

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Николай Викторович Долгов¹, Алексей Андреевич Полковников²,
Светлана Александровна Губарь³

^{1,2,3} Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ДНР, Макеевка, Россия, ¹n.v.dolgov@donnasa.ru, ²a.a.polkovnikov@donnasa.ru, ³s.a.gubar@donnasa.ru

Аннотация. На сегодняшний день энергетика основана на использовании природных горячих ископаемых, таких как нефть, уголь и природный газ. Но их запасы ограничены. Извлечение этих ресурсов становится всё более сложным и затратным, что приводит к увеличению цен и повышению экономической нестабильности. Кроме того, сжигание углеводородов является основным источником выбросов парниковых газов, что усугубляет проблему изменения климата. Для решения этих проблем необходимо переходить на новые более устойчивые и экологически чистые источники энергии, которые бы стали альтернативой существующим на сегодняшний день. В данной статье представлена оценка потенциала возобновляемых источников энергии в России. Рассмотрены вопросы использования солнечных установок в различных режимах покрытия тепловых нагрузок (теплоснабжение, режим сезонного ГВС, режим круглогодичного ГВС). Рассмотрена принципиальная схема индивидуального теплового пункта (ИТП) на базе солнечных коллекторов.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, солнечная энергия, солнечное излучение, централизованное теплоснабжение, горячее водоснабжение

Для цитирования: Долгов Н. В., Полковников А. А., Губарь С. А. Комбинированные системы теплоснабжения на базе солнечных коллекторов // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2024. Выпуск 2024-5(169) Инженерные системы и техногенная безопасность. С. 80–87. doi: 10.71536/vd.2024.5c169.10. edn: honmeo.

Original article

COMBINED HEAT SUPPLY SYSTEMS BASED ON SOLAR COLLECTORS

Nikolai V. Dolgov¹, Alexey A. Polkovnikov², Svetlana A. Gubar³

^{1,2,3} Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka, Russia, ¹n.v.dolgov@donnasa.ru, ²a.a.polkovnikov@donnasa.ru, ³s.a.gubar@donnasa.ru

Abstract. Today, energy is based on the use of natural hot fossils such as oil, coal and natural gas. But their reserves are limited. Extracting these resources is becoming increasingly difficult and costly, leading to higher prices and greater economic instability. In addition, combustion of hydrocarbons is a major source of greenhouse gas emissions, exacerbating the problem of climate change. To address these challenges, there is a need to shift to new, more sustainable and cleaner energy sources as an alternative to the current ones. This article presents an assessment of the potential of renewable energy sources in Russia. The questions of using solar installations in different modes of covering heat loads (heat supply, seasonal DHW mode, year-round DHW mode) are considered. A schematic diagram of an individual heating point (IHP) based on solar collectors is considered.

Keywords: alternative energy sources, solar energy, solar radiation, district heating, hot water supply

For citation: Dolgov N. V., Polkovnikov A. A., Gubar S. A. Combined heat supply systems based on solar collectors. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Engineering systems and technological safety*. 2024;5(169):80–87. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2024.5c169.10. edn: honmeo.



ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

На сегодняшний день энергия в различных ее формах является жизненно важным элементом для человечества, обеспечивая функционирование всех аспектов современной жизни. Она поддерживает работу промышленности, транспорта и бытовых нужд, играя ключевую роль в экономическом росте и социальном развитии.

Рисунок 1 [1] иллюстрирует рост мирового потребления первичной энергии со второй половины XX века и до нашего времени. Увеличение потребления энергии связано с урбанизацией, индустриализацией и улучшением уровня жизни, что требует всё больших объёмов энергоресурсов. Однако рост потребления энергии ставит перед человечеством серьёзные вызовы, в том числе истощение углеводородных топлив. Нефть, уголь и природный газ остаются основными источниками энергии, но их запасы ограничены. Извлечение этих ресурсов становится всё более сложным и затратным, что приводит к увеличению цен и повышению экономической нестабильности. Кроме того, сжигание углеводородов является основным источником выбросов парниковых газов, что усугубляет проблему изменения климата.

