

Энергетический менеджмент системы теплоснабжения целлюлозно-бумажного колледжа

Федяев П.А.^{1а}, Федяев Ал.А.^{2б}, Гончарова Н.А.^{1с}

¹ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

² Санкт-Петербургский лесотехнический университет, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

^а vends@mail.ru, ^б vends1@mail.ru, ^с goncharova-n@mail.ru

^а <https://orcid.org/0009-0008-9288-0514>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6233-3757>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-4231-0272>

Статья поступила 26.08.2025, принята 26.09.2025

Статья посвящена вопросам энергетического менеджмента системы теплоснабжения в целлюлозно-бумажном колледже и особенностям управления энергетическими ресурсами, включая потери тепла через внешние ограждения зданий, такие как стены, окна и двери, выполненные из различных материалов, в частности древесины. Рассматриваются основные направления повышения энергетической эффективности образовательных учреждений, предлагаются ключевые аспекты рационального потребления энергетических ресурсов и снижения расходов на отопление, горячее водоснабжение, вентиляцию помещений. Выполнен подробный анализ существующего положения распределения затрат на потребление различных видов энергоресурсов, проанализировано ежемесячное за два полных года потребление тепловой энергии на различные нужды образовательным учреждением, показаны проблемные зоны и сформулированы практические рекомендации по повышению уровня экономии энергоресурсов путём внедрения современных подходов и технологических решений. Отдельное внимание уделяется улучшению параметров работы существующей инженерной инфраструктуры учебного заведения. Выполнены расчётные исследования трансмиссионных потерь тепла через наружные ограждающие конструкции и деревянные светопрозрачные ограждающие конструкции. Даны рекомендации по сокращению потерь тепла через указанные ограждающие конструкции, представлен экономический эффект от внедрения энергосберегающих мероприятий и определены простые сроки окупаемости после внедрения указанных направлений энергосбережения. Из данных теплотехнического расчёта характеристик предлагаемого более эффективного теплоизоляционного материала очевидно кардинальное снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции, а значит и соответствующих эксплуатационных затрат. Анализ результатов энергетического менеджмента свидетельствует о возможности создания оптимальной стратегии развития комплекса мер, направленных на улучшение энергетической эффективности образовательного учреждения, формирования культуры бережливого отношения к энергоресурсам среди учащихся и сотрудников. Таким образом, выполненное исследование представляет практический интерес для специалистов образовательной среды и заинтересованных лиц, занимающихся вопросами повышения энергетической эффективности образовательных учреждений.

Ключевые слова: энергоменеджмент; энергоэффективность; энергосбережение; теплоснабжение; отопление; вентиляция; горячее водоснабжение; тепловые потери; наружные ограждения; деревянные конструкции.

Energy management of the heat consumption system of Bratsk Pulp-and-Paper College

P.A. Fedyayev^{1а}, Al.A. Fedyayev^{2б}, N.A. Goncharova^{1с}

¹ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

² St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Lane, St. Petersburg, Russia

^а vends@mail.ru, ^б vends1@mail.ru, ^с goncharova-n@mail.ru

^а <https://orcid.org/0009-0008-9288-0514>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-6233-3757>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-4231-0272>

Received 26.08.2025, accepted 26.09.2025

The article is devoted to the issues of energy management of the heat consumption system of Bratsk Pulp-and-Paper College and the features of energy resources management, including heat losses through external building enclosures, such as walls, windows and doors made of various materials, in particular wood. The main directions of improving the energy efficiency of educational institutions are considered, key aspects of rational consumption of energy resources and reducing the costs of heating, hot water supply, ventilation of premises are offered. A detailed analysis of the existing distribution of costs for the consumption of various types of energy resources is performed, and the monthly consumption of thermal energy for various needs by an educational institution over two full years is analyzed. Problem areas are identified, and practical recommendations are formulated to increase energy savings by implementing modern approaches and technological solutions. Special attention is paid to improving the performance of the existing engineering infrastructure of the educational institution. Calculations are performed to study the transmission of heat through external building enclosures and external wooden translucent enclosures. Recommendations are provided to reduce heat loss through these external building enclosures, and the economic benefits of implementing energy-saving measures are presented, along with the estimated payback periods.

The results of the thermal calculation demonstrate a significant reduction in heat loss through the external building enclosures, resulting in lower operating costs. The analysis of the results of energy management indicates the possibility of creating an optimal strategy for developing a set of measures aimed at improving the energy efficiency of an educational institution and fostering a culture of energy conservation among students and staff. Therefore, this study is of practical interest to educational professionals and stakeholders involved in improving the energy efficiency of educational institutions.

Keywords: energy management; energy efficiency; energy conservation; heat supply; heating; ventilation; hot water supply; heat loss; external enclosures; wooden structures.

Введение. Энергоэффективность охватывает различные отрасли экономики, внедряя прогрессивные технологии сбережения энергии в ключевых сферах жизнедеятельности общества, таких как промышленность, ЖКХ, аграрный сектор, транспорт и энергетика. Основная задача энергосбережения заключается в оптимизации процесса преобразования и распределения энергии на каждом этапе – от добычи первичного сырья до поставки готовой продукции конечному потребителю.

