложен расчёт системы для жилого дома площадью 100 м² в г. Ташкент..

На основе проведённого анализа выявлены существенные ограничения существующих подходов. Представленный расчёт показывает практическую реализацию предложенных решений и подтверждает эффективность комплексного подхода при проектировании систем тепло- и хладоснабжения с учётом климатических особенностей региона.

Результаты подчёркивают необходимость разработки унифицированной методики расчёта энергоэффективных инженерных систем, адаптированной к архитектурно-климатическим условиям Узбекистана. Это создаёт основу для совершенствования нормативной базы и практической реализации современных энергосберегающих технологий в строительстве.

Ключевые слова: комбинированные системы теплоснабжения и хладоснабжения, тепловые насосы, возобновляемые источники энергии, нормативная база, методика расчёта, пассивные дома, энергоэффективность, устойчивое проектирование, Узбекистан.

УДК: 553.981.2

COMBINED HEATING AND COOLING SYSTEMS WITH HEAT PUMPS AND RENEWABLE ENERGY IN UZBEKISTAN: ANALYSIS OF THE REGULATORY FRAMEWORK, A CASE STUDY CALCULATION, AND THE NEED FOR A NEW METHODOLOGY

Avezova, Nilufar Rabbanakulovna¹ – Doctor of Technical Sciences
Sharipov, Kongratbay Avezimbetovich² – Doctor of Technical Sciences, Professor
Salomov, Uktam Rakhimovich¹ – Doctor of Technical Sciences, Professor
Kuchkarbaev, Rustam Utkurovich³ – Doctor of philosophy of Pedagogical Sciences (PhD)
Shermatova, Malika Bakhramovna¹ – Junior Researcher

¹Fergana State Technical University, Fergana city, Uzbekistan

²Turin Polytechnic University in Tashkent, Tashkent city, Uzbekistan

³Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Tashkent city, Uzbekistan

***Abstract.** The article is devoted to the analysis and demonstration of approaches to the calculation of combined heating and cooling systems using heat pumps and renewable energy sources (RES) under the conditions of Uzbekistan. Calculation results are presented, and the need for a new methodology that considers regional characteristics is justified. Improving building energy efficiency and implementing renewable energy sources have become priorities in Uzbekistan's construction policy. However, there is currently no unified regulatory approach for calculating combined heating and cooling systems, especially for residential and passive houses. This creates barriers to the widespread adoption of such solutions.*

An inventory of the current regulatory framework (GOST, SP, KMK) was carried out, revealing fragmented and insufficiently integrated regulation. Both international and national calculation methodologies were analyzed, along with their applicability to Uzbekistan's conditions. As an example, a system design for a 100 m² residential house in Tashkent is presented.

The conducted analysis revealed significant limitations of the existing approaches. The presented calculation demonstrates the practical implementation of the proposed solutions and confirms the effectiveness of the integrated approach in designing heating and cooling systems tailored to the region's climatic conditions.

The results emphasize the need to develop a unified methodology for calculating energy-efficient engineering systems adapted to Uzbekistan's architectural and climatic conditions. This forms the basis for improving the regulatory framework and the practical implementation of modern energy-saving technologies in construction.

***Keywords:** combined heating and cooling systems, heat pumps, renewable energy sources, regulatory framework, calculation methodology, passive houses, energy efficiency, sustainable design, Uzbekistan.*

УДК: 553.981.2

O'ZBEKISTONDA ISSIQLIK NASOSLARI VA QAYTA TIKLANADIGAN ENERGIYA MANBALARIGA ASOSLANGAN KOMBINATSIYALASHGAN ISSIQLIK VA SOVUTISH TIZIMLARI: NORMATIV BAZANING TAHLILI, NAMUNAVIY HISOB-KITOB VA YANGI METODIKAGA EHTIYOJ

Avezova Nilufar Rabbanakulovna¹ – texnika fanlari doktori
Sharipov Kongratbay Avezimbetovich² – texnika fanlari doktori, professor
Salomov Uktam Raximovich¹ – texnika fanlari doktori, professor
Kuchkarbayev Rustam Utkurovich³ – pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
Shermatova Malika Baxramovna¹ – kichik ilmiy xodim

¹Farg‘ona davlat texnika universiteti, Farg‘ona sh., O‘zbekiston

²Toshkent shahridagi Turin politexnika universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston

³Toshkent arxitektura-qurilish universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston

Annotatsiya. *Maqola O‘zbekiston sharoitida issiqlik nasoslari va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan (QTEM) foydalangan holda birlashtirilgan isitish va sovitish tizimlarini hisoblash yondashuvlarini tahlil qilish va namoyish etishga bag‘ishlangan. Hisoblash natijalari taqdim etilgan bo‘lib, hududiy xususiyatlarni inobatga oluvchi yangi metodikani ishlab chiqish zarurati asoslab berilgan. Binolarning energosamaradorligini oshirish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini joriy etish O‘zbekistonning qurilish siyosatida ustuvor yo‘nalishlardan biridir. Shunga qaramay, ayni paytda birlashtirilgan isitish va sovitish tizimlarini, ayniqsa turar-joy va passiv uylar uchun, hisoblash bo‘yicha yagona normativ yondashuv mavjud emas. Bu holat ushbu tizimlarni keng joriy etishda to‘siq bo‘lmoqda.*

Mavjud normativ-huquqiy hujjatlar (GOST, SP, KMK) tahlil qilinib, ularning parchalangan va yetarlicha kompleks bo‘lmaganligi aniqlangan. Shuningdek, xalqaro va milliy hisoblash metodikalari tahlil qilinib, ularning O‘zbekiston sharoitida qo‘llash imkoniyatlari baholandi. Misol sifatida Toshkent shahrida joylashgan 100 m²li turar joy uchun tizim hisoboti keltirilgan.

Olib borilgan tahlillar natijasida mavjud yondashuvlarning jiddiy cheklovlari aniqlandi. Keltirilgan hisoblash misoli taklif etilgan yechimlarning amaliy qo‘llanishini va ularning mintaqaviy iqlim sharoitlarini inobatga olgan holda samarali ekanini ko‘rsatadi.

Tadqiqot natijalari O‘zbekistonning me‘moriy va iqlimiy sharoitlariga moslashtirilgan, energosamarador muhandislik tizimlarini hisoblash bo‘yicha yagona metodikani ishlab chiqish zaruratini asoslaydi. Bu esa normativ bazani takomillashtirish va qurilishda zamonaviy energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish uchun mustahkam asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: *kombinatsiyalashgan issiqlik va sovitish tizimlari, issiqlik nasoslari, qayta tiklanadigan energiya manbalari, normativ baza, hisoblash metodikasi, passiv uylar, energiya samaradorligi, barqaror loyihalash, O‘zbekiston.*

Введение

Энергообеспечение зданий, включающее отопление и охлаждение, составляет значительную долю общего энергопотребления. Например, по оценкам в Великобритании на системы отопления и кондиционирования приходится около половины национального энергопотребления [1]. В глобальном масштабе здания потребляют порядка 40–45% всей вырабатываемой энергии [2], что сопровождается сопоставимой долей выбросов парниковых газов. В условиях стремления к углеродной нейтральности возникает необходимость в более эффективных и гибких системах теплоснабжения и охлаждения. **Комбинированные системы тепло- и хладоснабжения** – это интегрированные решения, способные обеспечивать здание теплом зимой и холодом летом, оптимизируя использование разных источников энергии.

Современные подходы к созданию таких гибридных систем, включает совмещение тепловых насосов с традиционными котлами, использование солнечных коллекторов и фотоэлектрических панелей, внедрение интеллектуального управления (smart grid), различные архитектуры гибридных установок с накопителями энергии, а также анализ патентного ландшафта и существующие прототипы.

Как известно Тепловой насос (ТН) является ключевым элементом современных энергоэффективных систем отопления и охлаждения. Однако эффективность теплового насоса снижается в экстремально холодную погоду или при высоких ценах на электроэнергию. Поэтому одним из актуальных подходов стало гибридное сочетание теплового насоса с традиционным источником тепла – например, газовым или электрическим котлом. Гибридный тепловой насос представляет собой систему, в которой тепловой насос

дополняется резервным генератором тепла, способным подключаться при неблагоприятных условиях работы ТН. В такие периоды (очень низкие температуры наружного воздуха или пиковые тарифы на электричество) резервный котёл берет на себя часть или всю нагрузку, позволяя тепловому насосу работать в оптимальном режиме либо временно отключаться. За счет этого система всегда работает с наибольшим КПД и минимальными затратами, динамически балансируя вклад каждого из источников.

В качестве резервного теплогенератора чаще всего используется газовый котёл, реже – жидкотопливный или биомасса, также могут применяться и альтернативные источники, например, микро-ТЭЦ или солнечные коллекторы в роли дополнительного нагревателя [3].

Гибридные схемы «ТН + котёл» набирают популярность в жилищном секторе, особенно при модернизации существующих систем отопления. Пользователи могут установить тепловой насос параллельно существующему котлу, что снижает расход топлива без полного отказа от привычного оборудования. Такой поэтапный переход способствует декарбонизации. Хотя полная электрификация отопления за счет одних только тепловых насосов считается идеальной целью, гибридные установки служат переходным решением, ускоряя внедрение тепловых насосов на практике. Они устраняют ряд проблем чисто насосных систем – например, нехватку теплопроизводительности в пике морозов или необходимость дорогостоящего усиления электрических сетей под максимальные нагрузки. Исследования показывают, что гибридные системы при правильном управлении могут существенно экономить первичную энергию и сокращать выбросы по сравнению с обычным котлом. В частности, испытания в жилом доме подтверждают снижение суммарного потребления энергии и уменьшение углеродного следа при внедрении теплового насоса в комбинации с газовым отоплением [4-5].

Таким образом, интеграция тепловых насосов с традиционными источниками тепла повышает надежность и эффективность теплоснабжения зданий, позволяя гибко адаптироваться к внешним условиям и тарифам.

