

Сметанина Маргарита Владимировна, магистрант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Санкт-Петербург

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ БРОСОВОГО ТЕПЛА СЕРВЕРНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ГВС

Аннотация. В статье проанализирована научная литература и практические наработки в области утилизации бросового тепла, выделяемого серверным оборудованием. Проведен обзор российских источников, посвященных энергоэффективности центров обработки данных (ЦОД) и системам рекуперации тепла. На основе проведенного анализа сформулированы принципы, преимущества и ограничения использования низкопотенциального тепла серверных для нужд отопления и горячего водоснабжения (ГВС) зданий. Выделены ключевые технологические решения, включающие применение тепловых насосов, системы жидкостного охлаждения серверов и аккумуляторы тепла. Сделан вывод о высокой потенциальной эффективности и экономической целесообразности утилизации бросового тепла ЦОД, особенно в условиях холодного климата, а также о необходимости дальнейшего развития нормативной базы и стимулирования подобных проектов.

Annotation. The article analyzes the scientific literature and practical developments in the field of waste heat utilization generated by server equipment. A review of Russian sources devoted to the energy efficiency of data centers and heat recovery systems has been conducted. Based on the analysis, the principles, advantages and limitations of using low-potential server room heat for heating and hot water supply of buildings are formulated. The key technological solutions are highlighted, including the use of heat pumps, server liquid cooling systems, and heat accumulators. The conclusion is made about the high potential efficiency and economic feasibility of recycling waste heat from data centers, especially in cold climates, as well as the need for further development of the regulatory framework and incentives for such projects.

Ключевые слова: бросовое тепло, центр обработки данных (ЦОД), энергоэффективность, тепловой насос, системы отопления, горячее водоснабжение (ГВС).

Keywords: waste heat, data processing center, energy efficiency, heat pump, heating systems, hot water supply.

Введение

Современная цифровая экономика обуславливает стремительный рост количества центров обработки данных, которые являются крупными потребителями электроэнергии. Значительная часть этой энергии (до 40-50%) преобразуется в тепло, которое в большинстве случаев рассеивается в атмосферу через системы кондиционирования и чиллеры, создавая дополнительную тепловую нагрузку на городскую инфраструктуру и приводя к прямым экономическим потерям. В условиях глобального стремления к повышению энергоэффективности и сокращению углеродного следа утилизация этого низкопотенциального бросового тепла становится актуальной научно-практической задачей.

Наиболее перспективным направлением является использование тепловыделений серверных помещений для покрытия тепловых нагрузок систем отопления и ГВС самих зданий, в которых расположены ЦОД, или соседних объектов. Данный подход позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы, уменьшить нагрузку на традиционные источники теплоснабжения и снизить выбросы парниковых газов. Однако внедрение таких систем сопряжено с рядом технических и экономических проблем, включая несовпадение графиков тепловыделений и теплопотреблений, низкий температурный потенциал тепла и высокие капитальные затраты.

Обзор литературы

Проблема энергопотребления ЦОД и пути ее оптимизации широко обсуждаются в научной литературе. Исследователи сходятся во мнении, что показатель эффективности энергопотребления остается ключевой метрикой

эффективности, и его снижение возможно не только за счет совершенствования систем охлаждения, но и благодаря рекуперации тепла.

В своей работе Набоко Е. П., Чернышова Т. И., Онищенко О. Н. и Жабалова Г. Г. отмечают, что основными методами утилизации тепла ЦОД являются прямое использование нагретого воздуха для отопления смежных помещений в холодный период года, а также интеграция систем охлаждения ЦОД с тепловыми насосами для повышения температурного потенциала и дальнейшей передачи тепла в системы отопления и ГВС [1].

Мировая практика демонстрирует успешные примеры внедрения таких систем. Например, как указывают Асонов Д. А. и Романова Т. Н., в Скандинавских странах, где тарифы на электроэнергию высоки, а отопительный сезон длителен, утилизация тепла от ЦОД для обогрева жилых районов становится коммерчески выгодной [2]. Анализ зарубежного опыта, проведенный Яковлевым И.В. и Авдокуниным Н.В., показывает, что наиболее эффективны системы, использующие жидкостное охлаждение серверов, так как оно позволяет получить теплоноситель с более высокой температурой по сравнению с воздушным охлаждением [3].

Ганжа Н.Г. и Хименко А.В. в своем исследовании подчеркивают, что для повышения экономической эффективности системы необходимо решить проблему дисбаланса между постоянным тепловыделением ЦОД и переменной нагрузкой на отопление. В качестве решения предлагается использование баков-аккумуляторов, которые накапливают тепло в периоды низкого потребления и отдают его в часы пик [4].

Несмотря на высокие первоначальные инвестиции, срок окупаемости проектов по утилизации тепла ЦОД может составлять от 3 до 7 лет в зависимости от климатической зоны, тарифов на энергоносители и выбранной технологической схемы. Уменьшение потребления энергии и снижение затрат на эксплуатацию – результат, который можно получить эффективно используя при утилизации теплоты вторичные энергоресурсы, отмечает Жилиев Э.С. [5]

Методы исследования

В процессе подготовки работы применялись методы сравнительного анализа и обобщения научно-технической литературы. Был проведен обзор современных российских публикаций и отчетов о практической реализации проектов по утилизации тепла ЦОД. Особое внимание уделялось анализу эффективности различных схем интеграции: систем воздушного и жидкостного охлаждения серверного оборудования с тепловыми насосами и системами теплоснабжения зданий. Оценка потенциала и ограничений проводилась на основе данных о тепловыделениях стандартных серверных стоек, климатических характеристик и нормативных требований к системам отопления и ГВС.