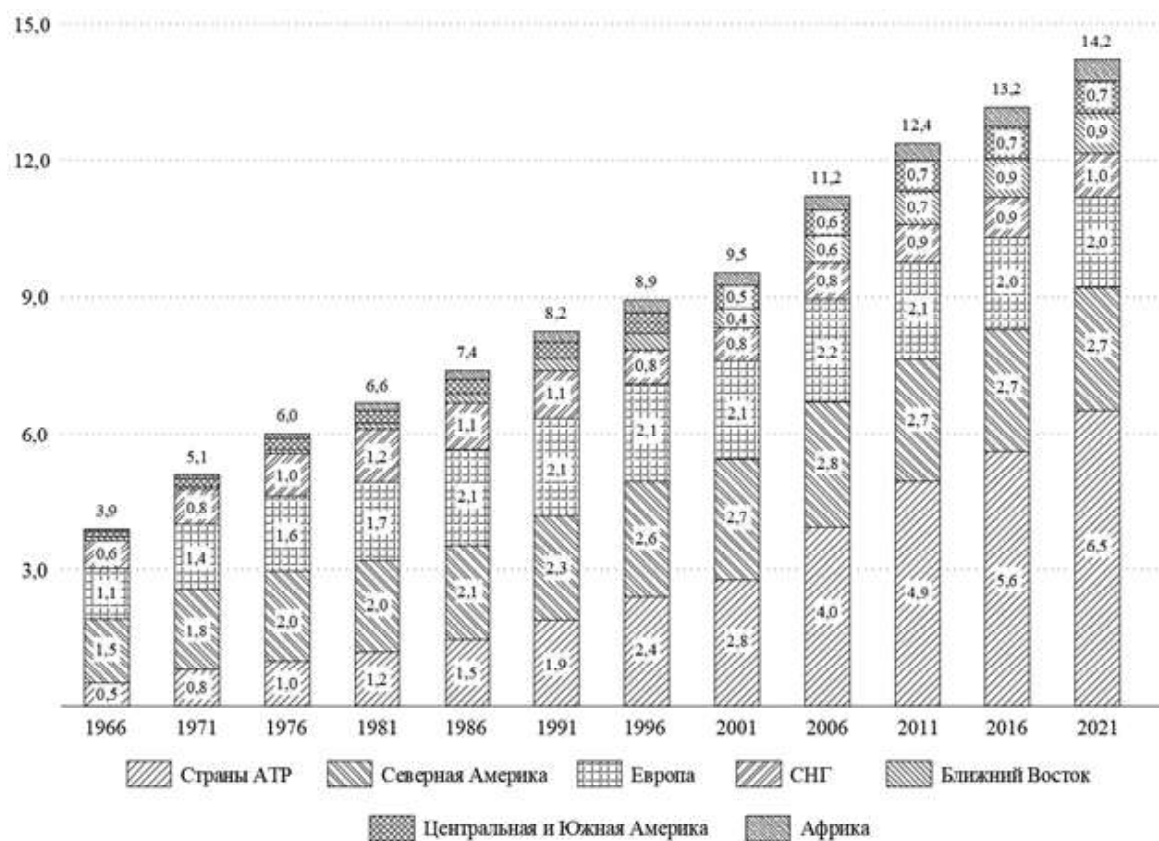


Рисунок 1 – Темпы роста мирового потребления первичной энергии, млрд т.н.э.

Для решения этих проблем необходимо переходить на новые более устойчивые и экологически чистые источники энергии, которые бы стали альтернативой существующим на сегодняшний день.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В последние годы наблюдается активный интерес к комбинированным системам теплоснабжения, использующим солнечные коллекторы, что обуславливается необходимостью перехода на более устойчивые источники энергии. В частности, исследования [2–4] подчеркивают эффективность интеграции солнечных коллекторов в существующие системы отопления и горячего водоснабжения.

ЦЕЛЬ

Сокращение потребления тепловой энергии, получаемой за счет сжигания ископаемого топлива, путем применения альтернативных источников энергии, в частности, солнечной энергии.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Основными и наиболее распространенными направлениями альтернативной энергетики на данный момент являются: гидроэнергетика, ветроэнергетика, гелиоэнергетика, геотермальная энергетика и биоэнергетика.

