

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

УДК 697
(индекс УДК)

На правах рукописи

Гапеев Иван Владимирович

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
УЧРЕЖДЕНИЯХ, НА ПРИМЕРЕ ГУО «БАЗОВАЯ ШКОЛА №10
Г. НОВОПОЛОЦКА»

1-70 80 01 «Строительство»

Магистерская диссертация
на соискание степени магистра технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук,
доцент, Королева Т. И.

Новополоцк, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	5
ГЛАВА 1	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АУДИТ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ.....	7
1.1 Энергетический менеджмент и энергоаудит предприятия, организации, здания.....	7
1.2 Энергоэкономические показатели по нормированию ТЭР.....	10
1.3 Энергосбережение в зданиях.....	12
1.3.1 Снижение тепловых потерь путем термореновации зданий.....	12
1.3.2 Снижение потерь тепла через окна.....	16
1.3.3 Герметизация и организация вентиляции в зданиях с минимизацией потерь тепла.....	18
1.3.4 Оптимизация систем отопления зданий.....	21
1.3.5 Использование солнечной энергии в инженерных системах зданий.....	23
1.3.6 Использование тепловых насосов в инженерных системах зданий.....	24
1.3.7 Рационализация энергопотребления.....	25
ГЛАВА 2	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЯ БАЗОВОЙ ШКОЛЫ №10 Г.НОВОПОЛОЦКА.....	28
2.1 Краткое описание объекта энергетического обследования.....	28
2.2 Объёмы и структура ТЭР, поступающих на площадку здания.....	29
2.3 Теплоснабжение и теплопотребление здания.....	32
2.4 Электроснабжение и электропотребление здания.....	34
2.5 Инструментальные обследования ГУО «Базовая школа №10 г.Новополоцка».....	35
2.5.1 Тепловизионное обследование ограждающих конструкций и систем отопления.....	35
2.5.2 Анализ условий проведения тепловизионной съёмки, обработка результатов тепловизионного обследования и выводы.....	36
2.5.3 Заключение о результатах тепловизионного обследования	38
ГЛАВА 3	
МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ.....	41
3.1 Общая оценка имеющегося потенциала энергосбережения и определение направлений реализации энергосберегающих мероприятий...	41

3.2 Мероприятия по экономии электрической энергии.....	43
3.3 Мероприятия по экономии тепловой энергии.....	44
3.3.1 Тепловая модернизация (реабилитация) ограждающих конструкций здания.....	44
3.3.2 Модернизация вентиляции плавательного бассейна с применением вентиляционной установки с теплоутилизатором.....	49
3.3.3 Модернизация общеобменной вентиляции учебных классов.....	52
3.3.4 Модернизация систем отопления.....	55
3.4 Сводный перечень рекомендуемых мероприятий.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	59
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	61

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день вопрос о повышении энергетической эффективности бюджетных организаций – одна из важнейших задач, сформулированных правительством Республики Беларусь. Проблема неэффективного и нерационального использования ресурсов требует комплексного подхода к управлению энергосбережением. Энергетическое обследование (энергоаудит) позволяет оценить существующие энергетические расходы, выявить наибольшие потери энергии, определить потенциал энергосбережения и на основе полученных данных составить программу энергосберегающих мероприятий. Энергосберегающие мероприятия разработаны, согласно требованиям Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении»[1], в соответствии с которым, на основании обязательного энергетического обследования, необходимо оправданно и аргументировано уменьшать потребление энергетических ресурсов и повышать энергетическую эффективность зданий и сооружений.

Вопрос об энергоэффективности был и остается одним из приоритетных направлений в экономике Республики Беларусь. Актуальность энергосбережения и повышение энергетической эффективности зданий обусловлена высокими затратами и постоянным ростом тарифов на энергоресурсы. Высокий износ многих общественных зданий, недостаточная осведомленность работников бюджетной сферы о возможностях энергосбережения, отсутствие реальных стимулов у руководителей организаций к повышению энергетической эффективности – факторы, свидетельствующие о реальных преградах внедрения программ энергосбережения. Энергоаудит позволяет получить данные о существующем состоянии объекта для разработки комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности и оценки потенциала энергосбережения, а так же дает возможность выявить причины энергопотерь и в конечном итоге снизить расходы на энергетические ресурсы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами. Магистерская диссертация выполнялась в рамках госбюджетной темы кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Полоцкого государственного университета «Природоохранные и энергоресурсосберегающие новационные технологии в системах теплогазоснабжения и вентиляции» ГБ 0112.

Цели и задачи исследований. Повышение энергоэффективности образовательных учреждений на примере ГУО «Базовая школа №10 г.Новополоцка» на основании анализа потребления тепловой и электрической энергии.

Для достижения цели исследований были поставлены следующие основные задачи:

- Анализ мероприятий по управлению энергопотреблением в организациях.
- Определение энергоэкономических показателей по нормированию топливно-энергетических ресурсов (далее ТЭР).
- Анализ путей снижения потребления тепловой и электрической энергии в общественных зданиях.
- Проведение энергетического обследования здания школы, включающее инструментальное обследование.
- Разработка и обоснование энергосберегающих мероприятий для учреждений образования.

Научная новизна. Анализ и обобщение путей энергосбережения применительно к учреждениям образования и разработка мероприятий по экономии ТЭР с определением ожидаемого экономического эффекта, объема финансирования и сроков окупаемости предлагаемых мероприятий.

Положения, выносимые на защиту.

- Комплекс энергоэкономических показателей для выявления резервов экономии ТЭР.
- Результаты анализа снижения тепловых потерь зданиями и определение путей экономии энергетических ресурсов при эксплуатации зданий.
- Анализ потребления ТЭР Базовой школой №10 г.Новополоцка.
- Результаты инструментальных обследований для выявления путей сбережения тепловой энергии в здании Базовой школой №10 г.Новополоцка.
- Комплекс энергосберегающих мероприятий на примере Базовой школой №10 г.Новополоцка.

Личный вклад магистранта. Автор принимал личное участие в поиске необходимой информации, проведении исследований, разработке основных

положений, теоретических построений, аналитических расчетов и получении результатов, изложенных в диссертации. Проведение экспериментов, обобщение их результатов, выработка рекомендаций осуществлялась совместно с сотрудниками кафедры теплогазоводоснабжения и вентиляции Полоцкого государственного университета.

Апробация магистерской диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные положения доложены и обсуждены на XLVI студенческой конференции, секции «теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» учреждения образования Полоцкий государственный университет.