Таким образом, эффективное управление энергией становится важнейшим фактором устойчивого экономического роста, обеспечивая баланс между ростом потребностей в энергоресурсах и необходимостью защиты окружающей среды.

Эффективное решение проблемы энергосбережения невозможно исключительно техническим путём. Оно требует продуманного подхода к управлению производством и распределением энергии, а также мониторингу её потребления разными категориями потребителей.

Главная цель энергоменеджмента состоит в проведении всестороннего анализа объёмов энергопотребления и динамики изменений этих показателей вследствие реализованных энергосберегающих мероприятий. Комплексный подход предполагает ведение строго учёта, постоянного контроля и поэтапного снижения объёма используемых топливно-энергетических ресурсов [1].

Исследование энергопотребления в бюджетных организациях осуществляется в рамках федерального законодательства, регламентирующего деятельность в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Основанием для проведения подобного обследования служит Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» [2], а также соответствующий приказ, утверждающий перечень типовых мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности [3].

Государственные бюджетные организации играют значительную роль в структуре национального энергопотребления. Потенциал снижения энергозатрат в данном секторе весьма значителен [4].

Среди государственных учреждений России крупными потребителями энергоресурсов являются образовательные учреждения (вузы, техникумы, колледжи, лицеи, гимназии, школы, дошкольные учреждения и т. п.), потребление энергоресурсов в которых в два и более раза выше, чем в других развитых странах. По экспертным данным, совокупный потенциал энергосбережения в городском жилом фонде и бюджетной сфере может достигать 45 % [5].

Цель работы. Основной целью исследования является выявление реальных резервов повышения энер-

гоэффективности в государственных учреждениях, основываясь на достоверных оценках технического состояния объектов [6].

Здание целлюлозно-бумажного колледжа (ЦБК) – трёхэтажное. Строительный объём здания – 23 218 м³. Общая площадь помещений – 61 125 м². Основная площадь – 58 045 м².

Наружные и внутренние капитальные стены – крупнопанельные железобетонные, перегородки – кирпичные, чердачные перекрытия выполнены железобетонными плитами, крыша рубероидная, совмещённая. Полы дощатые, линолеум. Оконные блоки имеют двойное остекление.

Со дня возведения капитального ремонта ЦБК не осуществлялось вовсе, что привело к значительному физическому износу основных строительных конструкций, достигнув отметки свыше 30 %.

Результаты работы. Теплоснабжение образовательного учреждения (ОУ) осуществляется от абонентского ввода, расположенного в индивидуальном тепловом пункте (ИТП). Потребителями тепловой энергии являются системы отопления, приточной вентиляции и горячего водоснабжения.

Для определения потреблённого расхода теплоты и её оплаты в тепловом вводе, расположенном в подвале здания, организован коммерческий учёт на базе теплосчётчика коммерческого учёта ТЭМ-104, имеющего два отдельных измерительных канала для отопления (приточной вентиляции) и ГВС.

На рис. 1 представлена структура распределения финансовых затрат на энергоресурсы и воду в 2024 г.

Тепловая энергия в горячей воде поступает в здание через тепловой ввод, расположенный в подвале учреждения. Тепловой ввод оборудован теплосчётчиком коммерческого учёта ТЭМ-104 для определения отпущенного количества теплоты (тепловой энергии) систем теплоснабжения и горячего водоснабжения.

Согласно договору, максимальная суммарная часовая нагрузка системы теплоснабжения составляет 1,3058 Гкал/ч, из них: на отопление 0,491 Гкал/ч; на вентиляцию 0,525 Гкал/ч; на горячее водоснабжение 0,29 Гкал/ч. Годовая договорная величина теплоснабжения составила 2162,05 Гкал в течение 2024 г. Максимальная часовая нагрузка системы вентиляции рассчитана на 5 вентиляционных установок, однако при визуальном осмотре и данным персонала образовательного учреждения отмечена одна работающая установка.

Система отопления ОУ одноконтурная П-образная, подключена к водяной тепловой сети по зависимой схеме с подмешиванием обратной воды через элеватор. Для этих целей в подвале здания оборудован тепловой ввод, включающий водоструйный элеватор, запорную арматуру, контрольно-измерительные приборы

(термометры и манометры). Система отопления работает по температурному графику 130–70 °С. В качестве отопительных приборов, в основном, используются

чугунные радиаторы типа МС-140. Ремонт систем отопления в здании не проводился.