Оценка потенциала возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является важной задачей для определения видов ВИЭ, которые могут быть применены и эффективно использованы в конкретном регионе. Для этого необходимо рассмотреть три ключевых фактора (таблица) [1]: доступность ресурсов, техническую осуществимость (возможность реализации ВИЭ с точки зрения технологий, инфраструктуры и систем управления) и экономическую обоснованность применения технологий ВИЭ (затраты на реализацию, эксплуатацию и обслуживание, а также потенциальные выгоды от их использования).

Таблица – Валовый, технический и экономический потенциал ВИЭ в России

Ресурсы	Потенциал, млн т. у. т. в год		
	Валовый	Технический	Экономический
Гелиоэнергетика	2 205 400	9 676	3
Ветроэнергетика	886 256	2 216	11
Малая гидроэнергетика	402	126	70
Биоэнергетика	468	140	69
Геотермальная энергия	*	11 869	114
Низкопотенциальное тепло	563	194	53

* – валовый потенциал геотермальной энергии в России составляет 29,2 трлн т. у. т.

Солнечная энергия является одним из наиболее привлекательных и перспективных возобновляемых источников энергии. Она имеет огромный потенциал для удовлетворения растущих энергетических потребностей человечества; может играть важную роль в переходе к устойчивой и экологически чистой энергетике. В будущем ожидается, что солнечная энергия будет играть все более важную роль в энергетической системе, что будет способствовать уменьшению зависимости от традиционных источников энергии и уменьшению вредного воздействия на окружающую среду.

Для гелиотермального использования солнечной энергии важно понимать, какая часть солнечного излучения может быть действительно использована. Количество солнечного тепла, поступающего на поверхность Земли в конкретной точке, зависит от множества факторов:

1. Географическое положение. Интенсивность солнечного излучения варьируется в зависимости от широты. На экваторе солнечные лучи падают почти перпендикулярно, обеспечивая максимальное количество тепла, тогда как в полярных зонах они падают под более острым углом, что уменьшает интенсивность.

2. Время года. Из-за наклона земной оси и её орбитального движения вокруг Солнца угол падения солнечных лучей изменяется в течение года, что приводит к сезонным колебаниям в количестве получаемого тепла.

3. Время суток. Положение Солнца на небе меняется в течение дня, влияя на интенсивность солнечного излучения. В полдень, когда Солнце находится выше всего, интенсивность солнечного излучения максимальна.

4. Атмосферные условия. Облачность, загрязнение воздуха и влажность могут отражать, поглощать или рассеивать солнечные лучи, уменьшая количество энергии, достигающей поверхности Земли.

Рисунок 2 [5] иллюстрирует среднегодовое суммарное излучение на горизонтальную поверхность на территории России. Интенсивность солнечного излучения изменяется достаточно сильно: приблизительно от 2 800 МДж/м² на севере до 5 200 МДж/м² в южных регионах страны.

На основании рис. 2 можно сделать вывод, что на территории России солнечные установки можно использовать практически повсеместно. В зависимости от региона и климатических условий, солнечные установки могут быть использованы для различных целей (горячее водоснабжение, отопление). Однако важно учитывать с какой эффективностью они будут работать в этих условиях.

