жающей среды Респ. Беларусь от 28 марта 2024 г. № 8-Т : вступ. в силу от 26 апр. 2024 г. – Минск : Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 2024. – 38 с.
5. Инструкция по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий : постановление М-ва экономики Респ. Беларусь, М-ва энергетики Респ. Беларусь и Ком. по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь от 24.12.2003 № 252/45/7 // Департамент по энергоэффективности. – URL: https://energoeffect.gov.by/supervision/framework/-24122003-252457 (дата обращения: 30.01.2026).
6. Департамент по энергоэффективности. О расчетной стоимости 1 тонны условного топлива в 2026 году. – Минск, 2026. – URL: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka/20250422_sprav-2 (дата обращения: 26.01.2026).
7. Департамент по энергоэффективности. Удельные расходы топлива на отпуск электро- и теплоэнергии и потери в электро- и теплосетях, используемые в 2025 году в расчетах экономии топливно-энергетических ресурсов. – Минск, 2026. – URL: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka/20250217_news1 (дата обращения: 20.01.2026).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

В. Ю. Бутенко, Н. А. Кашуба

Учреждение образования «Национальный детский технопарк», г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель И. А. Жолнерович

Рассмотрена возможность совместного использования фотоэлектрических установок и тепловых насосов для тепло- и электроснабжения жилых домов. В качестве примера жилого района принимается микрорайон с малоэтажной жилой застройкой. Исследована возможность размещения солнечных панелей на крышах зданий, оценено количество вырабатываемой энергии фотоэлектрической системой в принятых условиях. Рассчитаны характеристики и количество необходимых тепловых насосов для нужд горячего водоснабжения. Оценена энергетическая и экономическая эффективность проекта.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, солнечная энергия, тепловой насос, горячее водоснабжение, фотоэлектрическая система.

Развитие возобновляемой энергетики направлено на использование экологически чистых ресурсов без вреда для окружающей среды. Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) обеспечивает местную энергетическую безопасность и снижает зависимость от поставок топлива и цен. По данным IRENA, в 2024 г. 92,5 % установленной мощности приходиться на ВИЭ. Солнечная энергия сыграла в этом значительную роль. Отопление зданий с использованием ВИЭ также быстро развивается во всем мире, и в 2025 г. его доля увеличилась до 12,6 % [1].

В современных исследованиях рассматриваются различные варианты интеграции ВИЭ с тепловыми насосами для отопления и электроснабжения домов и общественных зданий. В этих исследованиях предлагаются как методы использования солнечных тепловых коллекторов в качестве источника тепла для тепловых насосов, так и методы использования фотоэлектрического оборудования для выработки электроэнергии, которая питает тепловые насосы [2, 3]. В различных широтах эти исследования показывают разную эффективность таких систем.

В нашем исследовании рассматривается вариант использования фотоэлектрической системы как источника электроэнергии для работы компрессора теплового насоса. В качестве исходных данных был принят небольшой жилой район, состоящий из шести двухэтажных таунхаусов. Каждый таунхаус разделен на пять секций,

на каждой из которых расположены две квартиры. Средняя площадь таунхауса принимается равной 120 м^2. Исходя из предлагаемого количества зданий, общее количество квартир во всем квартале составит 60. Среднее количество человек в одной квартире – 4.

Основными компонентами фотоэлектрических систем являются солнечные панели, инвертор и аккумулятор. Солнечные панели преобразуют солнечный свет в электрическую энергию. Инвертор преобразует низковольтный постоянный ток, генерируемый солнечными панелями, в переменный ток. Аккумулятор накапливает электрическую энергию. В данной системе аккумулятор необходим для обеспечения стабильного электропитания теплового насоса.

Для размещения панелей используются крыши зданий. Поэтому при проектировании самого здания необходимо сделать крышу плоской и обеспечить легкий доступ для обслуживания солнечных панелей. Также необходимо предусмотреть технический этаж для размещения коммуникаций и аккумуляторов. Расположение солнечных панелей на одном из пяти участков таунхауса показано на рис. 1.