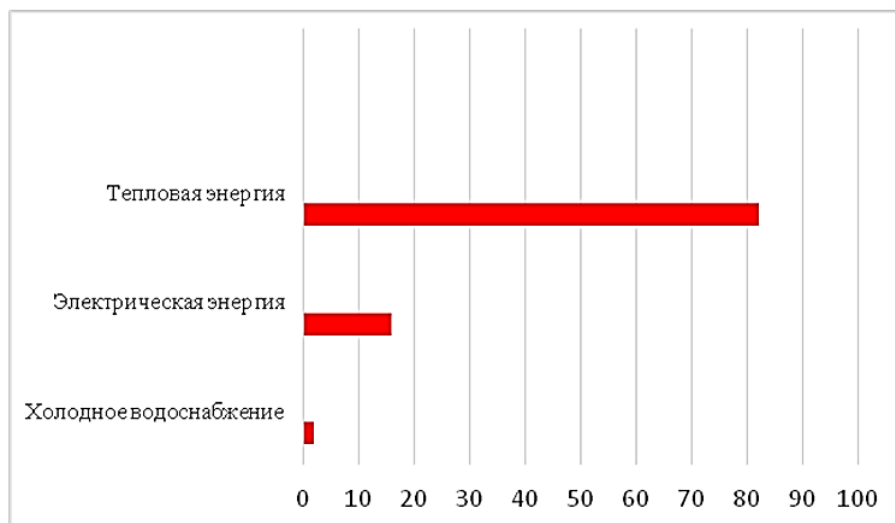


Рис. 1. Суммарная стоимость энергоресурсов

В то же время теплопроводы, идущие через весь подвал, и тепловая изоляция не ремонтировались с момента основания здания. Трубы прогнили, теплоизоляция осыпается. Требуется замена теплопроводов в подвале здания.

Большая часть оконных блоков здания требует ремонта. Рамы рассохлись. По данным персонала ЦБК несколько рам вывалились вовнутрь двора при мытье окон. Между створками окон видны большие щели, через которые происходит инфильтрация холодного воздуха внутрь помещения.

В ряде помещений на первом (кабинет директора, торец здания) и втором этажах система отопления не обеспечивает требуемой и комфортной температуры внутри помещений. Теплоотдача отопительных приборов низкая, имеются щели в полу и стенах здания. Зафиксированы наружные крупные щели значительной протяжённости в стыках между стенами здания и фундаментом. Температура в классах, кабинетах и других помещениях в период отопительного сезона (по данным опроса персонала) достигает 12–15 °С (нижний предел – первый этаж). В ряде административных помещений отопительные приборы закрыты декоративными панелями. Персонал ОУ вынужден подогревать воздух внутри отдельных помещений электроотопительными приборами.

Рациональное использование тепловой энергии зависит от ряда факторов: уровня теплозащиты наружных конструкций здания, эффективности работы отопительно-вентиляционных систем и систем обеспечения микроклимата здания [7].

Система общеобменной приточно-вытяжной вентиляции предназначена для обеспечения требуемой кратности воздухообмена в помещении [8]. Система приточной вентиляции состоит из водяного калорифера, вентилятора и системы воздуховодов.

По данным персонала ЦБК и визуального осмотра четырёх из пяти систем приточной вентиляции не ра-

ботают, а работающая включается чаще в наиболее холодные периоды отопительного сезона.

Для создания нормативных климатических условий для сотрудников и обучающихся колледжа необходимо обеспечивать требуемую кратность воздухообмена за счёт работы всех систем приточно-вытяжной вентиляции в течение всего отопительного периода.

Годовое фактическое теплопотребление, согласно данным приборов учёта за базовый 2024 г. и 3 мес. 2025 г., а также ежемесячное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию представлено в табл. 1. Динамика теплопотребления в течение 2023–2025 гг. представлена на рис. 2. Характер изменения потребления тепловой энергии соответствует изменению отопительной нагрузки. С июня по август потребление теплоты на отопление отсутствует.

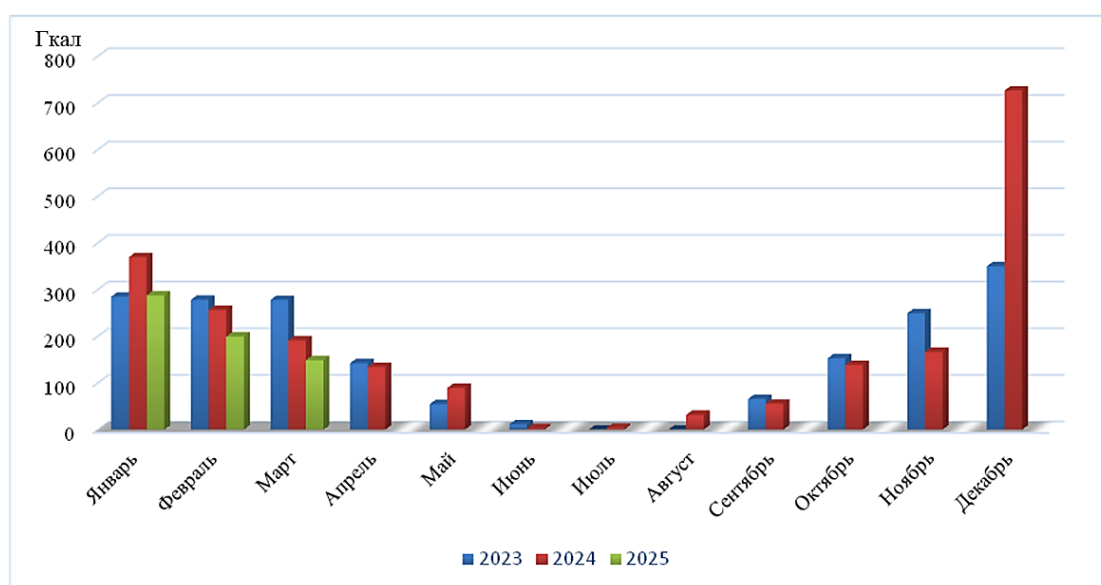
Некоторые отличия теплопотребления, наблюдаемые в декабре и январе (рис. 2), объясняются существенными изменениями климатических условий отопительного периода.