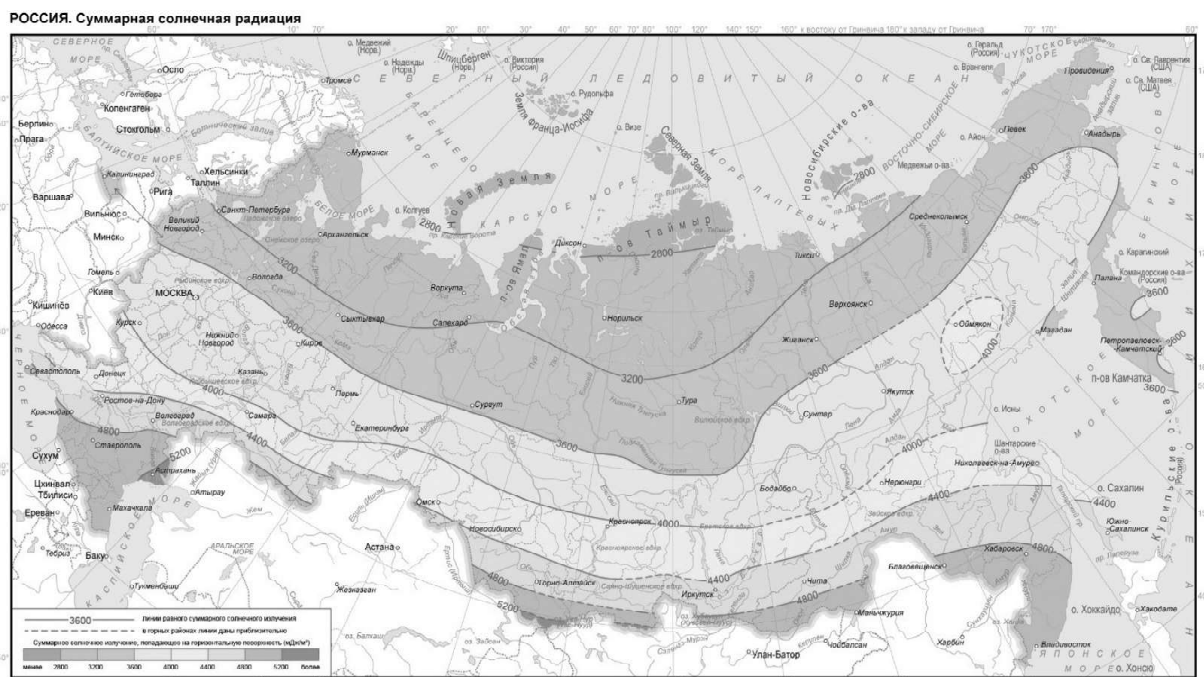


Рисунок 2 – Годовой приход суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность на территории России, МДж/м² в год.

Одной из основных проблем солнечных установок, работающих в режиме теплоснабжения, является сезонная неравномерность использования тепловой мощности. В летний период, когда потребность в отоплении снижается или отсутствует совсем, солнечная установка работает с неполной загрузкой. Это приводит к снижению эффективности и экономической целесообразности солнечной установки. Применение солнечных установок, работающих в режиме теплоснабжения, целесообразно в районах Забайкалья (особенно южные), юг Хабаровского и Приморского краёв, где за счёт особенностей климата работа солнечной установки может быть достаточно эффективной. Рекомендуемая площадь солнечного коллектора в данном режиме составляет не менее 40 % от площади отапливаемого помещения [4].

Одним из способов преодоления сезонной неравномерности использования тепловой мощности солнечных установок, работающих в режиме теплоснабжения, является применение их в режиме круглогодичного горячего водоснабжения (ГВС). В этом режиме солнечная установка обеспечивает нагрев воды для бытовых нужд круглый год, что позволяет использовать ее мощность более эффективно. Применение солнечных установок, работающих в режиме круглогодичного ГВС, целесообразно в климатически наиболее благоприятных районах, например, в южной части европейской территории России, южных районах Сибири и Забайкалья и на Дальнем Востоке. Для достижения наилучших результатов необходимо также правильно рассчитывать площадь солнечных коллекторов. В среднем рекомендуется устанавливать 1,0 – 1,5 м² коллектора на человека, чтобы обеспечить достаточное количество горячей воды в течение всего года [4].

Применение солнечных установок в режиме сезонного ГВС имеет существенное преимущество с точки зрения простоты схемы – используется одноконтурная система без дополнительных теплообменников и других достаточно сложных элементов. Данная система имеет и более низкую стоимость по сравнению с другими режимами, так как для неё не требуется наличие специального теплоносителя (в качестве теплоносителя выступает вода). Применение солнечных установок в режиме сезонного ГВС целесообразно в южных и центральных районах России. Однако даже в северных районах в течение пяти месяцев в году наблюдаются значительные потоки солнечной радиации за счет увеличения продолжительности светового дня. Это позволяет при определенных условиях развивать в этих районах некоторые направления сезонных солнечных установок, работающих в первую очередь в летний период [6]. Рекомендуемая площадь солнечного коллектора в данном режиме составляет 1 м² на одного человека [4].