Стоит отметить, что комбинированные системы способны обеспечивать не только отопление, но и охлаждение помещений. Если применен реверсивный тепловой насос (тепло-холодильная машина), летом он работает как кондиционер, отводя избыточное тепло наружу. Резервный же источник (например, котёл) в теплый период бездействует. Таким образом, гибридная установка может круглогодично поддерживать комфортный микроклимат, переключаясь между режимами обогрева и охлаждения. В традиционных системах для этого требовались отдельные приборы (котёл для отопления и компрессорный чиллер или кондиционер для холода), тогда как тепловой насос объединяет обе функции. Комбинирование с котлом при этом обеспечивает, чтобы даже в самые холодные дни зима или в часы пиковой нагрузки система могла покрыть теплопотребление. В целом, интеграция теплового насоса с традиционным котлом дает синергетический эффект: повышение общего коэффициента производительности системы, снижение расходов на отопление до 30–50% и уменьшение выбросов CO₂ за счет замещения части ископаемого топлива электрической энергией [6-8].

Еще одним направлением развития комбинированных систем является привлечение возобновляемых источников энергии – в первую очередь, солнечной. Солнечная энергия может быть использована двумя способами: солнечные коллекторы обеспечивают тепловую энергию, а фотоэлектрические панели (ФЭП) – электрическую энергию для питания оборудования. В сочетании с тепловым насосом оба подхода известны как *солнечно-ассистированные тепловые насосы* (solar-assisted heat pumps, SAHP). Принципы интеграции солнечного тепла в систему теплопроизводства могут различаться. В некоторых схемах солнечный коллектор работает последовательно с тепловым насосом: например, жидкость из коллектора подогревает теплоноситель перед испарителем теплового насоса, снижая нагрузку на компрессор. В других конфигурациях коллектор включен параллельно: он напрямую

нагревает воду в баке отопления или ГВС, дополняя работу теплового насоса. Также применяют гибридные подключения, где часть потока идет через коллектор, часть через насосный контур, в зависимости от условий. Каждая топология имеет плюсы: последовательное соединение повышает температуру испарения хладагента и тем самым повышает коэффициент производительности (COP) теплового насоса, а параллельное – позволяет получать тепло даже при выключенном компрессоре [9-10]. Солнечно-ассистированные системы разрабатываются с середины XX века и зарекомендовали себя как эффективное решение для разных климатических зон [11]. Экспериментальные и теоретические исследования показывают, что включение солнечного коллектора в тепловой цикл позволяет повысить сезонный КПД системы и сократить потребление внешней энергии на 20–50% в зависимости от доли солнечного вклада и климатических условий.

Помимо тепловых коллекторов, все более актуально применение солнечных фотоэлектрических модулей для питания тепловых насосов. Электропривод компрессора ТН может полностью или частично обеспечиваться энергией от собственных солнечных панелей на здании. Это превращает систему отопления/охлаждения фактически в установку с нулевым потреблением внешней электроэнергии в светлое время суток. Избыток энергии может накапливаться (например, в аккумуляторных батареях или за счет нагрева теплоаккумулятора), а недостаток – покрываться из сети. Преимущество фотоэлектрических систем (ФЭС) в том, что они прямо снижают углеродный след, замещая электроэнергию из ископаемых источников. Однако сами по себе ФЭП не повышают тепловой КПД системы. В связи с этим появился интерес к комбинированным фототермическим коллекторам (PV/T), которые одновременно вырабатывают электричество и собирают тепло. PV/T-панели представляют собой фотоэлементы, объединенные с теплообменником: охлаждая солнечные элементы циркулирующей жидкости, они повышают эффективность фото преобразования и одновременно получают низкопотенциальное тепло. Интеграция PV/T с тепловым насосом позволяет использовать этот отвод тепла как источник для испарителя. Таким образом, комбинированная PV/T-система решает две задачи: повышает выработку электроэнергии (благодаря охлаждению панелей) и подает тепловую энергию на тепловой насос. Исследования показывают, что применение PV/T модулей в качестве источника тепла повышает температуру испарения хладагента и увеличивает коэффициент преобразования теплового насоса [12]. Одно из исследований зафиксировало значимый рост эффективности: одновременная реализация фотоэлектрического и фототермического процессов в PV/T повысила общий КПД утилизации солнечной энергии, а за счет более высокой температуры на испарителе прирост COP теплового насоса составил ощутимую величину [13].

Несмотря на имеющий научно-практический опыт по применению комбинированных систем теплоснабжения с тепловыми насосами и технологиями ВИЭ, масштабирование результатов ничтожны, так как не существуют стандарты, регламентирующие проектирование и оценку эффективности комбинированных систем теплоснабжения с ТН, солнечными тепловыми и электрическими установками и резервными источниками энергии.

В связи с чем в настоящей сообщении представлены результаты инвентаризации существующей нормотворчества и методов расчета по части касавшейся, так далее применяемые при расчетах комбинированной системы теплоснабжения с тепловым насосом, солнечными коллекторами и резервными источниками и на их основе разработанной упрощенная методика расчёта комбинированной системы теплоснабжения пассивного дома для климатических условий города Ташкента.

Методы и материалы

Развитие «зелёной» энергетики в зданиях стало неотъемлемой частью нормативных реформ в Узбекистане. В апреле 2019г. был принят, а в 2024г обновлён и усилен Закон «**Об использовании возобновляемых источников энергии**», установивший экономические

льготы для внедрения ВИЭ [14-15]. Этот закон освободил оборудование на возобновляемой энергии (например, солнечные панели, коллекторы, ветроустановки) от ряда налогов и пошлин, тем самым стимулируя их установку. На базе данного закона и последующих постановлений, в Узбекистане с 2020 г. стали обязательными некоторые элементы ВИЭ в строительстве. В соответствии с *ПП-4422* [16], с 1 января 2020 г. при строительстве и реконструкции всех зданий, кроме частных домов, обязательно предусматривается установка солнечных водонагревательных установок для ГВС. Иными словами, каждый новый многоквартирный дом, социальный объект или административное здание должен быть оснащён сертифицированными солнечными коллекторами для горячей воды. Одновременно предписано использовать только энергоэффективные осветительные приборы (LED-лампы) повсеместно. Эти требования направлены на уменьшение зависимости от традиционных источников (природного газа для подогрева воды, электроэнергии для освещения) за счёт прямого использования солнечной энергии.

Нормативы также начали интегрировать **тепловые насосы** в число рекомендуемых технологий отопления и охлаждения. Тепловые насосы упоминаются как эффективный источник тепла в *ШНК 2.08.08–22. Пассивный дом* [17], при этом важной особенностью является прямая рекомендация использовать возобновляемые источники энергии: в пассивных домах тепловые насосы, солнечные коллекторы и фотоэлектрические панели рассматриваются как предпочтительные технологии обеспечения микроклимата. Норматив предписывает, что тепловые насосы могут выступать основным источником тепла и холода в пассивном доме, обеспечивая высокие значения сезонного коэффициента эффективности (SCOP) в соответствии с критериями пассивного строительства. Фактически, *ШНК 2.08.08–22* гармонизирован с принципами международного стандарта Passive House: аналогично стандартам РН/РНИУС [18], он нацелен на снижение удельного энергопотребления до уровня порядка 15 кВт·ч/м² в год на отопление, достигаемого за счёт сверхэффективной оболочки здания и рекуперации. Внедрение этого стандарта в Узбекистане свидетельствует о стремлении перенять передовой опыт (в том числе немецкий Passiv Haus и американский РНИУС) и адаптировать его к местным условиям.

Кроме того, обновлённые общие нормы по отоплению (*КМК 2.04.05–97* с изм. 2023) допускают включение тепловых насосов в схемы теплоснабжения наряду с традиционными котлами [19]. На международном уровне эффективность тепловых насосов признана настолько высокой, что их энергия отнесена к возобновляемой: согласно Директиве (EU) 2018/2001 (RED II) [20], тепловая энергия, извлечённая из окружающей среды (воздуха, грунта, воды) с помощью электронасосов, считается возобновляемой, если сезонный коэффициент эффективности (SPF) установки $\geq 2,5$. То есть при правильном проектировании 1кВт·ч электроэнергии, затраченной на работу насоса, даёт $\geq 2,5$ кВт·ч тепла, и эта «прибыточная» энергия рассматривается как полученная из природы.

Учитывая вышесказанное, необходимо отметить, что, нормативы РУз поощряют применение эффективных тепловых насосов, особенно в сочетании с источниками возобновляемой электроэнергии (солнечной генерацией).

В связи с чем в целях дальнейшего укрупнения и усиления нормативной основы Узбекистана в рассматриваемой области, авторами настоящей сообщения выполнена инвентаризация существующих нормативных документов. В Табл.1 приведен перечень ключевых нормативных документов (СП, СНиП, ГОСТ, ISO/EN, директивы ЕС, нормы Узбекистана и СНГ), регламентирующие проектирование и оценку эффективности комбинированных систем теплоснабжения с ТН, солнечными тепловыми установками и резервными источниками действующие в республике.

Таблица 1.