В период энергетического обследования выполнены выборочные замеры температуры и относительной влажности в помещениях и рекреациях ОУ с помощью термогигрометра Testo 625. Результаты измерений полученных показателей приведены в табл. 2.

Нижний предел температуры во всех контрольных помещениях находится в пределах нормы [9]. Верхний предел температур находится выше нормы в основном на третьем этаже. На первом этаже температура в среднем на 2–2,5 °С ниже, чем на третьем этаже. Учитывая положительную температуру наружного воздуха (+4 °С) в период энергетического обследования, в период морозов на первом и втором этажах возможно снижение температуры ниже оптимальных значений (20–22 °С), что подтверждается информацией, полученной при опросе сотрудников колледжа (16 °С и ниже для первого этажа).

Таблица 1. Фактическое теплоснабжение ЦБК в 2023–2025 гг.

	Потребление теплоты на отопление и вентиляцию, Гкал		
	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Январь	284,575	369,29	287,2
февраль	277,7311	256,13	199,04
Март	277,571	190,71	148,42
Апрель	142,04	134,056	
Май	54,27	88,87	
Июнь	10,798	2,603	
Июль	0	3,389	
Август	0	31,2822	
Сентябрь	65,312	55,14	
Октябрь	152,513	138,231	
Ноябрь	248,987	166,061	
Декабрь	349,747	726,289	
Всего	1863,546	2162,0512	634,66

**Рис. 2.** Динамика теплоснабжения в 2023–2025 гг.**Таблица 2.** Результаты измерения температуры и относительной влажности в помещениях ЦБК

№	Помещение	Температура $t_{\text{вн.в.}}$, °C	Относительная влажность ф, %
1 этаж			
1	Столовая	23,1	27,8
2	Медiateка	22,3	24,6
3	Коридор (западная сторона)	–	–
4	Лестничный марш (северо-западная сторона)	23	26,4
5	Спортзал	23	26,6
2 этаж			
1	Коридор (северная сторона)	21,6	27,2
2	Кабинет 205	23,8	26,1
3	Кабинет 207	24,3	22,6
4	Коридор (западная сторона)	22,8	25,2
5	Детская студия, коридор (южная сторона)	24,3	25,6
6	Актный зал	24,7	25,5
7	Кабинет 214	23,4	25,7
8	Кабинет 217	24,9	24,4
3 этаж			
1	Коридор (восточная сторона)	23,8	25,5
2	Коридор (северная сторона)	23,5	25,6
3	Кабинет 307	25,4	24,2
4	Кабинет 305	25,2	22,3
5	Кабинет 312	24	26
6	Кабинет 317	25	25

Максимальная договорная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение составляет 0,29 Гкал/ч.

Горячая вода используется на хозяйственно-питьевые и бытовые нужды сотрудников и обучающихся ОУ.

Фактическое потребление теплоты на горячее водоснабжение за 2023–2025 гг. представлено в табл. 3.

На рис. 3 представлено изменение нагрузок на ГВС в период 2023–2025 гг. и фактическое потребление теплоты на отопление и на горячее водоснабжение в 2024 г. (рис. 4).

Теплопотребление в системе ГВС с 2023 по 2025 гг. с января по апрель существенно снизилось, причём в 2024 г. в летний и осенний период наблюдается существенный рост расходов теплоты на ГВС по сравнению

с другими месяцами. Предположительно это связано с проведением ремонта и подготовкой к отопительному сезону. Однако в сравнении с расходами теплоты на отопление эти отклонения расходов на ГВС незначительны (рис. 4).

Система горячего водоснабжения (ГВС) организована от абонентского ввода, расположенного в тепловом пункте (ТП), схема присоединения открытая. В ТП холодная водопроводная вода нагревается в водоподогревателе до + 65 °С и поступает в систему ГВС.

В здании колледжа горячая вода поступает по трубопроводам через тепловой ввод и затем подается на водоразборные устройства. Трубопровод подачи системы ГВС оборудован приборным учётом расхода горячей воды и тепловой энергии.

Таблица 3. Фактическое потребление теплоты на горячее водоснабжение в 2023–2025 гг.

	Потребление тепловой энергии на ГВС, тонн / Гкал		
	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Январь	461,76 / 30,043	160,54 / 10,445	63,95 / 4,161
Февраль	386,89 / 25,172	85 / 5,53	12,5 / 0,813
Март	419,38 / 27,285	121 / 7,872	17,8 / 1,158
Апрель	520,22 / 33,846	204 / 13,273	
Май	227,12 / 14,777	101,5 / 6,604	
Июнь	356,37 / 23,186	69,058 / 4,493	
Июль	0	295,15 / 19,203	
Август	0	755,64 / 49,163	
Сентябрь	103,9 / 6,76	134,8 / 8,77	
Октябрь	110,41 / 7,183	417,73 / 27,178	
Ноябрь	133,22 / 8,667	350,97 / 22,835	
Декабрь	221,86 / 14,435	235,637 / 15,331	
Итого	2941,13 / 191,354	2931,025 / 190,697	94,25 / 6,132