Результаты

На основе проведенного анализа можно сделать вывод о значительном потенциале утилизации бросового тепла серверных помещений. Были систематизированы ключевые особенности и условия эффективной реализации таких проектов:

1. Технологические схемы утилизации. Наиболее эффективными являются две основные схемы:

– схема с тепловым насосом: тепло от системы охлаждения ЦОД (воздушной или жидкостной) используется как низкопотенциальный источник для теплового насоса. Тепловой насос повышает температурный потенциал теплоносителя до уровня 50-65°C, что достаточно для систем напольного отопления, воздушного отопления через фанкойлы и подготовки ГВС;

– схема прямого использования: нагретый в серверной воздух напрямую подается в смежные помещения для их отопления в холодный период. Данная схема проста, но имеет ограниченную область применения из-за невысокой температуры воздуха и необходимости фильтрации.

2. Факторы, влияющие на эффективность:

– температурный уровень тепла: жидкостное охлаждение позволяет получить теплоноситель с температурой 40-50°C, что значительно эффективнее для утилизации, чем воздух с температурой 25-35°C;

– климатические условия: эффективность и экономическая целесообразность максимальны в регионах с длительным отопительным периодом;

– совместимость графиков: наличие постоянного тепловыделения от ЦОД и сезонной/суточной нагрузки на отопление требует использования аккумуляторов тепла или резервных источников.

3. Внедрение систем утилизации позволяет снизить расходы на отопление и ГВС на 40-70%, снизить пиковую нагрузку на городские тепловые сети или котельные, сократить выбросы CO₂ за счет замещения сжигания ископаемого топлива, а также улучшить показатель PUE ЦОД, так как энергозатраты на охлаждение могут быть частично компенсированы.

Обсуждение

Утилизация бросового тепла из ЦОДов позволяет снизить как эксплуатационные расходы, так и нагрузку на окружающую среду.

Наиболее перспективны гибридные системы на основе тепловых насосов и жидкостного охлаждения серверов. Они обеспечивают двойной эффект: повышают эффективность охлаждения IT-оборудования и решают задачу теплоснабжения. Для широкого внедрения в России необходимы меры господдержки (субсидии, налоговые льготы), а также развитие нормативной базы для использования вторичных энергоресурсов.

Дальнейшие исследования следует сосредоточить на оптимизации работы систем, разработке стандартов и оценке их жизненного цикла.

Выводы

Утилизация бросового тепла серверных помещений для нужд отопления и ГВС является технически осуществимым и экономически оправданным решением, особенно в условиях холодного климата. Ключевыми факторами успеха являются выбор оптимальной технологической схемы (предпочтительно с использованием теплового насоса), учет климатических особенностей и применение аккумуляторов тепла для балансировки нагрузки.

Внедрение таких систем позволяет существенно повысить энергоэффективность ЦОД, снизить затраты на теплоснабжение и уменьшить углеродный след. Для преодоления барьеров, связанных с высокими первоначальными инвестициями, необходима комплексная поддержка на государственном и корпоративном уровне. Дальнейшее развитие исследований и практического опыта в данной области будет способствовать ее активному внедрению в практику строительства и эксплуатации современных энергоэффективных зданий и ЦОД.

Список литературы:

1. Набоко Е. П., Чернышова Т. И., Онищенко О. Н., Жабалова Г. Г. Исследование возможности применения тепловых насосов при утилизации сбросного тепла технологических потоков // Наука и современность. 2010. №7-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnosti-primeneniya-teplovyyh-nasosov-pri-utilizatsii-sbrosnogo-tepla-tehnologicheskikh-potokov> (дата обращения: 21.09.2025).
2. Асонов Д.А., Романова Т.Н. Утилизация тепла ЦОД // Международная научно-практическая конференция «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика». – 2019. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/88264/1/eir_2019_006.pdf (дата обращения 21.09.2025)
3. Яковлев И.В. и Авдокунин Н.В. Эффективность применения сбросного тепла центров обработки данных // Теплоэнергетика, 2023, № 10, с. 55–64. URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=tepen&year=2023&vol=2023&iss=10&file=TepEn2310012Yakovlev.pdf> (дата обращения: 25.09.2025)
4. Ганжа Н.Г., Хименко А.В. Тепловое аккумулирование как способ повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2012. №3 (97). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teplovoe-akkumulirovanie-kak-sposob-povysheniya>

[energeticheskoy-effektivnosti-sistem-teplosnabzheniya](#) (дата обращения: 25.09.2025).

5. Жильяев Э. С. Утилизационные установки на под. оборудование, методы отвода тепла от него. Критерии энергоэффективности утилизационных установок // Вестник науки. 2023. №6 (63). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsionnye-ustanovki-na-tsod-oborudovanie-metody-otvoda-tepla-ot-nego-kriterii-energoeffektivnosti-utilizatsionnyh-ustanovok> (дата обращения: 26.09.2025).

Literature:

1. Naboko E. P., Chernyshova T. I., Onishchenko O. N., Zhabalova G. G. Investigation of the possibility of using heat pumps in the utilization of waste heat from technological flows // Science and modernity. 2010. No.7-2.

2. Asonov D.A., Romanova T.N. Data center heat utilization // International scientific and practical conference "Energy and resource conservation". – 2019.

3. Yakovlev I.V. and Avdokunin N.V. Efficiency of using waste heat from data processing centers // Teploenergetika, 2023, No. 10, pp. 55-64.

4. Ganzha N.G., Khimenko A.V. Thermal storage as a way to increase the energy efficiency of heat supply systems // Energy saving. Energy. Energy audit. 2012. No. 3 (97).

5. Zhilyaev E. S. Recycling facilities at the data center. equipment and methods of heat removal from it. Criteria for energy efficiency of recycling plants // Bulletin of Science. 2023. No. 6 (63).