Основные нормативные документы для систем теплоснабжения с тепловыми насосами и ВИЭ

Документ	Область применения	Основные требования/методы	Актуальность	Источник
СП 525.1325800.2023 – «Теплонасосные системы теплохладоснабжения. Правила проектирования» (Минстрой РФ)	Проектирование систем теплоснабжения и холодоснабжения на базе электрических парокомпрессионных тепловых насосов для зданий и сооружений (отопление, вентиляция, кондиционирование, ГВС, технологический холод).	Определяет состав и конфигурацию теплонасосных систем, правила выбора низкопотенциальных источников тепла (грунт, вода, воздух, вентиляционные выбросы и др.), требования к оборудованию, автоматике, электроснабжению. Вводит показатели эффективности системы (COP, SPF и др.) и рекомендации по резервированию (в т.ч. допустимо резервирование электродвигателя или иными источниками).	Введён 2023 г., действует (Россия).	Минстрой РФ (приказ №326/пр от 05.05.2023) [21]
СП 60.13330.2020 – «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» (актуализированный СНиП 41-01-2003)	Общие требования к проектированию внутренних систем отопления, вентиляции и кондиционирования в жилых и общественных зданиях до 50–75 м высотой.	Содержит нормы по расчету нагрузок отопления и вентиляции, выбору расчетных температур внутреннего воздуха и наружного климата (с отсылкой к СП 131 “Строительная климатология”), требования к качеству микроклимата, резервированию оборудования и др. Является базовым нормативом для проектирования тепловых систем зданий (в т.ч. с применением ТН как одного из источников тепла, см. ссылки на СП 525 и др.).	Актуализирован и введён с 2021 г. (Россия).	Консультант Плюс [22]
СП 50.13330.2012 – «Тепловая защита зданий» (актуализированный СНиП 23-02-2003)	Требования к ограждающим конструкциям зданий по теплозащите и энергоэффективности в РФ. Применяется при проектировании жилых и общественных зданий для обеспечения нормативного уровня теплосбережения.	Устанавливает методики расчёта теплопотерь через ограждения (коэффициенты теплопередачи U, теплотехнический расчёт стен, крыш, окон и т.д.), нормируемые значения удельного теплопотребления зданий, требования по минимальной теплоизоляции. Является основой для определения тепловой нагрузки здания на отопление по конструктивным показателям.	Актуален (введён в 2012 г. с изм. 2015 г., РФ).	Официальное издание Минрегион (Москва, 2012). [23]
СП 131.13330.2012 – «Строительная климатология» (СНиП 23-01-99*)	Определение расчетных климатических параметров для строительства на территории РФ и СНГ. Обязателен при расчётах тепловой нагрузки и энергоэффективности.	Содержит данные по температуре наружного воздуха для зимы (расчетная минимальная температура обеспеченностью 0,92 или 0,98), продолжительности отопительного периода, градусо-суткам отопления, а также по солнечной радиации. Эти данные используются при расчетах теплопотерь здания и ожидаемой выработки солнечных коллекторов.	Действует (с 2012 г., изм. №1, №2). Также применяется аналогичный стандарт в Узбекистане (КМК 2.01.01 и 2.01.18).	СП 131.13330.2012 (Минрегион РФ) [24]

<p>СП 373.1325800.2018 – «Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования» (Минстрой РФ)</p>	<p>Проектирование автономных источников теплоснабжения – крышных, встроенных и пристроенных котельных (в том числе с использованием различных типов теплогенераторов) для отопления, вентиляции и ГВС зданий высотой до 55–75 м.</p>	<p>Определяет требования к выбору схем автономных котельных, безопасности, автоматизации. Регламентирует оценку эффективности источника тепла и системы в целом. Введена формула коэффициента энергоэффективности системы теплоснабжения (например, учитывается КПД котла/ТН и потери тепла в системе). Может применяться для гибридных схем с ТН и пиковым котлом как «автономная котельная».</p>	<p>Введён 25.11.2018 г., действует (Россия).</p>	<p>Официальное издание Минстрой РФ [25]</p>
<p>ГОСТ Р 54865-2011 – «Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами»</p>	<p>Национальный стандарт РФ (гармонизирован с EN 15316-4-2:2008) для расчёта энергопотребления и оценки энергоэффективности отопительных систем на базе тепловых насосов.</p>	<p>Содержит методику расчёта годового расхода энергии системы с ТН и сезонной эффективности. Вводит понятия: коэффициент преобразования (COP) при различных режимах, сезонный фактор эффективности (SPF или η) системы, доля возобновляемой энергии. Предусматривает интерполяцию COP при разных температурах источника/нагрузки и вычисление сезонного потребления электроэнергии и выработки тепла.</p>	<p>Действует с 2012 г. (Россия, актуален).</p>	<p>ГОСТ Р 54865–2011 (Ростехрегулирование) [26]</p>
<p>ISO 12831-1:2017 / EN 12831 – <i>Heating systems in buildings – Calculation of design heat load</i></p>	<p>Международный стандарт (EN/ISO), устанавливающий общий метод расчёта расчетной тепловой нагрузки здания на отопление.</p>	<p>Описывает подробный теплотехнический расчет необходимой тепловой мощности для отопления здания при расчетных условиях: суммирование теплопотерь через ограждения и инфильтрацию, учёт внутренних тепловыделений, коэффициентов запаса. Обеспечивает единый подход расчёта теплопотребности зданий в странах ЕС. В частности, в стандарте приводятся формулы для расчёта теплопотерь через каждую зону здания и требования к исходным климатическим данным (соответствует методам СП и СНиП).</p>	<p>Действующий международный стандарт (принят CEN, 2017 г.).</p>	<p>EN ISO 12831-1:2017 (CEN, Brussels) [27]</p>
<p>Директива 2010/31/EU (EPBD) – <i>Energy Performance of Buildings Directive</i> (пересмотр 2010 г.)</p>	<p>Директива ЕС по энергоэффективности зданий. Обязательна к внедрению во всех странах ЕС.</p>	<p>Требует повышения энергетической эффективности зданий с учетом климатических условий и рентабельности. Устанавливает: общую методику расчёта интегрированной энергоэффективности зданий; минимальные нормы по тепловой защите для новых и реконструируемых зданий; обязательное достижение стандартов <i>почти нулевого энергопотребления</i> для социальных зданий. Поощряет использование ВИЭ: напр., в ряде стран по EPBD обязательна установка солнечных коллекторов для ГВС в новых социальных объектах.</p>	<p>Вступила в силу 2010 г. (заменяет дир.2002/91/ЕС). Актуальна; редакция 2018/844 внесла изменения (ЕС).</p>	<p>EUR-Lex (Directive 2010/31/EU) [28]</p>
<p>Директива (EU) 2018/2001 – <i>Renewable Energy Directive II</i> (RED II)</p>	<p>Директива ЕС о возобновляемой энергии, устанавливающая цели доли ВИЭ и критерии учета энергии тепловых насосов как возобновляемой.</p>	<p>Определяет, что энергия окружающей среды (аэротермальная, геотермальная, гидротермальная), извлекаемая тепловыми насосами, учитывается как возобновляемая при условии, что выход энергии значительно превышает затраты первичной энергии. Фактически установлено требование сезонного коэффициента эффективности <i>SPF</i></p>	<p>Введена в 2018 г. (заменяет дир.2009/28/ЕС). Действует (ЕС), целевые</p>	<p>EUR-Lex (Directive (EU) 2018/2001, Annex VII) [20]</p>

		≥ 2.5 для электроприводных ТН, чтобы генерируемое тепло считалось возобновляемым. Директива также стимулирует увеличивать долю солнечного тепла (гелиосистем) в теплоснабжении зданий.	показатели пересмотрены до 2030 г.	
КМК 2.04.05-97* – «Отопление, вентиляция и кондиционирование» (строит. нормы Узбекистана)	Базовые строительные нормы Узбекистана по отоплению, вентиляции и кондиционированию (аналог СНиП 2.04.05). Обязательны для соц. объектов (школы, детсады, медучреждения и др.).	Устанавливает расчетные параметры внутреннего климата (температуры, кратности вентиляции), методы расчета тепловой нагрузки зданий в условиях Узбекистана (расчетные зимние температуры по климатическим зонам республики), требования к проектированию систем отопления. Включает нормы по автоматическому регулированию, резервированию (например, при совмещенном отоплении и ГВС – приоритет нагрева ГВС) и др. (с изменениями 2023 г.).	Действует с 1997 г.; обновлен приказом №74 от 06.04.2023 г. Минстроя РУз (с 15.04.2023)	OVKV.uz – нормативы ОВКВ Узбекистан [19]
КМК 2.01.18-2000* – «Нормы расхода энергии на отопление, вентиляцию и кондиционирование» (Узбекистан)	Норматив по удельному энергопотреблению зданий в РУз. Применялся для оценки годового расхода тепла в зданиях различного назначения.	Приводит расчетные показатели удельного годового теплоснабжения (кВт·ч/м ² или кг условного топлива на м ²) для отопления, вентиляции и кондиционирования, в зависимости от климатической зоны, типа здания и утепленности. Использовался для энергоаудита и проверки соответствия зданий нормативам энергосбережения. Не актуализирован : требуются новые данные (планируется обновление).	Утвержден в 2000 г., на данный момент устарел (снято действие).	OVKV.uz – нормативы ОВКВ Узбекистан [29]
КМК 2.01.04-18 – <i>Строительная теплотехника</i> (Узбекистан)	Норматив по теплотехническому расчету зданий. Применяется для расчетов теплопередачи ограждающих конструкций, тепловых потерь и энергоэффективности зданий.	Приводит нормы по сопротивлению теплопередаче, допустимые значения U для стен, окон, перекрытий и др., а также климатические параметры (температуры, HDD). Учитывается при подборе теплового насоса – расчет теплопотерь и годовой теплонагрузки здания. Учитываются расчеты, необходимые для применения ТН, но не регулирует саму технологию теплового насоса.	Утвержден в 2018 г., действующий	https://mc.uz/oz/documents/shah-arsozlik-normalari-va-qoidalari [30]
ШНҚ 2.08.08-22 <i>Пассивные здания: жилые</i> (Узбекистан)	Норматив по энергоэффективному проектированию зданий с почти нулевым потреблением энергии. Применяется для проектирования пассивных домов.	Приводит нормативы по теплоизоляции, герметичности, вентиляции с рекуперацией, ориентации здания и др. Уделяет внимание использованию ВИЭ, включая тепловые насосы как рекомендованную технологию. тепловые насосы прямо упоминаются как часть инженерных решений для пассивных зданий. В частности: - рекомендуются как основной источник тепла и холода; - применимы в сочетании с системами ГВС и вентиляцией с рекуперацией; - ожидается высокая эффективность (SCOP, SPF), соответствующая принципам пассивного дома; - принимаются во внимание при расчетах сезонного энергопотребления и баланса ВИЭ.	Утвержден в 2022 г., действующий	https://mc.uz/oz/documents/shah-arsozlik-normalari-va-qoidalari [17]

Таким образом укрепив нормативную основу, Узбекистан может достичь значимого прогресса, однако дальнейшее совершенствование регуляторной среды усилит практический эффект реформ, которая создаст условия для устойчивого развития строительной отрасли и сможет удовлетворять потребности экономики, не истощая энергетические ресурсы будущих поколений.