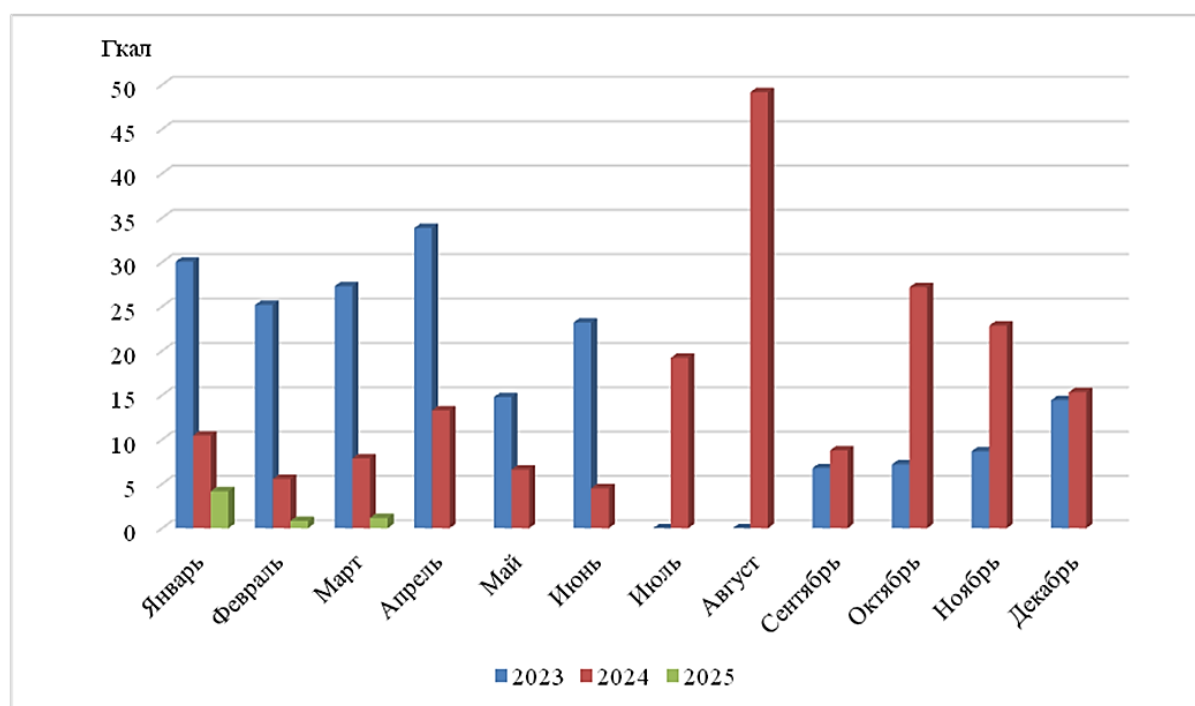


Рис. 3. Фактическое потребление теплоты на горячее водоснабжение в 2023–2025 гг.

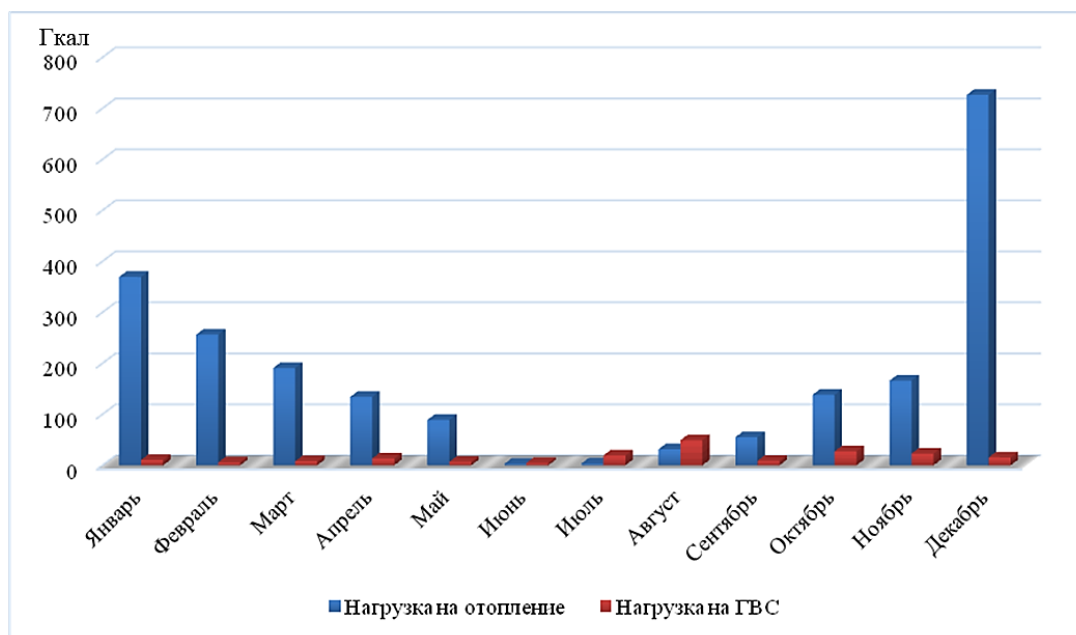


Рис. 4. Фактическое потребление теплоты на отопление и на горячее водоснабжение в 2024 г.

Фактические данные, представленные ЦБК, позволяют определить структуру распределения тепловой нагрузки (рис. 5) и составить баланс теплоснабжения в базовом 2024 году. Суммарное теплоснабжение – 2352,75 Гкал.