Результаты выполненных исследований используются в учебных целях при проведении лекционных и практических занятий, выполнении научных исследований по госбюджетной тематике, при проектировании новых и реконструкции уже существующих общественных зданий и могут быть широко использованы в практике градостроительства.

Структура и объем магистерской диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трёх глав основной части, заключения, списка использованной литературы из 32 наименований и 3 приложений.

Общий объем диссертации содержит 60 страницы, в том числе 14 рисунков на 12 страницах, 7 таблиц на 5 страницах и 3 приложения на 23 страницах.

ГЛАВА 1

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АУДИТ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ

1.1 Энергетический менеджмент и энергоаудит предприятия, организации, здания

Энергосбережение – именно та позиция, с которой сегодня необходимо рассматривать деятельность любого предприятия. Безусловно, важная роль здесь принадлежит нормированию и стандартизации, а также энергетическому обследованию, которое проводится в целях оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и обеспечения их экономии.

Для повышения эффективности энергосберегающих мероприятий большое значение имеет не только внедрение нового оборудования, передовых технологий, но и грамотно организованное управление энергопотреблением, то есть энергоменеджмент и энергоаудит на предприятиях, в организациях и зданиях.

Энергетический менеджмент представляет собой совокупность технических и организационных мероприятий, направленных на повышение эффективности использования энергоресурсов и являющейся частью общей структуры управления предприятием. Основная задача его состоит в проведении комплексного анализа энергопотребления и на его основе – проведение энергосберегающих мероприятий на предприятии.

Основными функциями энергоменеджмента согласно [2] являются:

- взаимодействие с энергопотребителями предприятия (организации) и с энерго- ресурсоснабжающими организациями;
- обработка и предоставление информации об энергопотреблении по отдельным структурным подразделениям;
- подготовка предложений по энергосбережению; разработка энергосберегающих проектов и управление ими;
- проведение разъяснительно-воспитательной работы о важности и необходимости энергосбережения.

Энергосберегающие мероприятия выполняются по следующим направлениям:

- составление энергетического баланса всего предприятия или организации и структурных подразделений-энергопотребителей;
- проведение энергетического обследования (энергоаудита);
- мониторинг и планирование.

Энергетический аудит – это обследование предприятия, организации или здания с целью сбора информации об источниках энергии, ее удельном потреблении на единицу выпускаемой продукции (или на 1 м³ объема обслуживаемого здания), разработка рекомендаций и технических решений по снижению энергетических затрат.

По результатам энергоаудита руководство предприятия должно получить:

- Оценку текущего энергопотребления с достоверными данными по объемам потребления всех ресурсов и суммам средств, затрачиваемым на них, по предприятию или организации в целом, по отдельным участкам, и их удельные величины на каждый вид продукции.

- Программу мероприятий по энергосбережению, содержащую систему мер организационного, правового и технического характера, направленных на постоянное и планомерное снижение издержек, при улучшении производственных, экономических и экологических показателей предприятия и условий труда персонала.

В программу должны быть включены как энергосберегающие мероприятия, так и меры по созданию системы энергоменеджмента: внедрение системы контроля и поощрение достижений, повышение мотивации и обучение персонала, порядок пересмотра и корректировки программы и положения.

Таким образом, энергетическое обследование может указать на перспективные направления деятельности, на основе которых необходимо организовать и проводить практическую работу по повышению энергетической эффективности предприятия.

Энергетический аудит может быть предварительным или подробным; простым или сложным; разовым, периодическим или перманентным (непрерывным).

Предварительный аудит заключается в анализе потребления энергии определенным участком за установленный промежуток времени для определения удельного энергопотребления.

Подробный аудит заключается в сборе и записи полной информации о потребленной энергии на каждом участке за каждый временной период и в расчетах энергетических балансов и эффективности. Для эффективного проведения подробного аудита необходимо:

- сравнение основных показателей энергопотребления с другими предприятиями отрасли;

- обмен опытом с другими предприятиями, занимающимися производством однородной продукции.

Простой аудит состоит в определении наиболее значимых энергоэффективных мероприятий, внедрение которых позволит получить в короткое время значительный экономический эффект. При сложном аудите

выявляются не только внутренние резервы экономии топливно-энергетических ресурсов, но и влияние различных внешних факторов.

Сущность разового аудита может состоять как в проверке расходования отдельных видов, так и всех энергоресурсов, потребляемых организацией в нестандартных ситуациях (слишком большой расход или, наоборот, малый, значительное отклонение фактического расхода ресурсов на единицу продукции от установленного по норме и др.).

Периодический аудит проводится не реже одного раза в 5 лет, а перманентный продолжается непрерывно с целью недопущения отклонения фактических параметров от установленных нормативными документами.

Последовательность энергетического аудита включает:

- Подготовку и организацию работ.
- Сбор данных.
- Проведение обследований и измерений.
- Составление энергетического баланса.
- Оценку возможности энергосбережения.
- Разработку плана мероприятий.
- Составление отчетности.

После проведенного аудита осуществляется мониторинг и планирование необходимых мероприятий по устранению выявленных недостатков в энергопотреблении.

Проведение энергоаудита необходимо для любой организации, в которой существует необходимость контролировать энергозатраты и затраты на коммунальные услуги. Результатом аудита является получение детальной информации, как энергия закупается, распределяется и используется.

Для оценки эффективности использования энергии проводится обследование по следующим семи направлениям:

1. Состояние технического учета:

- способы учета (расчетный, приборный, опытно-расчетный);
- оснащенность приборами расхода ТЭР (электросчетчики, теплосчетчики, расходомеры газа и жидкого топлива);
- формы получения, обработки и представления информации о контроле расхода энергии по цехам, участкам, энергоемким агрегатам;
- соответствие схемы учета энергии структуре норм.

2. Состояние нормирования ТЭР:

- наличие утвержденных в установленном порядке норм расхода энергоресурсов;
- охват нормированием статей потребления энергоресурсов;
- структура норм и ее соответствие технологии и организации производства;

– динамика норм и удельных расходов за 3 предшествующие обследованию года.

3. Определение резервов экономии энергоресурсов на основании обследования энергопотребляющего оборудования, технологических процессов, состояния использования возобновляемых энергоресурсов.