В этом свете имеет практический интерес рассмотреть применяемые методики для расчета и оценки основных параметров комбинированной системы теплоснабжения с ТН, солнечными коллекторами, ФЭС и резервными источниками с учетом местные климатические условия также.

Результаты

В табл. 2 обобщены основные методики и формулы, применяемые при расчетах комбинированной системы теплоснабжения с тепловым насосом, солнечными коллекторами и резервными источниками. Приведены методы определения тепловой нагрузки здания, требуемой мощности теплового насоса, расчет показателей эффективности (COP, SPF), подбор размеров буферных ёмкостей, определение необходимой площади солнечных коллекторов, баланс энергии и покрытие нагрузки по сезонам, а также упрощённые методы экспресс-оценки. Для каждого метода указаны ключевые формулы, пояснения и пример применения.

Отметим, представленные методы расчета в табл.2. (методы 1–3) закладывают основу расчёта: сначала определяется пиковая нагрузка и оптимальная конфигурация источников, затем оценивается эффективность (п.3). методы 4–5 касаются компонентов накопления и гелиосистем, которые интегрируются для повышения доли ВИЭ. Метод 6 проверяет покрытие нагрузки по балансу энергии (важно для обоснования энергосбережения и соответствия нормативам по ВИЭ). Наконец, пункт 7 – это полезные приближенные подходы на стадии предпроекта, когда подробных данных ещё нет; они позволяют быстро оценить, имеет ли смысл комбинированная схема (например, окупаемость ТН и солнечных коллекторов при ожидаемой экономии энергии). Все перечисленные методы расчёта используются комплексно при проектировании. Инженер сперва грубо оценивает показатели (метод 7), затем выполняет детальный расчёт нагрузки (метод 1 и 2) по нормативам СП/ISO, подбирает оборудование по мощности, проверяет эффективность (метод 3) и разрабатывает схему с буферными ёмкостями и солнечными полями (методы 4–5). Итогом является энергетический баланс (метод 6), подтверждающий достижение целей по энергоэффективности и возобновляемому покрытию. Такой научно-обоснованный подход обеспечивает надежную и экономичную работу комбинированной системы теплоснабжения в социальных объектах.

На основе общения существующего опыта по разработке и расчета основных параметров комбинированной системы теплоснабжения с ТН, солнечными коллекторами, ФЭС и резервными источниками авторами предложена упрощённая методика расчёта комбинированной системы теплоснабжения пассивного дома для климатических условий города Ташкента.

Ниже представлен алгоритм и подходы по расчету основных параметров системы.

Таблица 2

Основные методы расчёта для комбинированной теплонасосной системы

Аспект расчёта	Формулы и пояснения	Пример расчёта
1. Тепловая нагрузка здания (расчетная тепловая мощность на отопление)	<p>Метод по удельным показателям: используется удельная тепловая характеристика здания q_0 ($Bm/m^3 \cdot ^\circ C$ или $Bm/m^2 \cdot ^\circ C$). Расчетная часовая нагрузка:</p> $Q_{max} = q_0 \cdot V \cdot (t_{вн} - t_{н})$ <p>где V – отапливаемый объем здания, $t_{вн}$ – расчетная внутренняя температура (напр. $+20^\circ C$), $t_{н}$ – расчетная наружная температура (например, для Ташкента $-15^\circ C$). Значения q_0 берутся по аналогам или нормативам: для хорошо утепленного здания $\sim 0,15 Bm/m^3 \cdot ^\circ C$ (что эквивалентно $\sim 40-50 Bm/m^2$). Добавляется резерв $10-20\%$.</p> <p>Метод по СП/СНиП: более точный тепловой баланс:</p> $Q_{max} = \sum U_i \cdot A_i \cdot (t_{вн} - t_{н}) + Q_{инф},$ <p>где U_i – коэффициент теплопередачи i-й ограждающей конструкции, A_i – ее площадь, $Q_{инф}$ – потери на инфильтрацию (определяются по кратности воздухообмена или теплоступлению на отопление вентиляции). Этот метод соответствует ISO 12831 и отечественным нормам и учитывает все пути теплопотерь.</p>	<p>Пример 1: Школа объемом $V=5000 m^3$ в климате с $t_{н} = -15^\circ C$. При $q_0=0,17 Bm/m^3 \cdot ^\circ C$ (типичное для утепленного здания) и $t_{вн}=+20^\circ C$:</p> $Q_{max} = 0,17 \cdot 5000 \cdot (20 - (-15)) = 0,17 \cdot 5000 \cdot 35 = 29750 \text{ Вт.}$ <p>С учетом запаса 15% – около 34 кВт требуется на отопление.</p> <p>Пример 2: Детсад площадью $200 m^2$, $U_{ср}=0,5 Bm/m^2 \cdot ^\circ C$, $A_{опр}=750 m^2$, инфильтрация $\sim 1 ACH$. При $\Delta T=40^\circ C$:</p> $Q_{опр} = U_{ср} \cdot A_{опр} \cdot \Delta T$ $Q_{опр} = 0,5 \cdot 750 \cdot 40 = 15\,000 \text{ Вт,}$ <p>Потери на инфильтрацию:</p> $Q_{инф} \approx 5\,000 \text{ Вт.}$ <p>Суммарные теплопотери:</p> $Q_{max} = Q_{опр} + Q_{инф}$ $Q_{max} = 15000 + 5000 + 20000 = 20 \text{ кВт}$
2. Требуемая мощность теплового насоса (подбор ТН для системы)	<p>Полное покрытие нагрузки: если тепловой насос является основным источником тепла, его тепловая производительность Q_{HP} выбирается равной расчетной нагрузке Q_{max} (или чуть выше для резерва).</p> <p>Бивалентная схема: в холодном климате часто экономически целесообразно покрывать часть пиковой нагрузки резервным источником (электродотлом, газовым котлом). Определяется точка бивалентности – температура наружного воздуха t_{biv}, ниже которой включается резерв. Тепловой насос подбирается по нагрузке при t_{biv} (например, $\sim 70-80\%$ от Q_{max}).</p> <p>ГВС: Если ТН также греет воду, прибавляется требуемая мощность на ГВС (или ТН работает по приоритету ГВС).</p>	<p>Пример: для школы с расчетной потребностью 34 кВт (из примера выше) выберем схему: тепловой насос 24 кВт + электродотлом 10 кВт. При температуре наружного воздуха выше $-5^\circ C$ тепловой насос покрывает всю нагрузку; при более низкой температуре (до $-15^\circ C$) включается электродотлом, обеспечивая оставшиеся $\sim 30\%$. Такое разделение снижает требуемую мощность (и стоимость) ТН, при этом резервный электронагреватель покрывает пики.</p>
3. Коэффициент COP и сезонный SPF (эффективность теплового насоса)	<p>Coefficient of Performance (COP) – коэффициент преобразования теплового насоса при определенных условиях:</p> $COP = \frac{Q_{heat}}{W_{el}}$ <p>(отношение вырабатываемого тепла к потребляемой электроэнергии). COP зависит от температур источника и потребителя: чем выше температура источника и ниже</p>	<p>Пример: Тепловой насос воздух-вода имеет $COP=3,2$ при $+7^\circ C$ наружного (номинальные условия). За отопительный сезон COP варьируется: в морозы COP $\sim 2,0$, в мягкую погоду $\sim 4,0$. Пусть за зиму 20% тепла выработано при среднем COP $2,0$, 50% при COP $3,0$, 30% при COP $4,0$. Тогда $SPF = 0,2 \cdot 2,0 + 0,5 \cdot 3,0 +$</p>

	<p>требуемая температура подачи, тем выше COP. Для геотермальных ТН COP обычно 3–5, для воздух-воздух при -20°C может падать до 2.0.</p> <p>Seasonal Performance Factor (SPF) – сезонный (годовой) коэффициент эффективности, учитывающий изменение COP в течение сезона. Он равен отношению суммарного тепла за отопительный период к суммарной затраченной энергии:</p> $SPF = \frac{\sum Q_{heat,season}}{\sum W_{el,season}}$ <p>В ЕС используется близкий показатель $SCOP$ (Seasonal COP) по стандарту EN 14825. Для современных систем SPF3–4 (в умеренном климате) считается хорошим.</p>	<p>$0.3 \cdot 4.0 = 0.4 + 1.5 + 1.2 = 3.1$.</p> <p>Это означает, что в среднем на 1 кВт·ч электроэнергии получаем 3.1 кВт·ч тепла.</p>
<p>4. Буферный бак и аккумуляторы тепла (сглаживание работы ТН)</p>	<p>Буферный бак отопления включается между тепловым насосом и системой отопления для накопления тепла и предотвращения частых циклов включения/выключения (что ухудшает ресурс и эффективность ТН). Объем бака V выбирается из условия обеспечения минимального времени работы компрессора t_{min} при минимальной нагрузке. Например:</p> $V = \frac{t_{min} \cdot (Q_{HP} - Q_{min})}{\rho \cdot c \cdot \Delta T}$ <p>где Q_{HP} – мощность ТН, Q_{min} – минимальная тепловая нагрузка системы (при закрытых зонах), ΔT – допустимый диапазон температуры в баке ($^{\circ}\text{C}$), $\rho \cdot c$ – теплоёмкость воды ($\sim 4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$).</p> <p>Бак-аккумулятор ГВС применяется для хранения горячей воды: объем рассчитывается по расходу ГВС за период, формулы приведены в СП 30.13330 (напр. для суточного аккумулирования). Требуется нагрев воды до температуры выше 60°C для профилактики опасных бактерий, вызывающих пневмонию.</p>	<p>Пример: ТН 20 кВт, минимальный нагрузочный уровень 5 кВт (малый контур отопления), желаемое минимальное время работы 10 мин, $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$. Объем буфера:</p> $V = \frac{600(20-5)}{4200 \cdot 1000 \cdot 10} \approx 0,214 \text{ м}^3, \text{ то есть } \sim 214 \text{ литров.}$ <p>Ближайший стандартный объем – 200 или 250 л. Для системы ГВС детсада на 100 детей: при норме, скажем, 5 л/ребёнка в час пик и желании покрыть 2 часа пикового водозабора, бак-аккумулятор ГВС ~ 1000 литров (с учетом нагрева от 40 до 60°C).</p>
<p>5. Площадь солнечных коллекторов (для поддержки отопления/ГВС)</p>	<p>Необходимая суммарная площадь солнечных коллекторов S_{Σ} определяется из баланса энергии:</p> $Q_{solar} = S_{\Sigma} \cdot G \cdot \eta$ <p>где Q_{solar} – требуемое тепло от солнца за период (например, за отопительный сезон или в день), G – средняя суммарная солнечная радиация на 1 м^2 за этот период, η – эффективный КПД гелиосистемы (учитывает КПД коллектора, утраты, коэффициент использования). Отсюда:</p> $S_{\Sigma} = \frac{Q_{solar}}{G \cdot \eta}$ <p>Далее рассчитывается число коллекторов</p> $n = \frac{S_{\Sigma}}{S_1}$ <p>где S_1 – площадь одного модуля. При расчётах берут погодные данные (ежемесячную инсоляцию) и суммируют за сезон, либо применяют упрощенные методы (f-chart, метод доли солнечного покрытия).</p>	<p>Пример: требуется покрыть солнечными коллекторами 30% годовой потребности тепла для спортзала, что эквивалентно $Q_{solar}=6000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в год. Для данного региона годовая суммарная инсоляция $G \approx 1400 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, среднегодовой КПД системы $\eta \approx 0.5$ (50%).</p> <p>Тогда</p> $S_{\Sigma} = \frac{6000}{1400 \cdot 0.5} \approx 8.5 \text{ м}^2. \text{ Если выбранные плоские коллекторы имеют площадь по } 2 \text{ м}^2, \text{ нужно}$ $n \approx \frac{8.57}{2} \approx 4.3$ <p>т.е. ставим 5 коллекторов по 2 м^2 (итого 10 м^2, небольшой запас для неблагоприятных зимних условий).</p>