Фактическое потребление теплоты в базовом 2024 г. составило 2352,75 Гкал, из них на нужды отопления и вентиляции израсходовано 2162,05 Гкал (92 %), в системе горячего водоснабжения – 190,7 Гкал (8 %).

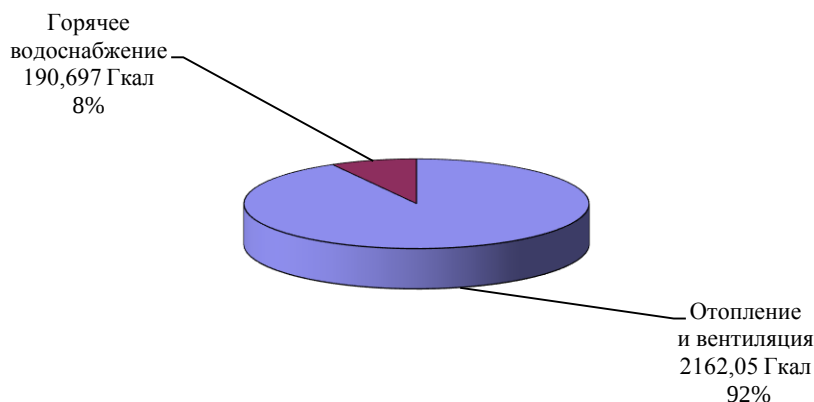


Рис. 5. Структура распределения тепловой нагрузки в 2024 г.

Заключение. Промывка трубопроводов отопительной системы. В колледже температура в некоторых классах, кабинетах и других помещениях в период отопительного сезона (по данным опроса персонала) достигает 12–15 °С (нижний предел – 1 этаж). В ряде административных помещений отопительные приборы закрыты декоративными панелями, что может способствовать существенному снижению температуры в отапливаемом помещении. Персонал ОУ вынужден подогревать воздух внутри отдельных помещений электроотопительными приборами. Ремонт и промывка трубопроводов системы отопления не проводился с момента основания здания (1979 г.).

Для повышения эффективности работы системы отопления целесообразно проводить промывку трубо-

проводов и отопительных приборов. Промывка системы отопления проводится в конце отопительного сезона и позволяет удалить отложения и загрязнения, образовавшиеся за период отопительного сезона.

Технология одного из возможных способов промывки базируется на запатентованном способе «щадящего» удаления отложений без повреждения теплообменных поверхностей с использованием высокоэффективных моющих композиций и поверхностно-активных веществ. Данная технология позволит решить следующие задачи: удаление отложений без повреждения оксидных плёнок на металле; эффективная защита от коррозии в едином технологическом цикле; предотвращение образования новых отложений; удаление из поверхностных трещин коррозионно-активных соедине-

ний. После реализации данного мероприятия повышается теплоотдача отопительных приборов внутри помещений.

По экспертным оценкам потребление тепловой энергии снижается на 5–10 %, что может составить до 216,2 Гкал за отопительный период. С учётом тарифа на тепловую энергию в 2025 г. экономия финансовых средств может составить 376,18 тыс. руб./год.

В качестве беззатратного мероприятия рекомендуется профилактическая промывка системы отопления водой.

Замена деревянных оконных конструкций на окна ПВХ с тройным стеклопакетом. В настоящее время в здании тип всех светопрозрачных ограждающих конструкций: деревянные окна с двойным остеклением из обычного стекла в деревянных переплётах [11].

Существующие окна имеют низкий показатель термического сопротивления, деревянные рамы рассохлись и имеют многочисленные дефекты и сколы. Результаты тепловизионного обследования показали, что узлы примыкания оконных конструкций к стеновым проёмам имеют плохую теплоизоляцию, нарушены уплотнения между створками окон и рамой. Все эти факторы являются источником повышенных трансмиссионных потерь и избыточного поступления наружного infiltrирующего воздуха вовнутрь помещений, о чём свидетельствуют многочисленные жалобы персонала учреждения. В результате нарушаются показатели комфортности, увеличивается нагрузка на отопительные приборы и повышается риск увеличения простудных заболеваний среди обучающихся и работников колледжа.

Рекомендуется провести поэтапную замену существующих деревянных окон на окна ПВХ с низкой теплопроводностью.

Исходные данные для теплотехнического расчета: общая площадь оконных конструкций – 1080 м²; приведенное сопротивление теплопроводности существующих деревянных окон – 0,44 м² · °C/Вт; приведенное сопротивление теплопроводности пластиковых окон ПВХ – 0,65 м² · °C/Вт (трёхкамерный стеклопакет из обычного стекла с межстекольным расстоянием 12 мм) [12].

Замена существующих окон на окна повышенной герметичности (окна ПВХ) приведёт к снижению трансмиссионных потерь тепловой энергии через оконные конструкции и снижению расхода тепловой энергии на нагрев infiltrирующего наружного воздуха [13].

Трансмиссионные потери тепловой энергии через окна составят:

$$Q^T = (S / R_o) \times (t_b - t_n), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где S – площадь окон, м²; R_o – приведенное сопротивление теплопроводности окон, м² · °C/Вт; t_b – нормативная температура воздуха внутри помещений, °C; t_n – расчётная температура наружного воздуха.