4. Участие предприятия в регулировании графиков электрической нагрузки энергосистемы:

– предусматриваемые мероприятия по использованию энергоемкого оборудования в качестве потребителей-регуляторов;

– режим работы предприятия в условиях ограничения мощности энергосистемы в осенне-зимний период.

5. Перечень и краткое описание важнейших организационно-технических мероприятий по экономии топлива и энергии, намеченных на текущий год планами предприятия и рекомендуемых по результатам проведения целевого обследования.

6. Выявленные источники нерационального расходования энергии и топлива и оценки величины потерь.

7. Основные показатели, характеризующие состояние использования энергии на предприятии.

Энергетическое обследование предприятий любой формы собственности является эффективной мерой экономии энергоресурсов. По результатам аудита составляется технический отчет, в котором должны содержаться мероприятия, способствующие рациональному использованию энергоресурсов, сроки окупаемости и количественные параметры экономии, рекомендации и разъяснения по финансированию предложенных мер [3].

1.2 Энергоэкономические показатели по нормированию ТЭР

Выявление резервов экономии ТЭР производится с помощью системы энергоэкономических показателей. Основными комплексными показателями энергоиспользования на предприятиях являются удельные расходы топлива, тепла и электроэнергии на единицу выпускаемой продукции. Прямые обобщённые энергозатраты, т у. т. [4]:

$$A_{\text{тер}} = B + K_{\text{э}}\text{Э} + K_{\text{q}}Q, \quad (1.1)$$

где B – количество потреблённого топлива, поступившего на предприятие со стороны, т у. т.;

$K_{\text{э}}, K_{\text{q}}$ – топливный эквивалент, выражающий количество условного топлива, необходимого для производства и передачу к месту потребления единицы электрической и, соответственно, тепловой энергии; ежегодно устанавливается Министерством экономики Республики Беларусь;

Э — количество электроэнергии, полученное предприятием со стороны, МВт · ч;

Q — количество тепловой энергии, полученное предприятием со стороны, Гкал.

Энергоёмкость продукции, работы, услуги ($A_{\text{п}}$, т у. т./шт. (т, кг и т. д.) представляет отношение прямых обобщённых энергозатрат ($A_{\text{тэп}}$) к объёму продукции (Π), произведённой за анализируемый период [4]:

$$A_{\text{п}} = A_{\text{тэп}} / \Pi \quad (1.2)$$

Электроёмкость продукции ($\text{Э}_{\text{п}}$ тыс. кВт · ч/шт. (т, кг и т. д.) измеряется отношением всей потреблённой электрической энергии (Э) к объёму продукции (Π), произведенной за анализируемый период [4]:

$$\text{Э}_{\text{п}} = \text{Э} / \Pi \quad (1.3)$$

Теплоёмкость продукции ($Q_{\text{п}}$, Гкал/шт. (т, кг и т. д.) - отношение всей потребляемой тепловой энергии (Q) к объёму продукции (Π), произведенной за анализируемый период [4]:

$$Q_{\text{п}} = Q / \Pi \quad (1.4)$$

Энерговооружённость труда ($A_{\text{м}}$, т у. т./шт. (т, кг и т. д.)) - отношение прямых обобщённых энергозатрат ($A_{\text{тэп}}$) за анализируемый период к среднесписочной численности персонала ($Ч_{\text{ср}}$) [4]:

$$A_{\text{м}} = A_{\text{тэп}} / Ч_{\text{ср}} \quad (1.5)$$

Электровооружённость труда ($\text{Э}_{\text{т}}$ тыс. кВт · ч/чел.) - отношение всей потреблённой на предприятии электроэнергии (Э) к среднесписочной численности персонала ($Ч_{\text{ср}}$) за анализируемый период [4]:

$$\text{Э}_{\text{т}} = \text{Э} / Ч_{\text{ср}} \quad (1.6)$$

Электровооружённость труда по мощности (\mathcal{E}_{TM} , тыс. кВт-ч/чел) - это отношение установленной мощности всех токоприёмников на предприятии (\mathcal{E}_M) к среднесписочной численности персонала (\mathcal{C}_{CP}) [4]:

$$\mathcal{E}_{\text{TM}} = \mathcal{E}_M / \mathcal{C}_{\text{CP}} \quad (1.7)$$

Коэффициент электрификации (\mathcal{E}_3 , тыс. кВт-ч/т у. т.) - отношение всей потреблённой на предприятии электроэнергии (\mathcal{E}) к прямым обобщённым энергозатратам за планируемый период ($A_{\text{тер}}$) [4]:

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E} / A_{\text{тер}} \quad (1.8)$$

Теплоэлектрический коэффициент (Q_3 , Гкал/тыс. кВт-ч) – отношение всей потреблённой предприятием тепловой энергии (Q) к электрической энергии за анализируемый период (\mathcal{E}) [4]:

$$Q_3 = Q / \mathcal{E} \quad (1.9)$$

Электротопливный коэффициент (\mathcal{E}_6 , тыс. кВт • ч/т у. т) - отношение всей потреблённой электроэнергии (\mathcal{E}) к количеству топлива, поступившему на предприятие за анализируемый период (V) [4]:

$$\mathcal{E}_6 = \mathcal{E} / V \quad (1.10)$$

1.3 Энергосбережение в зданиях

1.3.1 Снижение тепловых потерь путем термомодернизации зданий

Потребление тепловой энергии для отопления зданий составляет значительную долю в балансе энергопотребления.

Согласно статистике в коммунальный сектор Республики Беларусь направляется более 56% произведенной тепловой энергии. С учетом использования тепловой энергии для горячего водоснабжения, а также для административных и производственных зданий, можно оценить долю тепловой энергии, направляемой на отопление близкой к 55-60%.

Данные свидетельствуют о значительном потенциале снижения энергопотребления за счет совершенствования конструкций зданий и систем

поддержания микроклимата в них, поскольку наиболее высоким является именно потребление тепловой энергии.

Теплоизоляция и герметизация зданий являются весьма привлекательными направлениями в плане снижения потерь тепловой энергии при отоплении зданий.

Если рассмотреть физические основы процесса теплообмена здания с окружающей средой, то большая часть потерь тепла из зданий происходит за счет процесса теплопередачи (Q_T) и при инфильтрации (Q_I), обусловленной воздухообменом внутренних помещений:

$$Q = Q_T + Q_I \quad (1.11)$$

при этом теплопередача через стену определяется по зависимости [5]:

$$Q_T = k \cdot \Delta t \cdot F = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot F}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}\right)} \quad (1.12)$$

где k – коэффициент теплопередачи;

Δt – перепад температур, $^{\circ}\text{C}$;

F – поверхность теплообмена, м^2 ;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи воздуха внутри помещения;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружного воздуха;

δ_i – толщина i -слоя материала стены, м ;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -слоя материала стены;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{в}}$ – температура воздуха внутри помещения, $^{\circ}\text{C}$.