<p>6. Баланс энергии и сезонное покрытие нагрузки</p>	<p>Для оценки эффективности комбинированной системы рассчитывается годовой (или сезонный) баланс тепла: сколько энергии обеспечивает тепловой насос, сколько – солнечные коллекторы, и сколько требуется от резервного источника. Вычисляется <i>доля покрытия</i> солнечной системой</p> $f_{solar} = \frac{Q_{solar}}{Q_{total}}$ <p>и аналогично <i>доля теплового насоса</i> и др. При проектировании задаются целевые доли (напр., солнечное покрытие 20–30% отопления, остальное ТН) и проверяется удовлетворение потребности в каждый месяц.</p> <p>Также рассчитывается экономия топлива/энергии: например, сколько сэкономлено газа благодаря работе ТН+Солнце. Важно проверить, что в самые холодные месяцы суммарная мощность ТН + резерв обеспечивает нагрузку, а в переходные месяцы избыток солнца может аккумулироваться (или отключается часть ТН).</p>	<p>Пример: для административного здания годовая потребность в тепле 100 МВт·ч. Запланировано, что 30 МВт·ч даст солнечная установка, 60 МВт·ч – тепловой насос, и 10 МВт·ч – электрический котёл-резерв. По результатам расчёта по месяцам выявлено: в декабре-январе солнечное покрытие лишь 5% (низкая инсоляция), тепловой насос даёт ~70%, оставшиеся 25% – электрический котёл. Летом избыток солнечной энергии направляется на ГВС и на подзаряд грунта (для геотермальных ТН) – тем самым достигается возобновляемое покрытие около 90% годовой тепловых потребностей.</p>
<p>7. Упрощённые методы экспресс-оценки</p>	<p>Для предварительной оценки эффективности комбинированной системы применяются укрупнённые показатели:</p> <p>– Удельное годовое потребление тепла на отопление E_{year} (кВт·ч/м²): например, для школы стандартной постройки ~100кВт·ч/м²·год, для современной утеплённой ~50 кВт·ч/м²·год. Зная площадь здания, сразу оценивают годовое теплопотребление.</p> $Q_{year} = E_{year} \cdot A$ <p>– Метод градусо-суток (HDD):</p> $Q_{year} = \frac{U_{огр} \cdot A \cdot (t_{вн} - t_{base}) \cdot HDD}{\eta_{syst}}$ <p>где HDD – градусо-сутки отопительного периода, t_{base} – балансная температура. Это даёт приблизительно сезонное потребление.</p> <p>Правило долей: например, 1 м² солнечного коллектора покрывает ~50–70 Вт отопительной нагрузки (усредненно по году для климата Узбекистана), а 1 кВт теплового насоса заменяет ~2.5–3 кВт электрического нагрева (с учётом COP). Такие укрупнённые оценки помогают на ранней стадии.</p>	<p>Пример: для упрощённой оценки: детсад площадью 1000 м², утепление среднее. Берем удельный расход 80 кВт·ч/м²·год – получаем 80 000 кВт·ч/год тепла нужно. Из них планируем 20% (16 000 кВт·ч) от солнца – по правилу 1 м² ≈ 350 кВт·ч/год в данном климате, потребуется ~46 м² коллекторов. Остальное 64 000 кВт·ч покрывает тепловой насос. При среднем $SPF \approx 3$ это ~21 300 кВт·ч электроэнергии, экономия сравнимо с прямым электрическим отоплением ~70%.</p>

Отметим, представленные методы расчета в табл.2. (методы 1–3) закладывают основу расчёта: сначала определяется пиковая нагрузка и оптимальная конфигурация источников, затем оценивается эффективность (п.3). методы 4–5 касаются компонентов накопления и гелиосистем, которые интегрируются для повышения доли ВИЭ. Метод 6 проверяет покрытие нагрузки по балансу энергии (важно для обоснования энергосбережения и соответствия нормативам по ВИЭ). Наконец, пункт 7 – это полезные приближенные подходы на стадии предпроекта, когда подробных данных ещё нет; они позволяют быстро оценить, имеет ли смысл комбинированная схема (например, окупаемость ТН и солнечных коллекторов при ожидаемой экономии энергии). Все перечисленные методы расчёта используются комплексно при проектировании. Инженер сперва грубо оценивает показатели (метод 7), затем выполняет детальный расчёт нагрузки (метод 1 и 2) по нормативам СП/ISO, подбирает оборудование по мощности, проверяет эффективность (метод 3) и разрабатывает схему с буферными ёмкостями и солнечными полями (методы 4–5). Итогом является энергетический баланс (метод 6), подтверждающий достижение целей по энергоэффективности и возобновляемому покрытию. Такой научно-обоснованный подход обеспечивает надежную и экономичную работу комбинированной системы теплоснабжения в социальных объектах.

На основе общения существующего опыта по разработке и расчета основных параметров комбинированной системы теплоснабжения с ТН, солнечными коллекторами, ФЭС и резервными источниками авторами предложена упрощенная методика расчёта комбинированной системы теплоснабжения пассивного дома для климатических условий города Ташкента.

Обсуждение

Ниже представлен алгоритм и подходы по расчету основных параметров системы.

1. Расчёт теплопотерь здания (отопительная нагрузка). Основой для расчёта является определение теплопотерь через ограждающие конструкции здания. В упрощенном виде тепловая потеря рассчитывается по формуле суммирования:

$$Q_{\text{теплопотерь}} = \sum_i (U_i \cdot A_i \cdot \Delta T) + Q_{\text{инф}}, \quad (1)$$

где U_i – коэффициент теплопередачи i -й ограждающей конструкции (стены, крыши, окна и т.п.), A_i – площадь этой конструкции, $\Delta T = T_{\text{вн}} - T_{\text{н}}$ – разность между расчетной внутренней (комнатной) температурой и расчетной наружной температурой, а $Q_{\text{инф}}$ – потери тепла на инфильтрацию (просачивание холодного воздуха) [26].

Для жилых пассивных домов обычно принимается $T_{\text{вн}} = +20^\circ\text{C}$. Согласно климатическим нормативам [17], расчетная минимальная наружная температура для г. Ташкента составляет порядка -15°C . Таким образом, разность температур ΔT для расчета отопления достигает $\sim 35^\circ\text{C}$ в самых холодных условиях. Длительность отопительного периода и другие климатические показатели (градусо-сутки, средняя температура сезона) также берутся из нормативных климатологических данных, что важно для оценки сезонного потребления энергии [31].

Для ускоренного расчета можно использовать удельную тепловую характеристику здания q_0 – показатель потерь тепла на единицу объема или площади на 1°C перепада температур. Для хорошо утепленного, энергоэффективного здания (пассивного дома) q_0 может быть порядка $0,10-0,15 \text{ Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ (что соответствует $\sim 30-50 \text{ Вт/м}^2$ при пересчете на площадь пола). Тогда расчетная тепловая мощность на отопление оценивается как:

$$Q_{\text{отопл}} \approx q_0 \cdot V \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{н}}), \quad (2)$$

где V – отапливаемый объем помещения. Например, при $q_0 = 0,15 \text{ Вт/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, объеме дома 300 м^3 и $\Delta T = 35^\circ\text{C}$ получим $Q_{\text{отопл}} \approx 0,15 \times 300 \times 35 \approx 1575 \text{ Вт}$.

Для увеличения надежности добавляют $10-20\%$ запаса по (учет непредвиденных потерь, ветра и др.), что даст $\sim 1,8-1,9 \text{ кВт}$ в данном примере. Данный упрощенный метод расчета

согласуется с более точным балансным расчетом по СНиП/СП, который учитывает *все* пути потерь (через стены, крышу, окна, пол и вентиляцию) [22].

В нормативных документах по теплозащите зданий (например, СП 50.13330 «Тепловая защита зданий») приведены требования к максимальным значениям U и методики их, что позволяет задать конструкцию пассивного дома так, чтобы теплопотери были минимальны и удовлетворяли стандарту энергосбережения.

Для пассивного дома характерны очень низкие U -значения: стены и крыша $\sim 0,1-0,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$, окна $\sim 0,6-0,8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ и высокая герметичность. В результате суммарная расчетная тепловая мощность на отопление обычно не превышает $10-20 \text{ Вт/м}^2$ площади (например, 1–2 кВт для дома 100 м²) – что в разы ниже, чем у обычных зданий. Однако именно правильный расчет теплопотерь задает основу для последующего подбора оборудования с оптимизированными параметрами.