Территория Донбасса имеет благоприятные климатических условиях для использования солнечных установок в режиме круглогодичного ГВС: тепловой потенциал солнечного излучения составляет порядка 4 250 МДж/м² в год (рис. 3) [7], а среднее количество солнечных часов в году – 2 614 ч (рис. 4) [8].

На рис. 5 представлена принципиальная схема ИТП на базе солнечных коллекторов.

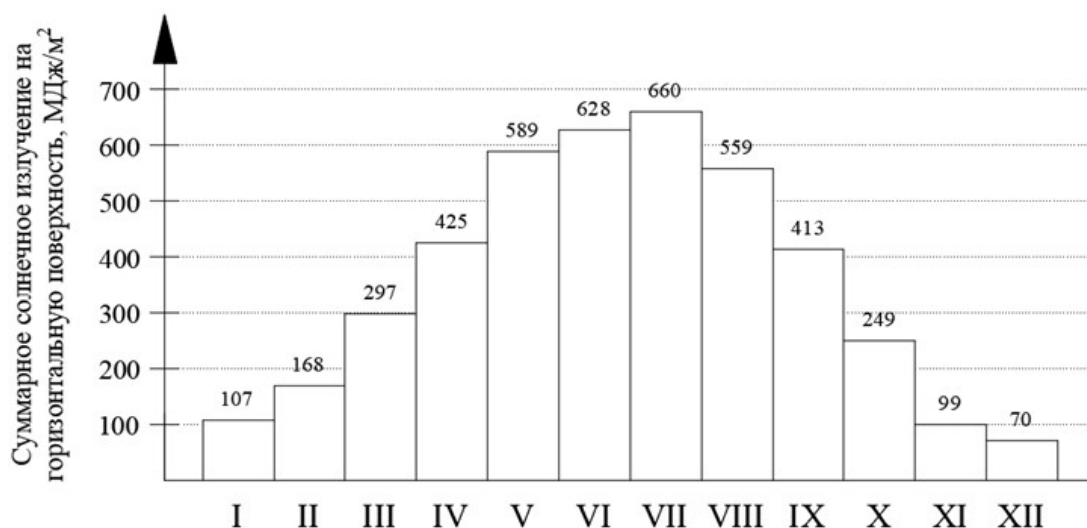


Рисунок 3 – Месячное суммарное солнечное излучение на горизонтальную поверхность, МДж/м², для г. Донецка.