Из зависимости (1.12) вытекает, что величины теплопередачи и соответственно потерь тепла из зданий определяются толщиной ограждающих конструкций и их теплофизическими свойствами. Теплоизолирующий эффект различных конструкционных материалов зависит от их пористости. Поскольку воздух имеет меньший коэффициент теплопроводности, чем бетон и металл, то пористые материалы будут иметь меньшие значения теплопроводности чем однородные.

Тепловой поток за счет воздухообмена рассчитывается по формуле [6]:

$$Q_I = \frac{m \cdot V}{3} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \quad (1.13)$$

где m – коэффициент инфильтрации – кратность воздухообмена помещения за 1 час;

V – объем помещения, м^3 ;

t_n – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

t_b – температура воздуха внутри помещения, $^{\circ}\text{C}$.

Формула (1.13) показывает, что при увеличении герметизации здания, величина неорганизованного воздухообмена снижается и соответственно уменьшаются и теплопотери.

Если рассмотреть характер распределения теплопотерь через ограждающие конструкции зданий, то в среднем оно выглядит следующим образом:

- стены 42-49%;
- окна 32-36%;
- подвальные и чердачные перекрытия 11-18%;
- входная дверь 5-15%.

Подходы к решению проблемы теплоизоляции зданий различаются в зависимости от того, планируется ли строительство нового здания или рассматривается реконструкция существующих зданий. В настоящее время вновь строящиеся здания должны удовлетворять требованиям более жестких норм строительной теплотехники, нежели в предшествующие годы. При этом во многих странах происходит постоянное ужесточение требований к ограждающим конструкциям по величине теплосопротивления.

Подобные тенденции можно проследить и в строительной практике нашей страны. В этом отношении наиболее проблемными зданиями являются здания 60-80х годов постройки прошлого века. В последующем нормы к теплотехническим параметрам строящихся зданий стали более жестким. Нормы проектирования в этой области регламентируются документом [5], который был введен в действие с 01.07.2007 года. Данный документ устанавливал требования по нормативному сопротивлению теплопередаче в жилых и общественных зданиях для:

- наружных стен крупнопанельных, каркасно-панельных и объемно-блочных зданий – $2,5 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$,
- наружных стен монолитных зданий - $2,2 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$,
- наружных стен из штучных материалов (кирпич, шлакоблоки) - $2,0 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$,
- покрытий – $3,0 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$;
- заполнение световых проемов - $0,6 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

В 2009 году было принято изменение к указанному документу, устанавливающее с 01.07.2009 более жесткие требования по указанному параметру в жилых и общественных зданиях для:

- наружных стен – $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$,
- покрытий – $6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$;
- заполнения световых проемов - $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$,

Таким образом, через два года произошло повышение уровня требований к теплотехническим параметрам ограждающих конструкций (в том числе зданий школ) в 1,25-1,70 раза, что отражает текущую политику государства в строительстве с ориентацией на энергосбережение.

При новом строительстве повышенные требования к снижению теплопотерь учитываются при проектировании зданий путем выбора соответствующих материалов (в том числе термоизоляционных) и использования рациональных конструкций здания.

При модернизации уже построенных зданий, возможности выбора технических решений по термоизоляции ограничены существующей конструкцией здания. В данном случае оцениваются возможности повышения теплотехнических свойств здания и затраты на проведение такого рода работы.

Значительные потери тепла сосредотачиваются в так называемых мостиках холода – это конструктивные участки здания, на которых из-за нарушения непрерывности теплоизоляционной оболочки происходит повышенная теплоотдача. Различают тепловые мостики, обусловленные геометрией зданий (выступы и углы зданий), а также возникающие при контакте материалов с разными теплотехническими свойствами. Поэтому при проектировании новых зданий и реконструкции существующих важной задачей является минимизация негативного влияния тепловых мостиков.

В конструкции здания можно выделить ряд элементов, в которых возникают тепловые мостики, например, перекрытия между отапливаемыми помещениями и подпольями (рисунок 1.1).

Архитектурные формы школьных зданий часто содержат большое количество тепловых мостиков. Например, при создании проездов под зданиями, происходят интенсивные потери тепла через перекрытия арок, вследствие их недостаточной изолированности и повышенной ветровой нагрузки (рисунок 1.2).

Устранение тепловых мостиков в конструктивных элементах зданий производится путем предотвращения контакта хорошо проводящих тепло материалов и поверхностей, имеющих значительную разницу в температурах при их обычной эксплуатации [6].

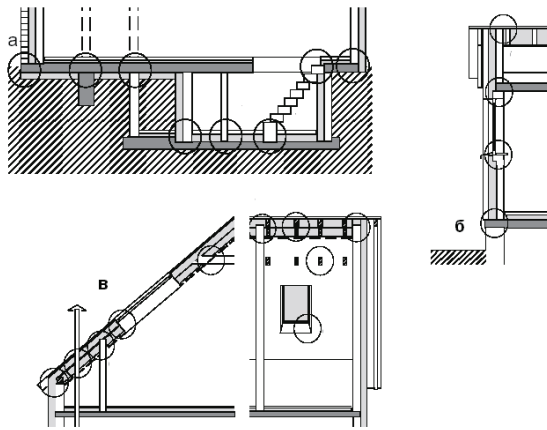


Рисунок 1.1 – Места образования тепловых мостиков в зданиях
 а – цокольный этаж и подвал; б – ограждающие конструкции; в – крыша и чердачное помещение



Рисунок 1.2 – Вид зданий школ с арочными проездами

1.3.2 Снижение потерь тепла через окна

Окна играют важную роль в оформлении интерьеров помещений и фасадов зданий. Качественное окно может быть надежной защитой от холода, шума, пыли. Окна также являются источником естественного освещения помещений и дают возможность сэкономить электроэнергию и повысить визуальный комфорт.

Проблемные окна могут привести к бесполезной трате огромного количества энергии на отопление. Традиционно окна зданий изготавливались из деревянных элементов с остеклением с одним или двумя оконными рамами. К одинарным оконным рамам в холодный период времени устанавливали дополнительную вторую оконную раму. Такая практика была обычной для односемейных жилых домов.