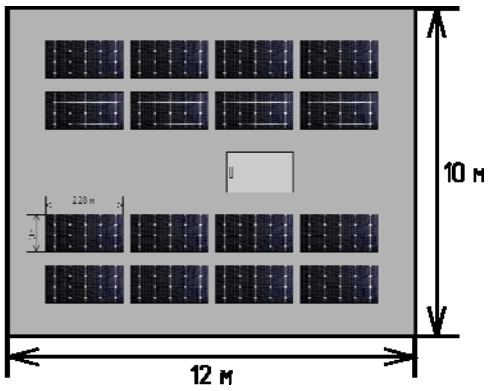


Рис. 1. Размещение солнечных панелей

Оптимальный угол наклона солнечных панелей для широты 54° составляет 48°. Исходя из среднемесячного уровня солнечной радиации в Республике Беларусь, угла наклона панелей и их общей площади (1230 м^2 для всех таунхаусов), а также общей эффективности системы (принятой за 12,9 %), такая система может генерировать в среднем 197,5 МВт · ч электроэнергии в год. В пиковый день в августе выработка составит 825 кВт · ч, а в малосолнечный день в марте – 210 кВт · ч. Для расчетов использовались данные по монокристаллическим панелям на примере панелей Longi мощностью 550 Вт.

Чтобы квартал обеспечивался горячей водой, была подобрана схема работы тепловых насосов. Работают тепловые насосы по принципу переноса низкопотенциального тепла к горячему теплоносителю, что происходит благодаря подведенному к системе электричеству. Хладагент сначала нагревается и испаряется от источника низкопотенциального тепла, после чего поступает в компрессор, сжимается и подается в конденсатор, отдавая тепло высокопотенциальному теплоносителю. Через дроссель хладагент поступает обратно в испаритель, при этом его давление снижается. Коэффициент COP, который равен отношению полученной тепловой энергии к затраченной на работу компрессора, является главным показателем эффективности теплового насоса.

Источником теплоты для теплового насоса служит воздух, вода или грунт. Последний был выбран в нашей системе. Размещение коллекторов в грунте, по кото-

рым будет циркулировать рассол и передавать тепло насосу, возможно в горизонтальном варианте, при котором коллекторами занимается большое количество площади, либо вертикально. Нами был выбран вариант с вертикальным размещением зондов, чтобы сэкономить площадь жилой застройки.

При использовании тепловых насосов для горячего водоснабжения (ГВС) в указанных условиях требуется тепловая мощность 33,6 кВт, чтобы обеспечить температуру горячей воды 55 °С и суточное потребление горячей воды в размере 60 л на человека. В этом случае можно установить шесть тепловых насосов мощностью 6 кВт, т. е. по одному тепловому насосу на таунхаус.

Для расчета коэффициента производительности (COP) и выбора хладагента мы использовали программное обеспечение SOLKANE Refrigerants 8.0. Температура испарителя была установлена на уровне 8 °С, исходя из данных о средней температуре грунта на глубине более 15 м.

Выбранный хладагент R-134a в указанных условиях показал коэффициент производительности (COP) 2,69. Следовательно, потребление электроэнергии тепловым насосом при выходной мощности 6 кВт составило 2,23 кВт. При суточном энергопотреблении теплового насоса 53,5 кВт · ч в августе, с учетом накопления электроэнергии, вырабатываемой солнечными панелями, энергии более чем достаточно. Однако при низкой интенсивности солнечного излучения в марте требуется дополнительное питание от сети.

Наглядно представление системы показано на 3D-модели (рис. 2). Обратим внимание на то, что для удобства отображения модели были приняты допущения: изображена одна секция таунхауса, длина зонда не соответствует масштабу.