Трансмиссионные потери тепловой энергии через деревянные окна составят:

$$Q^T_{\text{дер.}} = 147272,7 \text{ Вт}.$$

Трансмиссионные потери тепловой энергии через пластиковые окна составят:

$$Q^T_{\text{ПВХ}} = 99692,3 \text{ Вт}.$$

Таким образом, часовая экономия тепловой энергии от замены деревянных оконных конструкций составит:

$$\Delta Q_{\text{пот}} = 47580,4 \text{ Вт} = 0,0411 \text{ Гкал/час}.$$

В пересчёте на среднемесячную температуру наружного воздуха за отопительный период для города, расположенного в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, годовая экономия тепловой энергии (потенциал энергосбережения) составит:

$$\Delta Q_{\text{год}} = \Delta Q_{\text{пот}} \times n \times Z \times ((t_b - t_{cp}) / (t_b - t_n)) \quad (2)$$

$$\Delta Q_{\text{год}} = 100,979 \text{ Гкал/год}.$$

С учётом тарифа на отпуск тепловой энергии на нужды отопления для колледжа в 2025 г. экономия финансовых средств составит:

$$\Xi = 175,7 \text{ тыс. руб.}$$

В целом экономия тепловой энергии может оказаться значительно выше за счёт снижения избыточного объёма infiltrирующего воздуха, поступающего вовнутрь помещений через существующие светопрозрачные оконные конструкции в деревянном переплёте.

Оценить затраты, срок окупаемости работ по замене существующих окон возможно только после составления дефектной ведомости и сметы затрат на оборудование, материалы и планируемые работы.

Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций здания ЦБК. Рассмотрим устройство тепловой изоляции наружных стен здания колледжа. Здание построено в 1979 г. без выполнения условий энергосбережения, процент остекления здания составляет 44,9 %, что уменьшает термическое сопротивление теплопередаче здания в целом [14].

Исходные данные для теплотехнического расчёта: керамзитобетонная наружная стена, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ (при $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), толщина $\delta = 400 \text{ мм}$; штукатурка односторонняя цементно-песчаным раствором, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,85 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$, толщина $\delta = 20 \text{ мм}$.

Термическое сопротивление теплопередаче керамзитобетонной оштукатуренной стены здания составит:

$$R_k = \sum \frac{\delta}{\lambda} \quad (3)$$

$$R_k = 1,023 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Приведённое сопротивление теплопередаче наружной стены определяем по формуле:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_n} + R_k + \frac{1}{\alpha_{вн}} \quad (4)$$

$$R_o = 1,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Температура внутренней поверхности наружных стен τ_{int} при расчётных условиях определяем по формуле:

$$\tau_b = t_b - \frac{n(t_b - t_n)}{R_o \alpha_b} \quad (5)$$

$$\tau_b = 14,16 \cdot \text{°C}.$$

Расчётный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены определяем по формуле:

$$\Delta t_o = \frac{n(t_b - t_n)}{R_o \alpha_b} \quad (6)$$

$$\Delta t_o = 5,84 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Параметр $\Delta t_o > 4,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности наружной стены [15].

Проведённые теплотехнические расчёты наружных ограждений показали, что фактические значения приведённого сопротивления теплопередаче наружной стены и оконных конструкций ниже, чем нормируемые показатели.

Для увеличения приведённого сопротивления теплопередаче наружных стен до нормируемого значения рекомендуется провести мероприятия по тепловой изоляции ограждающих конструкций.

Работы по тепловой изоляции наружных стен включают в себя: герметизацию монтажных швов узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам; подготовку поверхности наружных стен и устройство тепловой изоляции.

В качестве тепловой изоляции выбран утеплитель ИЗОВОЛ на основе базальтовых волокон марки Л-35, лист размером $1000 \times 600 \times 100$ мм, плотность материала 35 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,034 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, толщина листа $\delta = 100$ мм.

Исходные данные для теплотехнического расчета: керамзитобетонная наружная стена, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (при $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), толщина $\delta = 400$ мм; штукатурка односторонняя цементно-песчаным раствором, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,85 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, толщина $\delta = 20$ мм; плита на основе базальтовых волокон, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,034 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, толщина $\delta = 100$ мм; отделка наружной стены гофролистом, толщина $\delta = 0,5$ мм.

Ниже представлены данные расчётов по формулам 3–6. Термическое сопротивление теплопередаче многослойной стены здания составит:

$$R_k = 3,96 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}.$$

Приведённое сопротивление теплопередаче многослойной наружной стены:

$$R_o = 4,119 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}.$$

Температура внутренней поверхности наружных стен τ_{int} при расчётных условиях:

$$\tau_b = 18,33 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расчётный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены:

$$\Delta t_o = 1,67 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Параметр $\Delta t_o < 4,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности наружной стены.

Согласно расчётным значениям приведённого сопротивления теплопередаче, температурного перепада между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности стены выполняются требования.