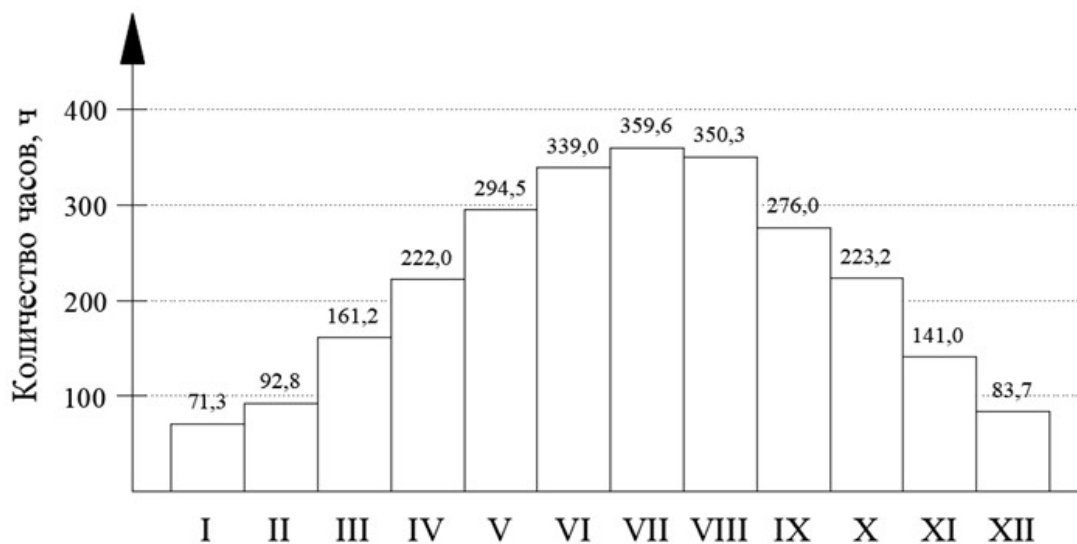


Рисунок 4 – Месячное среднее количество солнечных часов в г. Донецке.

ИТП функционирует следующим образом. Вода из тепловой сети поступает в здание и направляется для нагрева теплоносителя системы отопления, используя установленный в ИТП теплообменник 5. В этом теплообменнике сетевая вода передает свое тепло, нагревая теплоноситель, который циркулирует по замкнутому контуру внутри здания под действием насоса 11. После охлаждения в теплообменнике 5 сетевая вода возвращается в обратный трубопровод тепловой сети.

Нагрев теплоносителя системы ГВС осуществляется в несколько этапов.

Первый контур солнечной водонагревательной установки, включающий солнечный коллектор 1 и промежуточный теплообменник 2, заполнен теплоносителем (вода, антифриз). Холодный теплоноситель из трубопровода 14 поступает в солнечный коллектор 1. Солнечное излучение, проходя через остекление коллектора, нагревает его поглощающую панель и теплоноситель в ее каналах. Нагретый теплоноситель через трубопровод 15 поступает в промежуточный теплообменник 2, где охлаждается, передавая теплоту воде из трубопровода 16, затем по трубопроводу 14 возвращается в солнечный коллектор 1 под действием циркуляционного насоса 7.

Второй контур солнечной водонагревательной установки предназначен для нагрева воды в баке-аккумуляторе 3 через промежуточный теплообменник 2, связь между которыми осуществляется через трубопроводы 16 и 17. Нагретая в промежуточном теплообменнике 2 вода через трубопровод 17 поступает в