2. Покрытие нагрузки на электро и теплоснабжения тепловым насосом.

Выбор мощности ТН. Тепловой насос (ТН) в комбинированной системе обычно выступает основным генератором тепла. В идеальной ситуации его тепловая производительность выбирается равной расчетной теплопотребности здания (полное покрытие нагрузки), то есть, тепловой насос должен выдавать требуемые, скажем, 2 кВт тепла при расчетных -15°C наружного воздуха. На практике часто делают небольшое превышение (резерв $\sim 10\%$) или, напротив, в экономичных схемах пассивных домов допускают неполное покрытие: ТН закрывает, например, $\sim 70-80\%$ максимальной тепловой нагрузки, а пики в самые холодные часы покрываются резервным источником. Температура, ниже которой подключается резерв, называется *бивалентной точкой* t_{bivt} . Для климата Ташкента с мягкой зимой можно задать t_{bivt} достаточно низкой (напр., -5°C), чтобы большую часть времени работал только ТН.

Эффективность ТН. Как известно Ключевой параметр ТН – коэффициент преобразования COP (*Coefficient of Performance*), равный отношению вырабатываемого тепла к потребляемой электроэнергии. Например, $COP=3$ означает, что на каждые $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ затраченной электроэнергии тепловой насос дает $3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ тепла. Таким образом, при $COP=3$ примерно $2/3$ вырабатываемого тепла получено из возобновляемого источника (низкопотенциального тепла: воздух, грунт или вода), а $1/3$ – за счет электричества. У современных тепловых насосов COP сильно зависит от условий работы: чем выше температура источника (например, грунт теплее воздуха) и чем ниже требуемая температура отопительной воды, тем выше COP. В пассивном доме обычно применяют низкотемпературное отопление (теплые полы, $30-40\text{°C}$), что благоприятно для COP.

В климате Ташкента тепловой насос зимой может иметь COP ~ 3 с источником воздух-воздух или воздух-вода и выше (при умеренных морозах) а с использованием геотермальных источников – ещё выше (4–5).

Для учета переменного COP вводят *сезонный фактор производительности* SPF (*Seasonal Performance Factor*), который равен среднему COP за отопительный сезон с учетом всех колебаний температуры. Например, если зимой COP меняется от 2 до 4, в среднем SPF может получиться $\sim 3,0-3,5$. В расчетах доли покрытия теплопотребления обычно берут именно сезонный показатель: доля тепла, обеспеченная тепловым насосом за год, относительно потребленной им энергии. Чем выше SPF, тем больше часть годового тепла дом получает от окружающей среды бесплатно. Для современных систем в умеренном климате SPF $\sim 3-4$ считается очень хорошим, то есть $70-75\%$ энергии приходит из окружающей среды, $25-30\%$ – из электросети.

3. Доля теплового насоса в энергобалансе системы. В комбинированной системе доля ТН определяется как по установленной мощности, так и по выработке энергии. В большинстве случаев при проектировании планируется, что ТН обеспечивал основную часть годовой потребности в тепле – например, $60-80\%$, остальное покрывается через солнечные коллекторы

и резервный источник. Фактическая доля зависит от климатических условий: зимой в пасмурные морозные дни вся нагрузка ляжет на ТН (и резерв), а солнечный вклад будет минимален, тогда как в межсезонье солнце может разгрузить тепловой насос, в связи с чем важно рассматривать *годовой баланс* (см. ниже). В контексте пассивного дома с малым энергопотреблением ТН может быть малой мощности, работая с высокой эффективностью и покрывая большую часть тепла, кроме кратких пиковых периодов.

4. Солнечные коллекторы: расчет теплового вклада. Регион Ташкента обладает высоким солнечным потенциалом: по данным исследований, годовая суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность составляет порядка $1400\text{--}1900 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ [32]. Это соответствует среднесуточной глобальной радиации $\sim 4\text{--}5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день. Для оценки работы гелиоколлекторов обычно используют данные по средней месячной инсоляции [24]. В пассивном доме также важно учитывать архитектуру: наличием южного остекления уже используется *пассивное* солнечное тепло – однако для целенаправленного сбора тепла применяются *активные* солнечные коллекторы.

Формула полезного солнечной системы теплоснабжения рассчитывается как:

$$Q_{solar} = G \cdot S \cdot \eta, \quad (3)$$

где G – суммарная солнечная радиация, падающая на 1 м^2 коллектора за рассматриваемый период ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$), S – площадь апертуры коллектора (м^2), а η – эффективный КПД солнечной системы [33]. Эффективный КПД учитывает все потери: оптический КПД самого коллектора, тепловые утечки, коэффициент использования (т.е. насколько тепло от коллектора действительно используется для отопления/ГВС). В годовом балансе для хорошо спроектированной солнечной установки можно принять $\eta \approx 0.5$ (50%) – такая усредненная цифра достижима для современных плоских коллекторов с надлежащей изоляцией и аккумулярованием тепла.

Необходимая площадь коллекторов: Задавая цель, долю теплоснабжения за счет солнца, рассчитаем требуемую площадь коллекторов. Например, если нужно обеспечить Q_{solar} – определенный объем тепла за сезон или год, то площадь:

$$S = \frac{Q_{solar}}{G \cdot \eta} = 18. \quad (4)$$

Для оценки G берем суммарную падающую солнечную радиацию на лучевоспринимающую поверхность коллектора.

Как известно для Ташкенте оптимальный угол наклона коллекторов $\sim 30\text{--}40^\circ$ (для максимума зимой и межсезонье) с учетом ориентирования их на юг. Предположим, годовая радиация на такой наклонной поверхности $\sim 1600 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Тогда 1 м^2 коллектора при КПД 50% даст $\sim 800 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ тепла в год. Если дом за год требует, скажем, $3000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ тепла, и есть необходимость $\sim 30\%$ покрыть за счет солнечной энергии ($\approx 900 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$), по предварительным расчетам достаточно около $900/800 \approx 1.1 \text{ м}^2$ [34].

На практике же ставят больше, исходя из потребности в горячем водоснабжении (ГВС) летом. Для семьи из 3–5 человек часто устанавливают $\sim 4\text{--}6 \text{ м}^2$ солнечных коллекторов, что позволяет покрыть до 60–70% годовой потребности в горячей воде и 20–30% отопления.

При этом важно учитывать распределение по времени: летом солнечные коллекторы дают избыток тепла (его можно направить на ГВС или в сезонный аккумулятор), а зимой их выход снижается. Тем не менее, даже зимой в солнечный полдень коллекторы могут поддержать систему отопления, снизив нагрузку на тепловой насос. В расчетах полезно определить *долю солнечного покрытия* – отношение выработанного солнцем тепла к общей потребности, а также проверить помесечно [35].

Существуют упрощенные методики (например, f-chart) для оценки этой доли по климатическим данным. В контексте комбинированной системы ТН+СВК предполагается, что солнечная установка поддерживает как отопление, так и ГВС, приоритетно нагревая воду в теплые месяцы, а в отопительный период работая на отопление при наличии солнца.

5. Фотоэлектрическая солнечная станция (ФЭС) и ее роль в энергобалансе.

Фотоэлектрические панели (PV) служат для производства электроэнергии, которая может покрывать энергопотребление дома и оборудования теплоснабжения. В климатических условиях Узбекистана 1 кВт установленной мощности ФЭС вырабатывает порядка $1400\text{--}1600 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии в год (при оптимальной ориентации и минимальном затенении). Например, станция мощностью 3 кВт (пик) способна дать $\sim 4500 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в год, может быть использована для питания теплового насоса, циркуляционных насосов системы отопления, электрокотла-резерва, а также прочих бытовых нужд [36].

Доля покрытия потребностей в общем энергобалансе здания ФЭС снижает потребление электроэнергии из внешней сети. Если рассматривать только систему отопления и ГВС, то выработка солнечной станции может покрыть значительную часть затрат ТН на электричество. Так, при SPF теплового насоса ~ 3 , на каждый $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ тепла требуется $\sim 0.33 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии. Для дома, нуждающегося в $3000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ тепла в год, электрические затраты ТН $\sim 1000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$. Уже установка ФЭС мощностью $\sim 1 \text{ кВт}$ (выработка $\sim 1500 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$) теоретически перекроет это потребление на годовом интервале. В реальности совпадение во времени не идеальное – летом избыток солнечной электроэнергии, а зимой ее нехватка. Обычно даже при наличии солнечных панелей остается потребность брать электричество из сети в пасмурные зимние дни и особенно ночью [37]. Однако в годовом исчислении доля покрытия может быть очень высокой: при достаточно большой площади ФЭС отопление дома может стать условно “энергонезависимым”. Например, исследование для холодного климата (Варшава) показало, что небольшая PV-система $\sim 2.7 \text{ кВт}$ покрывает $\sim 23\text{--}25\%$ годовой потребности в энергии теплового насоса для отопления. Для местности города Ташкенте, с учетом солнечной инсоляции этот показатель будет выше при той же мощности.

Практически, в пассивном доме разумно соотнести мощность ФЭС с годовым энергопотреблением всего дома. Поскольку потребности в отоплении снижены, значительную часть общего баланса занимают бытовые приборы, освещение, кондиционирование. Установка, например, $3\text{--}5 \text{ кВт}$ солнечных панелей на крыше способна выработать $4500\text{--}7500 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в год, что покрывает большую часть нужд среднего дома. Таким образом, ФЭС вносит вклад, делая дом ближе к нулевому потреблению (NZEB) и позволяя тепловому насосу работать от возобновляемой энергии. В расчетной методике это учитывается на этапе оценки годового энергопотребления: после определения, сколько электроэнергии нужно тепловому насосу и резерву, вычисляют, сколько из этого может дать солнечная электростанция, и остаток будет требоваться из внешней сети. Также анализируют зимние пики – достаточно ли мощности сети/резерва при минимальной генерации ФЭС.