В общественных зданиях двойные рамы монтировались стационарно. Такие традиции в строительстве существовали довольно долго.

В настоящее время традиционная конструкция окон уже не удовлетворяет возросшему уровню теплотехнических требований. Как указывалось ранее, через окна может теряться до трети тепловой энергии потраченной на отопление.

Наиболее распространенным способом модернизации окон является замена традиционных конструкций оконных проемов на герметичные. Установка герметичного окна снижает потери за счет уменьшения притока холодного воздуха через окно и повышения сопротивления теплопереносу через площадь стеклопакета.

Стеклопакеты изготавливаются из блока, состоящего из двух и более оконных стекол, между которыми установлена дистанционная рамка. По всему периметру стеклопакета по краям монтируется специальный профиль, который склеивается с оконными стеклами через двухступенчатое уплотнение для пароизоляции и обеспечения герметичности конструкции. В пространство между стеклами не должен попадать воздух, поскольку это приводит к запотеванию стекол и потере прозрачности (рисунок 1.3).

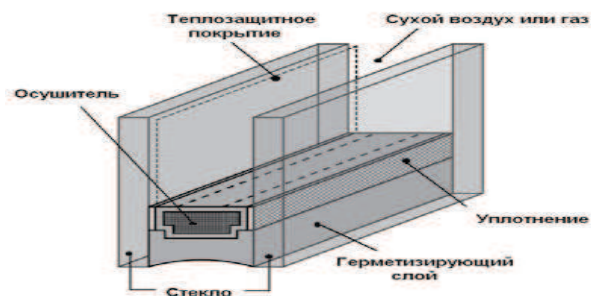


Рисунок 1.3 – Схема устройства стеклопакета

Для усиления теплоизолирующего эффекта пространство между стеклами может заполняться инертным газом – аргоном. Существуют конструкции стеклопакетов, у которых в пространстве между стеклами создается вакуум, а на внутреннюю сторону стекла наносится невидимый теплоотражающий слой серебра.

Сопротивление теплопередаче оконного стеклопакета составляет в среднем $0,3-0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и зависит от количества стекол и других особенностей конструкции стеклопакета. Согласно действующим в Республике Беларусь нормам проектирования это значение должно быть не менее $0,6 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}$ (2007 г.) и $1,0 \text{ м}^2\text{°C}/\text{Вт}$ (2009 г.).

Увеличение количества стекол в стеклопакете не только повышает сопротивление теплопередаче, но и существенно снижает прозрачность остекления, а также приводит к утяжелению оконного блока. В связи с этим

более предпочтительным представляется применение специальных высокоэффективных теплозащитных стекол, которые позволяют повысить коэффициент сопротивления теплопередаче до $0,7-1,2 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ и более.

Теплозащитное остекление (коэффициент сопротивления теплопередаче от $0,8 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) позволяет значительно уменьшить потери энергии: в отопительный сезон можно экономить на каждом квадратном метре оконной площади современного теплозащитного остекления по сравнению с:

- простым стеклом – $400 \text{ кВт ч}/\text{м}^2$;
- однокамерным стеклопакетом – $185 \text{ кВт ч}/\text{м}^2$;
- двухкамерным стеклопакетом – $165 \text{ кВт ч}/\text{м}^2$.

Применение герметичных оконных конструкций позволяет существенно снизить теплопотери за счет ликвидации поступления холодного воздуха извне помещения через неплотности в окнах и увеличения сопротивления теплопередаче через площади остекленных проемов. Однако применение герметичных оконных конструкций может привести к проблемам, связанным с недостаточной вентиляцией, повышенной влажностью в помещениях и появлением грибковых поражений [6].

1.3.3 Минимизация теплопотерь при организации вентиляции в зданиях с малой инфильтрацией

Для снижения потерь, связанных с диффузионным теплопереносом с воздухом, здания по возможности должны быть герметичными, т.е. неорганизованный воздухообмен через различные неплотности необходимо свести к минимуму.

Повышение герметичности конструкции здания обеспечивается за счет специальной отделки внутренних помещений – чердачных, подвальных, использования герметичных конструкций окон и дверей.

В течение суток в помещениях образуется значительное количество водяного пара, например:

- при дыхании человека выделяется до $50 \text{ г}/\text{ч}$ воды, с потом – еще $10-50 \text{ г}/\text{ч}$,
- при работе душа испаряется $2000 \text{ г}/\text{ч}$ воды,
- при работе газовой плиты $100-400 \text{ г}/\text{ч}$.

Для поддержания нормальной влажности в помещениях водяной пар должен удаляться вместе с воздухом, выводимым из помещений при вентиляции.

Согласно требованиям [8] оптимальная влажность в помещениях учебных классов составляет $30-45\%$, максимальная не должна превышать 60% .

В традиционных конструкциях окон свежий воздух поступал в помещения через неплотности в оконных переплетах, а из зданий воздух отводился через вытяжную систему вентиляции (т.е. без использования вытяжных вентиляторов). При монтаже герметичных оконных стеклопакетов воздухообмен нарушается, особенно если недостаточно часто проветривают помещения. При увеличении концентрации водяного пара в здании вода начинает конденсироваться на поверхностях с более низкими температурами и приводит к появлению грибковых поражений стен.

Для того чтобы избежать проблем с влажностью требуется увеличить кратность воздухообмена в помещении. Это достигается либо простейшими методами за счет более интенсивного проветривания путем открытия окон, либо модернизацией систем вентиляции, что позволяет автоматизировать процесс поддержания нужных параметров воздухообмена.

Организация повышенного воздухообмена в герметизированных зданиях, когда в помещение подается холодный воздух и отводится воздух нагретый до комнатной температуры, значительно снижает эффект сохранения тепла, полученный при герметизации. Самые совершенные системы вентиляции предусматривают так называемую рекуперацию тепла отводимого воздуха, принцип действия которой показан на рисунке 1.4.

Такая система включает двойные воздуховоды для поступающего и отводимого воздуха и центральный теплообменник для нагрева поступающего воздуха с использованием теплоты воздуха отводимого из помещения. Схема работы теплообменника показана на рисунке 1.5

Преимуществами вентиляции с рекуперацией тепла являются высокий уровень комфортности в части воздухообмена в помещениях и снижение тепловых потерь. Наиболее совершенные модели теплообменников в таких системах позволяют поддерживать перепад между температурой поступающего и отводимого воздуха на уровне 1–5°С.