Тепловые потери через неизолированную наружную стену составят:

$$Q_{\text{пот1}} = 122,43 \text{ кВт}.$$

Тепловые потери через изолированную наружную стену составят:

$$Q_{\text{пот2}} = 35,07 \text{ кВт}.$$

Таким образом, часовая экономия тепловой энергии при проведении тепловой изоляции наружной стены здания составит:

$$\Delta Q_{\text{пот}} = 87,36 \text{ кВт или } 0,075 \text{ Гкал/час}.$$

В пересчёте на среднемесячную температуру наружного воздуха за отопительный период, годовая экономия тепловой энергии (потенциал энергосбережения) составит:

$$\Delta Q_{\text{год}} = \Delta Q_{\text{пот}} \cdot n \cdot Z \cdot [(t_b - t_{\text{ср}}) / (t_b - t_n)] \quad (7)$$

$$\Delta Q_{\text{год}} = 184,27 \text{ Гкал/год}.$$

С учётом тарифа на отпуск тепловой энергии на нужды отопления для колледжа в 2025 г. экономия финансовых средств составит:

$$\Xi = 320,62 \text{ тыс. руб. без НДС}.$$

Капитальные затраты на установку ограждающих конструкций состоят из стоимости теплоизоляционного материала, проекта, стоимости строительно-монтажных работ, простой срок окупаемости равен:

$$T_{\text{ок}} \approx 15 \text{ лет}.$$

Однако точно оценить затраты, срок окупаемости работ по установке тепловой изоляции наружных стен, так же как и деревянных светопрозрачных ограждающих конструкций здания ЦБК возможно только после составления дефектной ведомости и сметы затрат на оборудование, материалы и планируемые работы [16].

Литература

1. Максимчук О.В., Першина Т.А. Энергетический менеджмент. – Волгоград, 2017.
2. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (последняя редакция).
3. Приказ Минэкономразвития России от 17 февраля 2010 года №61 «Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».
4. Добронова Т.В., Головин А.А., Шевякин А.С. Оценка эффективности энергопотребления на предприятии // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 8–2. – С. 212–217.
5. Nurlin D.F. Energy efficiency challenges and solutions: lessons learned from global energy management programs // В сборнике: Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций. Сборник статей XII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2024. – С. 444–447.
6. Захаров А.С., Орлов А.К. Технология «Умный дом» как энергосберегающая технология будущего // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 5 (94). – С. 1166–1169.
7. СП 50.13330.2024. Свод правил. Тепловая защита зданий

8. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление вентиляция и кондиционирование воздуха.
9. СП 131.13330.2020. Свод правил. Строительная климатология.
10. ГОСТ 30494-2011. Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
11. СП 23-101-2004. Свод правил. Проектирования тепловой защиты зданий.
12. МГСН 2.01-99. «Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоснабжению».
13. ГОСТ 25380-2014 «Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции».
14. Федяев Ал.А., Федяев В.Н., Федяева П.А. Тепловизионная диагностика светопрозрачных ограждающих конструкций объектов. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы XVII (XXXIX) Всеросс. науч.-техн. конф. – Братск : Изд-во БрГУ, 2018. – С. 9.
15. СП 50.13330.2024. Свод правил. Тепловая защита зданий.
16. Федяев Ал.А., Гончарова Н.А., Федяев П.А., Федяева В.Н., Игнатьева С.М. Особенности использования тепловизора при обследовании объектов из древесины. Сборник статей по материалам науч.-техн. конф. института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2024 года. [Электронный ресурс] / отв. ред. С.А. Угрюмов. – Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2025. – С. 304–312.
- Altai Academy of Economics and Law. – 2022. – № 8–2. – pp. 212–217.
5. Nurlin D.F. Energy efficiency challenges and solutions: lessons learned from global energy management programs // In the collection: Strategic development of the innovative potential of industries, complexes and organizations. Collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference. – Penza, 2024. – pp. 444–447.
6. Zakharov A.S., Orlov A.K. Smart Home Technology as an Energy-Saving Technology of the Future // Economics and Entrepreneurship. – 2018. – № 5 (94). – Pp. 1166–1169.
7. SP 50.13330.2024. Code of rules. Thermal protection of buildings
8. SP 60.13330.2020. Code of rules. Heating, ventilation and air conditioning.
9. SP 131.13330.2020. Code of rules. Building climatology.
10. GOST 30494-2011. Interstate Standard. Residential and public buildings. Indoor microclimate parameters.
11. SP 23-101-2004. Code of Practice. Design of thermal protection of buildings.
12. MGSN 2.01-99. "Energy Saving in Buildings. Norms for Thermal Protection and Thermal and Water Supply".
13. GOST 25380-2014 "Buildings and Structures. Method for Measuring the Density of Thermal Fluxes Passing Through Building Constructions".
14. Fedyaev Al.A., Fedyaev V.N., Fedyaeva P.A. Thermal imaging diagnostics of translucent building structures. Natural and engineering sciences for the development of Siberian regions: materials of the XVII (XXXIX) All-Russian scientific and technical conference. – Bratsk : BrSU Publishing House, 2018. – P. 9.
15. SP 50.13330.2024. Code of rules. Thermal protection of buildings.
16. Fedyaev Al.A., Goncharova N.A., Fedyaev P.A., Fedyaeva V.N., Ignatieva S.M. Features of using a thermal imager in the survey of wood objects. Collection of articles based on the materials of the scientific and technical conference of the Institute of Technological Machines and Forest Transport based on the results of research work in 2024. [Electronic resource] / editor-in-chief S.A. Ugryumov. – Saint Petersburg : SPbGLTU, 2025. – Pp. 304-312

References