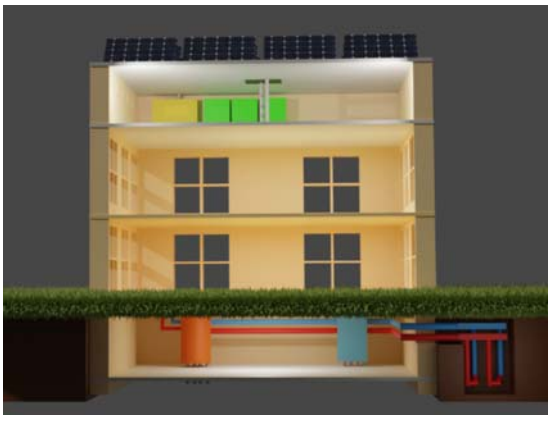


Рис. 2. 3D-модель: общий вид на секцию таунхауса

Оценка эффективности проекта показала, что простой срок окупаемости за счет экономии тепловой и электрической энергии составил 12 лет.

Для расчета теплового насоса также важно рассчитать глубину зонд. При среднем тепловом потоке грунта 50 Вт/м длина зонда для теплового насоса мощностью 6 кВт составит 75,4 м.

Таким образом, предлагаемая нами гибридная система энергоснабжения включает в себя солнечные панели, установленные на крыше, аккумуляторные батареи, а также геотермальный тепловой насос с вертикальным грунтовым теплообменником, использующим геотермальную энергию для нагрева воды. Эта система обеспечивает жилой район теплом и электроэнергией, заменяя часть традиционных источников энергии на возобновляемые.

Литература

1. Global landscape of renewable energy transition finance 2025 / International Renewable Energy Agency (IRENA). – URL: https://www.irena.org (дата обращения: 06.01.2026).
2. Sanclemente Lozano, M. Techno-economic assessment of solar hybrid system with high-temperature heat pump for industrial heat generation / M. Sanclemente Lozano, S. Trevisan, R. Guedez // SolarPACES Conference Proceedings. – 2024. – Vol. 3. – Article 2426. – DOI: 10.52825/solarpaces.v3i.2426. – URL: https://doi.org/10.52825/solarpaces.v3i.2426 (дата обращения: 06.01.2026).
3. Environmental benefits and economic feasibility of a photovoltaic assisted heat pump water heater / ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/publication/388578575 (дата обращения: 06.01.2026).

ТЕПЛОНАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ С АККУМУЛЯТОРАМИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

К. Д. Кировский, Е. Е. Петюлевич

Учреждение образования «Национальный детский технопарк», г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель И. А. Некало

Рассмотрена эффективность совместного использования теплового аккумулятора с теплонасосными установками.

Ключевые слова: теплонасосные установки, тепловые аккумуляторы, эффективность, COP.

В Республике Беларусь энергосбережение и переход на возобновляемые источники энергии становятся приоритетными задачами [1]. Одним из наиболее перспективных решений в этой области является использование теплонасосных установок (ТНУ), способных эффективно трансформировать низкопотенциальное тепло окружающей среды для нужд отопления и горячего водоснабжения [2].

Теплонасосные установки принято классифицировать по принципу действия (парокомпрессионные, адсорбционные, абсорбционные) или по источнику тепловой энергии низкого потенциала [2]. В данной работе будут рассмотрены парокомпрессионные ТНУ, использующие воздух, как низкопотенциальный источник энергии. Принципиальная схема ТНУ типа «воздух – вода» представлен на рис. 1.

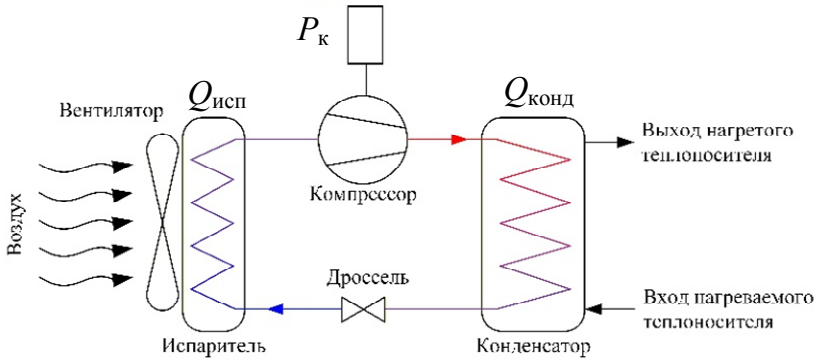


Рис. 1. Принципиальная схема ТНУ типа «воздух – вода»
Примечание. Собственная разработка автора.