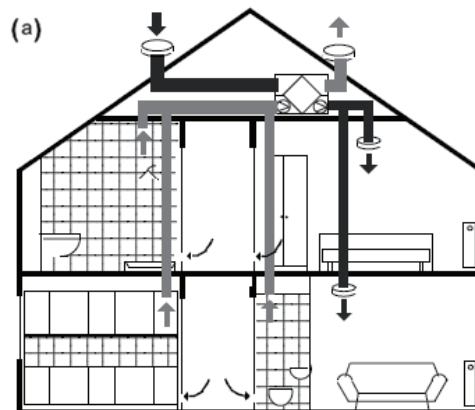


Рисунок 1.4 – Принцип работы системы вентиляции с рекуперацией тепла в центральном теплообменнике (a).

Данная система характеризуется высокой гибкостью регулирования кратности воздухообмена и утилизацией теплоты сбрасываемого воздуха, однако требует дополнительных затрат. В частности требуется электроэнергия для эксплуатации как минимум двух вентиляторов.

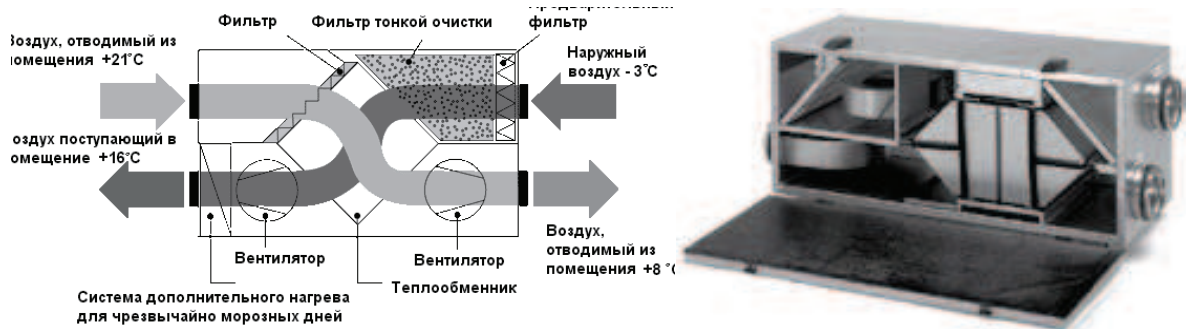


Рисунок 1.5 – Схема установки с теплоутилизатором

Вследствие большей длины воздуховодов и соответственно большего их сопротивления потоку воздуха расход электроэнергии может быть существенным.

Более простая система вентиляции – с децентрализованным притоком и централизованным отводом воздуха одним вытяжным вентилятором – приведена на рисунке 1.6.

Эта схема требует только один большой вентилятор. Индивидуальное регулирование кратности воздухообмена в отдельных помещениях ограничено, используется центральное регулирование по всему зданию. Поступление свежего воздуха в помещения производится через специальные приточные устройства, монтируемые в стенах, или через систему вентиляционных отверстий в конструкции окон. Эксплуатация таких систем более простая, однако и менее гибкая. При этом также требуется использование вытяжных вентиляторов.

Использование децентрализованных приточных устройств с нагревом поступающего в помещение воздуха за счет уходящего позволяет снизить потери теплоты, но ведет к удорожанию системы.

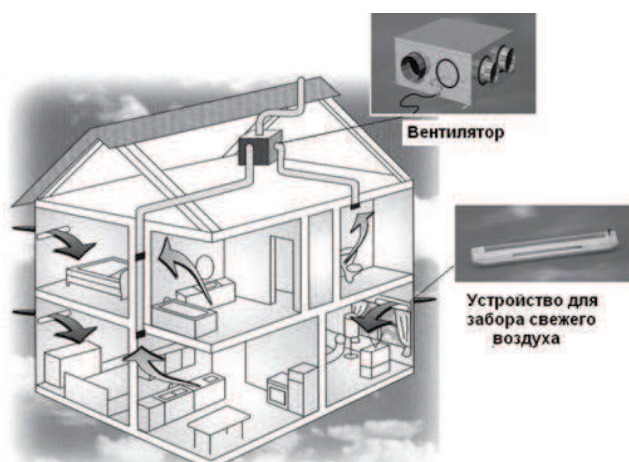


Рисунок 1.6 – Система вентиляции с децентрализованным притоком и централизованным отводом воздуха одним вытяжным вентилятором

Существуют и другие схемы организации вентиляции в зданиях с рекуперацией отводимого тепла или без нее. Выбор схемы в каждом конкретном случае должен основываться на технико-экономическом расчете, учитывающем требования к микроклимату, стоимости строительства и эксплуатаций таких систем, в том числе и затрат энергии [6].

1.3.4 Оптимизация систем отопления зданий

Ужесточение требований к энергоэффективности зданий диктует также определенные условия и для систем отопления зданий.

Хотя по действующим нормам [7] допускается применение печного отопления для одноэтажных школ с числом мест до 80 человек, такие здания сейчас довольно редкое явление. Более распространены системы водяного отопления различных типов. Следует отметить, что потенциал энергосбережения в системах теплоснабжения в Республике Беларусь по-прежнему высок и составляет 40-50%.

Наибольший интерес для нас представляет такое исполнение схемы отопления, которое позволяет регулировать поступление тепла к каждому отопительному прибору. Эти отопительные системы являются более гибкими и создают условия для энергосбережения.

В схеме однотрубной системы отопления с замыкающими участками попытка регулирования подачи теплоносителя (горячей воды) на любом из радиаторов неизбежно приведет к нарушению баланса в системе. Произойдет также уменьшение подачи тепла в другие нагревательные приборы, смонтированные на том же стояке, и увеличение подачи теплоты в

нагревательные приборы, присоединенные к другим стоякам. По этим причинам регулирование подачи теплоты самими потребителями невозможно.

Двухтрубная схема системы отопления, где регулирование подачи к отдельным нагревательным приборам не вызывает каких-либо затруднений с эксплуатацией всей системы в целом. В данном случае нагретая вода подается по отдельным стоякам, отводимая от радиаторов вода идет по другим трубопроводам. Такое исполнение называется двухтрубной системой.

Простейший способ регулирования в данной системе – это установка вентилей на отводах от подающего трубопровода к радиаторам. За счет изменения степени открытия запорной арматуры (вентилей) меняется расход теплоносителя через отопительный прибор.