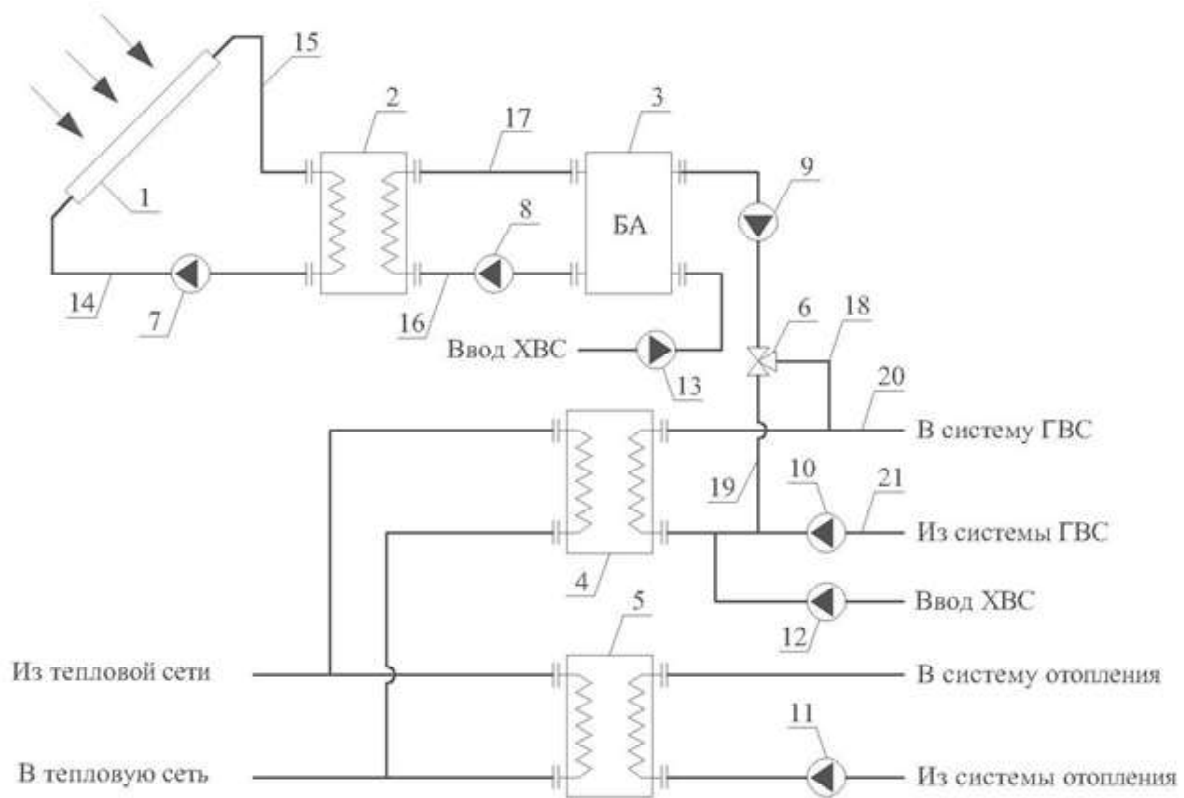


Рисунок 5 – Принципиальная схема ИТП на базе солнечных коллекторов.

бак-аккумулятор 3, где она за счет разности плотностей, перемещается в верхнюю точку, а более холодная вода размещается в нижней части бака, обеспечивая тем самым температурную стратификацию воды. Постепенно, в течение светового дня, происходит полный прогрев всего бака-аккумулятора 3, при этом отбор воды для использования осуществляется из наиболее горячих слоев воды, располагающихся в верхней части бака. Достигается это за счет подачи насосом 13 холодной водопроводной воды в нижнюю часть бака, которая вытесняет нагретую воду в верхнюю часть. Затем вода из максимально холодного нижнего слоя под действием циркуляционного насоса 8 через трубопровод 16 поступает на нагрев в промежуточный теплообменник 2 и цикл повторяется.

Третий контур солнечной водонагревательной установки обеспечивает подачу горячей воды в систему ГВС. В зависимости от температуры горячей воды на выходе из бака-аккумулятора 3 возможны 2 случая подачи горячей воды:

а) температура горячей воды на выходе из бака-аккумулятора 3 соответствует нормам [9] (от 60 до 75°) – трехходовой клапан 6 перекрывает подачу воды по трубопроводу 19. Под действием насоса 9 горячая вода через трубопровод 18 поступает в подающий трубопровод 20 системы горячего водоснабжения;

б) температура горячей воды на выходе из бака-аккумулятора 3 не соответствует нормам [9] (менее 60°) – трехходовой клапан 6 перекрывает подачу воды по трубопроводу 18. Под действием насоса 9 горячая вода через трубопровод 19 смешивается с водой рециркуляционного трубопровода 21 системы горячего водоснабжения. Смешанная вода поступает в теплообменный аппарат 4, где происходит ее подогрев до заданных параметров за счет сетевой воды из тепловой сети. Затем подогретая вода поступает в подающий трубопровод 21 системы горячего водоснабжения под действием циркуляционного насоса 10.

Солнечные установки горячего водоснабжения для многоквартирных домов рассчитываются на получение максимального количества теплоты с одного квадратного метра коллектора [10]. Поэтому особое внимание следует уделять расчету площади солнечных коллекторов. Она должна определяться таким образом, чтобы исключить выработку избыточного количества теплоты. Это позволит не только оптимизировать использование солнечной энергии, но и предотвратить перегрев системы, что может привести к снижению эффективности работы и увеличению затрат на дополнительные меры по регулированию температуры. Правильный расчет площади коллекторов обеспечит баланс между потребностями в горячей воде и воз-

возможностями солнечной энергии, что в конечном итоге способствует более устойчивому и экономически эффективному теплоснабжению.

ВЫВОД

Применение комбинированных систем, сочетающие в себе традиционные источники теплоты и альтернативные, для получения горячей воды позволит существенно экономить углеводородное топливо.