6. Резервный источник и его необходимая мощность. Назначение резервного источника тепла (электронагреватель, газовый котёл или другой котёл) обеспечение надежности и покрытия пиков, когда основные возобновляемые источники не справляются. Даже в пассивном доме могут возникать ситуации, когда: *a*- на улице аномально холоднее расчетного (ТН теряет мощность и COP падает), *б*- длительное время нет солнца (выработка как гелиоколлекторов, так и ФЭС минимальна), *в*- необходим быстрый нагрев ГВС до высокой температуры. В эти моменты резервный нагреватель обеспечивает недостающую энергию. Согласно рекомендациям, например, СП 525, резервирование теплонасосных систем может выполняться электрическим котлом на оставшиеся $20\text{--}30\%$ нагрузки. В бивалентной схеме его включение происходит при достижении наружной температуры t_{bivt} или при достижении предельной мощности ТН.

Расчет мощности резервного источника обычно выбирается равной той части нагрузки, которую не покрывает тепловой насос. Если ТН установлен меньшей мощности, чем Q_{max} здания, то резерв должен покрыть разницу. Например, если дому нужно 10 кВт , а ТН выбран на 7 кВт , то резервный котёл ставится $\sim 3 \text{ кВт}$ (с небольшим запасом). В пассивном доме нагрузки низкие, поэтому часто резерв делают равным по мощности тепловому насосу или

даже совмещают (например, в составе самого теплового насоса есть электронагреватель). Потребность в резерве по энергии оценивается по доле годового времени, когда резерв включен. Идеально, если резервный источник покрывает лишь считанные проценты годового тепла. К примеру, по расчетному балансу может получиться, что на резерв приходится $\sim 10\%$ годового теплопотребления – в самые холодные недели зимы, что приемлемо, учитывая простоту и низкий капе́кс электродкотла.

При проектировании комбинированной системы проверяется, что *в любой месяц* суммарная доступная мощность (ТН + при необходимости резерв) покрывает теплопотери здания. В самые неблагоприятные периоды (зима, ночь, пасмурно) дом будет отапливаться за счет ТН на максимуме и подключаемого резерва – поддерживая требуемые $+20^\circ\text{C}$. В то же время, в солнечные периоды резерв отключен, а нагрузка делится между ТН и солнцем. Правило надежности требует, чтобы резервный источник мог в экстремальном случае заменить основной (например, при отключении ТН на ремонт): т.е. иметь возможность обеспечить $\sim 100\%$ нагрузки кратковременно. Для электродкотла это несложно, а при резерве в виде газового котла его обычно выбирают равной полной расчетной мощности (как альтернатива ТН).

Отдельно резерв также необходим для системы ГВС. Если солнечные коллекторы в пасмурный период не нагревают воду, а тепловой насос сконфигурирован так, что греет только до 45°C , то догрев до санитарных 60°C может выполнять электронагреватель в бойлере.

7. Годовой баланс энергии и сезонное покрытие. Для обобщенной оценки эффективности составляем баланс системы: сколько тепла за год дает каждый источник, рассчитываем долю покрытия каждого: солнечная, теплового насоса. Целевой вариант для пассивного дома – максимальное покрытие за счет возобновляемых источников (ТН+Солнце) и минимальное – за счет ископаемого или сетевого (резерв). Ниже приведен пример такого баланса и упрощенного расчета для жилого пассивного дома площадью 100 м^2 , для условий г. Ташкента.

Исходные данные объекта: Одноэтажный дом площадью 100 м^2 (условно $10\times 10\text{ м}$), высота помещений 3 м ($V=300\text{ м}^3$). Конструкция соответствует пассивному стандарту: стены $U=0.2\text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$ площадью $\sim 120\text{ м}^2$, крыша $U=0.15$ (100 м^2), пол $U=0.2$ (100 м^2 на грунт), окна $U=0.7$ (общая площадь $\sim 20\text{ м}^2$, преимущественно на юг для пассивных солнечных теплопоступлений). Расчетная наружная температура для Ташкента -15°C -, внутренняя $+20^\circ\text{C}$, то есть $\Delta T=35^\circ\text{C}$.

Теплопотери и нагрузка: Суммарная теплопотеря через ограждения:

- Стены: $120\text{ м}^2 \times 0.2\text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C} \times 35^\circ\text{C} = 840\text{ Вт}$
- Крыша: $100\text{ м}^2 \times 0.15\text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C} \times 35^\circ\text{C} = 525\text{ Вт}$
- Окна: $20\text{ м}^2 \times 0.7\text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C} \times 35^\circ\text{C} = 490\text{ Вт}$
- Пол: $100\text{ м}^2 \times 0.2\text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C} \times (\approx 15^\circ\text{C}) * = \sim 300\text{ Вт}$ (температурный напор к грунту меньше, оцениваем эквивалентно 15°C)

Итого теплопотери через ограждения: $\approx 2155\text{ Вт}$ при -15°C .

Потери на инфильтрацию сведены к минимуму (пассивный дом герметичен, принудительная вентиляция с рекуперацией). Остаточные потери на вентиляцию оценим $\sim 0.3\text{ АСН}$: порядка $300\text{--}500\text{ Вт}$. Добавив запас, получаем расчетную требуемую мощность отопления $\approx 2.5\text{--}3.0\text{ кВт}$. Это и будет величина Q_{max} . Удельно – $\sim 25\text{--}30\text{ Вт/м}^2$, что близко к характеристикам пассивного дома. Кроме того, годовая потребность в тепле на отопление можно оценить через градусо-сутки: для Ташкента (отопительный сезон около $120\text{--}150$ суток со средней $\Delta T \sim 15^\circ\text{C}$) порядка $15\text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2\cdot\text{год}$, то есть $\sim 1500\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ на отопление всего дома за год.

Нагрузка ГВС: Предположим, в доме проживает 4 человека, суточное потребление горячей воды $\sim 150\text{ л}$ (в среднем экономичном режиме) при 45°C . Годовая потребность энергии

на ГВС ~ 2000 кВт·ч. Таким образом, совокупная годовая тепловая потребность (отопление + ГВС) ≈ 3500 кВт·ч.

Конфигурация системы: выберем воздушный тепловой насос номинальной тепловой мощностью 2.0 кВт. Этого хватит для покрытия $\sim 80\%$ расчетной нагрузки; при температурах выше -5°C он сможет обеспечивать все 100% отопления. Ниже -5°C может потребоваться помощь резерва. В качестве резервного источника предусмотрен электрический ТЭН ~ 1.5 кВт (встроен в систему или бойлер). Солнечные коллекторы: площадь 4 м² (например, 2 панели по 2 м²) на крыше, наклон 30° . Фотоэлектрическая станция: мощность 3 кВт(пик), ориентирована на юг. Ниже суммированы результаты расчетов по такой системе.

Эффективность ТН: Предполагая среднегодовой COP ~ 3.2 (SPF ~ 3.5 благодаря мягкому климату), тепловой насос за год из 1000 кВт·ч электроэнергии выработает ~ 3500 кВт·ч тепла. Это приблизительно равняется полной потребности дома, однако часть этой тепловой энергии придет от солнца (через коллекторы). Поэтому фактически тепловому насосу нужно будет выработать меньше.

Выработка солнечных коллекторов: Годовая инсоляция на поверхность СВК при угле наклона 30° для условий города Ташкента составляет ≈ 1600 кВт·ч/м². При $\eta \approx 0.5$ 4 м² солнечный тепловой коллектор может выработать $Q_{solar} \approx 1600 \times 4 \times 0.5 = 3200$ кВт·ч/год тепловой энергии, что теоретический максимум при полном использовании тепла. Поскольку дом столько тепла не требует круглогодично, часть летнего тепла не понадобится (перегрев), которую можно использовать в сезонных системах аккумулирования [35].

Реалистично можно считать, что $\sim 50\%$ солнечной выработки будет использовано с пользой (приоритетно на ГВС и немного на отопление в переходные месяцы). То есть полезный вклад солнца ~ 1600 кВт·ч/год. Это $\sim 46\%$ от годовой потребности. Однако зимой доля солнца недостаточно для нужд теплоснабжения: например, в декабре-январе солнечное покрытие может составлять лишь $\sim 5\%$, тогда как остальное даёт ТН и резерв.

Генерация ФЭС: 3 кВт солнечных панелей произведут около 4500 кВт·ч электроэнергии в год, что более чем достаточно, чтобы покрыть потребности теплового насоса (~ 1000 кВт·ч) и электронагревателя резерва (несколько сотен кВт·ч). Оставшаяся электроэнергия пойдет на бытовое потребление дома или в сеть. На годовом балансе можно считать, что отопление и ГВС полностью обеспечиваются возобновляемой энергией (тепловой насос + солнце), а выбросы CO₂ сведены к нулю. Тем не менее, следует помнить о необходимости подключения к сети: в пасмурные зимние дни дом будет потреблять электроэнергию из сети (но за счет «экспорта» летом годовой баланс выходит в плюс).

Баланс тепла по источникам: на основе расчетов распределим, какая доля тепла обеспечена каждым источником за год. Предположим, что солнечные коллекторы дали ~ 1200 кВт·ч полезного тепла (остальное их тепло летом избыточно), тепловой насос выработал ~ 2100 кВт·ч, а резервный электронагреватель – ~ 200 кВт·ч. Тогда суммарно 3500 кВт·ч покроют потребность. В процентах: ТН $\sim 60\%$, солнце $\sim 34\%$, резерв $\sim 6\%$. В табл. 3 иллюстрируются показатели годового энергобаланса в тепле рассматриваемого пассивного дома 100 м², г. Ташкент по источникам энергии.

Таблица 3

**Годовой баланс тепла по источникам
 (пример для пассивного дома 100 м², г. Ташкент)**

№	Источник тепла	Годовая выработка	Доля покрытия
1	Тепловой насос (воздух-вода, SPF ≈ 3.5)	2100 кВт·ч тепла (600 кВт·ч электричества)	60 %
2	Солнечные коллекторы (4 м ²)	1200 кВт·ч тепла	34 %
3	Резервный электронагреватель	200 кВт·ч тепла (200 кВт·ч электричества)	6 %
	Итого за год	3500 кВт·ч тепла	100 %

Как видно, из табл. 1. возобновляемые источники (ТН и солнечные коллекторы) покрывают ~94% потребности в тепле. Роль резерва сведена до 6% (и то это всего ~200 кВт·ч, что соответствует нескольким холодным ночам зимой). В самые суровые месяцы картина иная: доля солнца стремится к минимуму, а нагрузка ложится на тепловой насос и электрический ТЭН. Например, условно в январе из потребных 500 кВт·ч тепла только 25 кВт·ч даст солнце (5%), ~350 кВт·ч – тепловой насос (70%), а ~125 кВт·ч – электронагрев (25%) [37]. При этом отметим, что летом почти всю горячую воду обеспечивает солнце, и ТН может отключаться.