Технически более совершенный способ регулирования предусматривает использование вместо механических вентилей термостатических регуляторов. Следующим шагом в направлении модернизации терморегуляторов является использование электронных конструкций. Электронные терморегуляторы обеспечивают реализацию более сложных программ регулирования, например, программирование изменения температуры в отапливаемом помещении по времени – установка пониженной температуры в период отсутствия людей в помещении либо в ночное время, повышение температуры в здании ко времени приезда людей и т.д.

На работу систем отопления также влияет устройство нагревательных приборов. Нагревательные приборы являются одним из основных элементов системы, осуществляющих передачу тепла от теплоносителя в помещения здания. К ним предъявляется целый ряд требований – теплотехнических, санитарно-гигиенических, эстетических. До настоящего времени наиболее распространенными нагревательными приборами являются чугунные радиаторы и ребристые трубы. Используются также бетонные греющие панели со встроенными нагревательными элементами, приборы с гладкой поверхностью, калориферы, ребристые трубы и конвекторы. Существуют также определенные требования к монтажу нагревательных приборов. Чем более свободный доступ воздуха к радиаторам обеспечивается, тем выше теплоотдача от прибора к обогреваемому воздуху. При устройстве различных декоративных элементов, перекрывающих поступление воздуха к нагревательным приборам, ухудшаются теплотехнические характеристики систем отопления. И чем больше степень перекрытия, тем больше потери.

Ограждение нагревательных приборов в системах отопления школ имеет довольно широкое распространение. Кроме того, существуют требования устройства ограждений стенок на радиаторах отопления для исключения прямого контакта учеников с горячими поверхностями [6].

1.3.5 Использование солнечной энергии в инженерных системах зданий

Средняя продолжительность времени с прямым солнечным излучением в Беларуси составляет 1800 часов в год, при поступлении солнечной радиации на горизонтальную поверхность 980-1180 кВт ч/м² год, что близко к аналогичным значениям у стран Западной Европы, расположенных между 50 и 60 северной широты, где использование солнечной энергии широко распространено.

Одно из направлений пассивного использования энергии солнца в зданиях – это поглощение излучения стенами и через остекленные участки. Одним из примеров такого здания в Минске является Международный образовательный центр ИВВ.

Простейшим накопителем энергии является емкость, заполненная водой. При этом открытые и неизолированные емкости имеют минимальную эффективность, применение термоизоляции увеличивает эффективность аккумулирования энергии. Для дополнительного повышения производительности солнечных установок они выполняются с циркуляцией теплоносителя.

Современные конструкции коллекторов для получения тепловой энергии из солнечной представляют собой плоскостные термоизолированные или вакуумные конструкции.

Плоскостные установки представляют собой конструкцию с прозрачной крышкой и плоским элементом-адсорбером в нижней части, поглощающим солнечное излучение. Отведение тепла от коллектора производится за счет циркуляции жидкости теплоносителя через систему трубок, установленных под элементом-адсорбером (рисунок 1.7).

Вакуумные солнечные установки состоят из набора цилиндрических стеклянных элементов, в полости которых создается вакуум. Внутри элемента установлен адсорбер, к которому по трубкам подводится и отводится теплоноситель. Один трубопровод подводит теплоноситель к нагревательным элементам, другой – отводит. За счет вакуума снижаются теплотери коллектора в сравнении с плоскостными нагревателями.

Плоскостной солнечный нагреватель



Рисунок 1.7 – Схема и вид плоскостной солнечного коллектора

Циркуляция теплоносителя в таких установках обеспечивается специальными циркуляционными насосами. Полученная тепловая энергия в солнечных нагревателях поступает по замкнутым контурам к водонагревателям. Учитывая то, что получение высокотемпературного нагрева воды с использованием только солнечной энергии невозможно, как правило, солнечные установки используются в комбинированных системах с газовыми или другими типами нагревателей как первая ступень подогрева.

Значительный интерес вызывает и преобразование солнечной энергии в электрическую для использования в зданиях. Это может быть реализовано двумя методами: термомеханическим и фотоэлектрическим.

Сдерживающим фактором широкого использования солнечных батарей для получения электрической энергии является более высокая стоимость получаемой энергии по сравнению с традиционными способами. Для некоторых стран такая разница составляет 400-600%. В ряде государств стимулирование использования солнечной энергии для производства электричества производится через установление повышенных тарифов при ее подаче в общественные электрические сети [6].

1.3.6 Использование тепловых насосов в инженерных системах зданий

Тепловые насосы часто рассматриваются как альтернативный вариант теплообеспечения зданий при разработке проектов по снижению энергопотребления, поэтому в данной работе приводится краткий обзор принципов функционирования таких систем теплоснабжения. Вместе с тем следует учесть, что целесообразность применения этих устройств обусловлена двумя факторами:

- соотношением цен на тепловую и электрическую энергию,

- условиями доступа к низкопотенциальному источнику теплоты.

Тепловые насосы относятся к трансформаторам тепла, работающим по принципу обратной тепловой машины, в которой механическая работа преобразуется в теплоту. Основными элементами такой машины являются теплоприемник с температурой T_0 , устройство преобразующее механическую работу в теплоту и теплопередающее устройство с температурой T_1 . Теплоприемник связан с источником тепла, а теплопередающее устройство с потребителем тепла. К рабочему веществу с помощью теплоприемника подводится теплота Q_0 , после чего рабочее вещество поступает в устройство, где принимает теплоту за счет преобразования механической работы L . Суммарное количество теплоты $Q_1 = Q_0 + L$ поступает в теплопередающее устройство и далее передается потребителю. Таким образом, согласно второму закону термодинамики, осуществляется перенос тепла от менее нагретого тела к более нагретому.

При этом теплота Q_1 переданная потребителю будет больше чем затраченная работа L . Отношение указанных величин (параметр φ) называется коэффициентом преобразования и является основной характеристикой теплового насоса.

Теплоотдающие и теплопринимающие среды могут быть газообразными, жидкими или твердыми, поэтому используются различные конструкции испарителей и конденсаторов. Источники тепла окружающей среды для тепловых насосов должны оцениваться по следующим критериям:

- достаточная мощность,
- максимальный уровень температуры,
- достаточная регенерация,
- низкие затраты на получение тепловой энергии [6].

1.3.7 Рационализация энергопотребления

В настоящее время и в Республике Беларусь существует ряд стандартов с требованиями по определению показателей энергетической эффективности.