Однако на сегодняшний день внедрению солнечных установок уделяется недостаточно внимания. Это обусловлено наличием целого ряда объективных и субъективных факторов, основными из которых являются невысокая экономическая конкурентоспособность по отношению к традиционным видам топлива и длительный срок окупаемости солнечных установок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Возобновляемая энергетика в России и мире. – Текст : электронный // Российское энергетическое агентство Минэнерго России : [сайт]. – Москва. – 2022. – 105 с. – URL: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/e04/3xtm87iv99x76b23c6wjl3as5pzz8zj.pdf?ysclid=m20dmlkl7d872312325> (дата обращения: 08.09.2024).
2. Duffie, J. A. Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind / J. A. Duffie, W. A. Beckman. – [fifth Edition]. – Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons Publ., 2020. – 919 p. – URL: <https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Courses/SolarPowerForAfrica/Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%20Photovoltaics%20and%20Wind.pdf> (дата обращения: 08.09.2024).
3. Батухтин, А. Г. Комплексное совершенствование технологий тепловой и нетрадиционной энергетики для повышения эффективности систем централизованного теплоснабжения (на примере Забайкальского края) : специальность 05.14.01 «Энергетические системы и комплексы» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Батухтин Андрей Геннадьевич. – Иркутск, 2022. – 39 с. – Текст : непосредственный.
4. Лучшие практики использования альтернативных источников теплоснабжения. – Текст : электронный // Фонд содействия реформированию ЖКХ : [сайт]. – Москва. – 2022. – 88 с. – URL: https://www.reformagkh.ru/misc/Практики_АИТ.pdf (дата обращения: 08.09.2024).
5. Карты Российской Федерации. – Текст : электронный // geomania.net : [сайт]. – 2015–2024. – URL: <https://www.geomania.net/russia/?ysclid=m1ynprxciw381224022> (дата обращения: 08.09.2024).
6. Шукина, Т. В. Научно-методологические основы использования солнечной энергии в замещении тепловых нагрузок зданий : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Шукина Татьяна Васильевна. – Москва, 2011. – 38 с. – Текст : непосредственный.
7. Олексюк, А. А. Анализ теплового потенциала солнечного излучения для использования в системах теплоснабжения на территории Донбасса / А. А. Олексюк, Н. В. Долгов, А. А. Полковников. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. – Выпуск 2023-5(163) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 82–87. – URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5\(163\)/st_13_oleksiuk_dolgov_polkovnikov.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2023/2023-5(163)/st_13_oleksiuk_dolgov_polkovnikov.pdf) (дата обращения: 08.09.2024).
8. Сколько солнечных дней в году в Донецке. – Текст : электронный // Anyroad : [сайт]. – 2024. – URL: <https://anyroad.ru/city/weather/sunnydays/донецк,донецкая-область?ysclid=m222itw1yw118279303> (дата обращения: 08.09.2024).
9. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий : утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 3 : зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 29 января 2021 года № 62297 : взамен постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 17.05.2001 № 14; постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30.05.2001 № 16; постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.09.2001 № 24 [и др.] : дата введения 2021-03-01. – Санкт-Петербург : АО «Кодекс», 2021. – 63 с. – Текст : непосредственный.
10. Книга о «Солнце». Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения / ООО «Виссман». – Киев : «Злато-Граф», 2010. – 195 с. – URL: https://geo-comfort.ru/images/PDF/Teplovie%20nasosy/Solnishko/Kniga_o_solnce.pdf (дата обращения: 08.09.2024). – Текст : электронный.

Информация об авторе

Долгов Николай Викторович – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Полковников Алексей Андреевич – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Губарь Светлана Александровна – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Information about the author

Dolgov Nikolai V. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

Polkovnikov Aleksey A. – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

Gubar Svetlana A. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024; одобрена после рецензирования 18.10.2024; принята к публикации 25.10.2024.

The article was submitted 20.09.2024; approved after reviewing 18.10.2024; accepted for publication 25.10.2024.