Таким образом, комбинированная система работает эффективно круглый год: большую часть времени используя бесплатную возобновляемую энергию, а в пиковые моменты – небольшой резерв из сети. Благодаря малому энергопотреблению пассивного дома и правильно рассчитанной системе, достигается высокая доля возобновляемого покрытия (в нашем примере ~90% за год) и бесперебойное теплоснабжение объекта даже в неблагоприятных условиях.

Выводы

Проведённое исследование объединило анализ нормативной базы, критическую оценку существующих методик и практическую демонстрацию расчёта комбинированной системы тепло- и хладоснабжения с тепловым насосом, и ВИЭ. Инвентаризация национальных стандартов Узбекистана выявила существенный пробел: отсутствие целостной методики расчёта подобных систем для жилых объектов, особенно пассивных домов. Пример расчёта для жилого дома площадью 100 м² подтвердил применимость и эффективность предложенных подходов, одновременно обозначив сложности интеграции теплового насоса и ВИЭ в проектирование систем отопления и охлаждения.

Выявленный недостаток нормативного регулирования указывает на необходимость разработки новой унифицированной методики расчёта комбинированных систем с учётом местных условий. Научная новизна работы состоит в обосновании принципов такого подхода, адаптированного к архитектурно-планировочным особенностям и климатическим параметрам Узбекистана. Предложенная методика позволит инженерам более ускоренно и точнее оценивать энергопотребление и эффективность систем с тепловыми насосами и ВИЭ, что важно для продвижения энергоэффективных и пассивных домов в регионе.

Таким образом, внедрение стандартизированного подхода к расчёту комбинированных систем тепло- и хладоснабжения будет способствовать устойчивому проектированию зданий в Узбекистане. Разработка соответствующих нормативных документов и рекомендаций облегчит интеграцию возобновляемых источников энергии и тепловых насосов в практику строительства, повышая экологичность и снижая эксплуатационные затраты. Дальнейшие исследования могут быть направлены на экспериментальную проверку предлагаемых решений и уточнение методики с учётом развития новых технологий и расширения базы климатических данных.

Литература

- [1] https://ukesr.supergenstorage.org/chapters/uk-energy-system?utm_source
- [2] <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
- [3] Martinez, S., Michaux, G., Salagnac, P., & Bouvier, J.-L. (2017). Micro-combined heat and power systems (micro-CHP) based on renewable energy sources. *Energy Conversion and Management*, 154, 262–285. doi:10.1016/j.enconman.2017.10.035
- [4] Lin, H., Clavreul, J., Jeandaux, C., Crawley, J., & Butnar, I. (2021). Environmental life cycle assessment of heating systems in the UK: Comparative assessment of hybrid heat pumps vs. condensing gas boilers. *Energy and Buildings*, 240, 110865. doi:10.1016/j.enbuild.2021.110865.

- [5] Mohammad Saffari, David Keogh, Mattia De Rosa, Donal P. Finn, Technical and economic assessment of a hybrid heat pump system as an energy retrofit measure in a residential building, *Energy and Buildings*, Volume 295, 2023, 113256, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113256>
- [6] Blarke, M. B. (2012). Towards an intermittency-friendly energy system: Comparing electric boilers and heat pumps in distributed cogeneration. *Applied Energy*, 91(1), 349–365. [doi:10.1016/j.apenergy.2011.09.038](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.09.038)
- [7] Kien Quoc Vo, & Thi Phuong Tuyen Nguyen. (2024). Evaluation of Energy Saving and Environmental Protection Effect of Heat Pump for Heating Make-up water for Industrial Boilers. *Journal of Technical Education Science*, 19(06), 56–65. <https://doi.org/10.54644/jte.2024.1705>
- [8] Bart Aspeslagh, Stefanie Debaets. (2013) Hybrid heat pumps - saving energy and reducing carbon emissions. *The REHVA European HVAC Journal*. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. Volume: 50 Issue: 2 March 2013, 20-25. https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/hybrid-heat-pumps-saving-energy-and-reducing-carbon-emissions?utm_source
- [9] Vega, J., & Cuevas, C. (2019). Parallel vs series configurations in combined solar and heat pump systems: a control system analysis. *Applied Thermal Engineering*, 114650. [doi:10.1016/j.applthermaleng.2019.11](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.11)
- [10] Minwoo Lee, Dongchan Lee, Myeong Hyeon Park, Yong Tae Kang, Yongchan Kim, Performance improvement of solar-assisted ground-source heat pumps with parallelly connected heat sources in heating-dominated areas, *Energy*, Volume 240, 2022, 122807, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122807>
- [11] A. Badieli, Y. Golizadeh Akhlaghi, X. Zhao, S. Shittu, X. Xiao, J. Li, Y. Fan, G. Li, A chronological review of advances in solar assisted heat pump technology in 21st century, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 132, 2020, 110132, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110132>
- [12] Prakash, K. B., Almeshaal, M., Pasupathi, M. K., Chinnasamy, S., Saravanakumar, S., & Rajesh Ruban, S. (2023). Hybrid PV/T Heat Pump System with PCM for Combined Heating, Cooling and Power Provision in Buildings. *Buildings*, 13(5), 1133. <https://doi.org/10.3390/buildings13051133>
- [13] M. Tahir Erdinc, Cagri Kutlu, Saban Unal, Orhan Aydin, Yuehong Su, Saffa Riffat, Performance improvement potential of a PV/T integrated dual-source heat pump unit with a pressure booster ejector, *Thermal Science and Engineering Progress*, Volume 37, 2023, 101534, ISSN 2451-9049, <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101534>
- [14] Закон Республики Узбекистан № 539 «Об использовании возобновляемых источников энергии». 21.05.2019 г
- [15] Закон Республики Узбекистан № 906 «О внесении дополнений и изменений в некоторые законодательные акты Республики Узбекистан в связи с дальнейшим развитием использования возобновляемых источников энергии»
- [16] Постановление Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 года № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии».
- [17] Министерство строительства Республики Узбекистан, “ШНК 2.08.08-22. Пассивные здания: жилые”. [Онлайн]. Доступно: https://mc.uz/uploads/mcuoz_999401255275.pdf
- [18] <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/phius-information#:~:text>
- [19] Приказ министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан, от 06.04.2023 г. № 74 «О внесении изменений в пункт 3.10 строительных норм и правил «Отопление, вентиляция и кондиционирование» КМК 2.04.05-97

- [20] Directive (eu) 2018/2001 of the european parliament and of the council. 21.12.2018 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>
- [21] СП 525.1325800.2023. Теплонасосные системы теплохладоснабжения. Правила проектирования. – М.: Минстрой России, 2023 meganorm.ru
- [22] СП 60.13330.2020 (СНиП 41-01-2003). Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Минстрой России, 2020
- [23] СП 50.13330.2012 (СНиП 23-02-2003). Тепловая защита зданий. – М.: Минрегион РФ, 2011
- [24] СП 131.13330.2012 (СНиП 23-01-99). Строительная климатология. – М.: Минрегион РФ, 2012.
- [25] СП 373.1325800.2018. Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования. – М.: Минстрой России, 2018.
- [26] ГОСТ Р 54865-2011. Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами. – М.: Росстандарт, 2011.
- [27] ISO 12831-1:2017. Energy performance of buildings – Method for calculation of the design heat load. – Brussels: CEN, 2017.
- [28] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) iea.org. – Official Journal of the EU, L 153/13.
- [29] КМК 2.01.18-2000. Нормы расхода энергии на отопление, вентиляцию и кондиционирование зданий и сооружений. – Ташкент: Госархитектстрой РУз, 2000. ovkv.uz.
- [30] КМК 2.01.04-18 Курилиш иссиқлик техникаси. <https://mc.uz/oz/documents/shaharsozlik-normalari-va-qoidalari>
- [31] Н.Р. Аvezova, Н.Н. Далмурадова, Э.Ю. Рахимов, Н.Н. Далмурадова. Динамика изменения температуры наружного воздуха в Узбекистане за последние год. Цели и пути устойчивого экономического развития. Сборник научных статей по материалам VI - Международной научно-практической конференции. 8 октября 2021г. Уфа. с-31-41.
- [32] Рахимов Э.Ю. Разработка атласа для оценки потенциала солнечной энергии территории Узбекистан// Труды международной конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», 22-23 сентябрь 2020 г., Ташкент, - с. 177-181.
- [33] J.A. Duffie, W.A. Beckman, “Solar Engineering of Thermal Processes”, New Jersey, 2013.
- [34] Н.Р. Аvezova. “Моделирование процессов теплового преобразования солнечной энергии в плоских коллекторах и оптимизация их основных параметров для использования в системах горячего водоснабжения”, автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора (DSc) по техническим наукам. ТГТУ. Ташкент. 2018.
- [35] Д.У. Абдухамидов. “Выбор, обоснование схемы и тепловая оптимизация параметров низкотемпературных активных систем солнечного отопления”. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по техническим наукам, ФерПИ, Фергана, 2023
- [36] Matchanov N.A., Butunbaev B.N, Saidov D.Sh., Bobojonov K.A. Monitoring system for low power photovoltaic stations. Applied Solar Energy, 2020, vol.56, no 1, pp.464-469.
- [37] Rakhimov, E.Y., Avezova, N.R., Emamgholizadeh, S. et al. Assessment of the Technical Potential of PV Stations on the Example of the Fergana Valley. Part II: Analysis of Sunny, Partly Cloudy and Cloudy Days. Appl. Sol. Energy 60, 346–356 (2024). <https://doi.org/10.3103/S0003701X24602199>.