В системах освещения зданий за последнее время разработан ряд новых типов ламп с низким уровнем потребления энергии. В промышленности на освещение расходуется порядка 10% расходуемой энергии, в сфере услуг такой показатель может достигать до 25%. Основными элементами системы освещения, определяющими ее эффективность, являются арматура и светильники. Светильники характеризуется потребляемой мощностью и освещенностью поверхности, которая измеряется в люксах (лк) и рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (1.14)$$

где Φ – световой поток излучаемый источником в единицу времени, лм (люмен);

S – площадь освещения, м².

Системы освещения характеризуются также равномерностью распределения светового потока на освещаемую поверхность, что определяет дискомфорт при использовании светильников. Качество освещения характеризуется показателем дискомфорта Δ , которое определяется по формуле:

$$\Delta = \frac{\bar{B} - B_{\min}}{\bar{B}} \quad (1.15)$$

где \bar{B} – средняя яркость,

B_{\min} – минимальная яркость.

Лампы накаливания до последнего времени были наиболее используемыми в быту, что связано с их невысокой стоимостью. Эффективность таких ламп довольно низкая – около 95% энергии трансформируется в тепло, и только 5% преобразуется в свет. У люминесцентных ламп это распределение с большей долей получаемой световой энергии 20-40% и 68-80% тепловой. Учитывая большой срок службы люминесцентных ламп, их использование вместо лам накаливания экономически выгодно.

С разработкой и массовым выпуском электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) появилась возможность создания более энергоэффективных светильников с компактными люминесцентными лампами, а также снижения потребления электроэнергии традиционными трубчатыми люминесцентными лампами на 20-30%.

Рациональный подход при модернизации систем освещения заключается в первоочередной замене ламп накаливания другими типами светильников в тех системах, которые работают продолжительное время. В местах кратковременной необходимости освещения использование ламп накаливания может оставаться оправданным в сочетании с датчиками движения или звука вследствие небольших отрезков времени их эксплуатации и соответственно незначительного расхода потребляемой энергии [6].

Выводы:

1) Проведённый анализ мероприятий по управлению энергопотреблением и определение энергоэкономических показателей нормирования ТЭР позволил выявить пути снижения потребления ТЭР.

2) Анализ путей снижения потребления ТЭР применительно к общественным зданиям показал возможность использования таких способов снижения расхода ТЭР как термореновация строительных конструкций зданий, модернизация систем электроснабжения, отопления и вентиляции, использование вторичных и альтернативных источников энергии.

3) Для зданий, построенных по нормам сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций действующим до внесения изменений в нормативные документы [5] наиболее актуальными будут мероприятия по увеличению сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций и увеличению их герметичности. В связи с увеличением герметичности ограждающих конструкций необходимо предусмотреть изменения в работе систем вентиляции. Применение тепловых насосов и использование солнечной энергии будет малоэффективно, по причине высокой стоимости оборудования.

4) На основе выполненных теоретических исследований по выявлению путей нерационального расходования тепловых и энергетических ресурсов в общественных зданиях, по разработке энергосберегающих мероприятий и принципов внедрения технологий энергосбережения появляется возможность использования выводов и рекомендаций общеобразовательным учреждениям ранней постройки для эффективного использования энергетических ресурсов и поддержания комфортных условий для учащихся.

ГЛАВА 2 ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЯ БАЗОВОЙ ШКОЛЫ №10 Г.НОВОПОЛОЦКА

2.1 Краткое описание объекта энергетического обследования

Государственное учреждение образования «Базовая школа №10 г.Новополоцка» является учреждением общего среднего образования и располагается в г. Новополоцке по адресу ул. Парковая, 28 (рисунок 2.1). Основные характеристики здания приведены в таблице 2.1.



Рисунок 2.1 – Здание БШ № 10 г.Новополоцка

Таблица 2.1 – Основные характеристики здания учреждения

Здание построено по проекту № 12-Н-76	
Исполнитель: Госстрой БССР Бел. НИИП градостроительства	
Год постройки	1985
Строительный объем здания, м ³	58293
Общая площадь здания, м ²	12448,2
Площадь основания (застройки), м ²	4427
Высота, м	9,6
Количество этажей, шт	3
Суммарная площадь вертикальных наружных ограждений, м ²	1498*
Площадь остекления, м ²	1087*
Материал стен	кирпич, ж/бетон
Конструкция окон	двойные, деревянные
Конструкция кровли	плоская рулонная

* - данное значение является приблизительным

В составе имущественного комплекса базовая школа № 10(БШ №10) имеется одно здание высотой в три этажа, размещение и конфигурация которого показана на рис. 2.2. Строительный объём здания 58293 м³; отапливаемая площадь около 12 000 м²; число учащихся до 900 чел.

К энергопотребляющим объектам учреждения относятся системы отопления и вентиляции, горячего водоснабжения, силовой привод машин и механизмов, электроосветительное оборудование, компьютерная техника, средства связи, устройства для обеспечения учебного процесса, технологическое оборудование общественного питания. В составе здания имеется расположенный внутри контура застройки 25-метровый плавательный бассейн.



Рисунок 2.2 – Конфигурация в плане здания БШ № 10 г.Новополоцка

2.2 Объёмы и структура ТЭР, поступающих на площадку учреждения

Для осуществления своей деятельности БШ №10 г.Новополоцка использует электрическую и тепловую энергию, объём и структура потребления которых представлены в таблице 2.2

Законом Республики Беларусь от 8 января 2015 г. № 239-З «Об энергосбережении» [1] установлено, что нормированию подлежат расходуемые на основные и вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды юридическими лицами топливо, тепловая и электрическая энергия, независимо от источников энергообеспечения.

Таблица 2.2 – Объёмы и структура потребления топливно-энергетических ресурсов по их видам в 2014-2016 годах по приходу ТЭР на площадку учреждения (по отчётным данным отдела образования)

Вид ТЭР	Расход ТЭР					
	2014 год		2015 год		2016 год	
	тыс. кВт·ч, Гкал	т у.т. *	тыс. кВт·ч, Гкал	т у.т. *	тыс. кВт·ч, Гкал	т у.т. *
1	2	3	4	5	6	7
1.Электроэнергия	170,2	44,25	212,1	55,15	197,4	51,33
2.Тепловая энергия	1278,5	217,35	1150,9	195,7	1234,7	209,9
ИТОГО:		261,6		250,85		261,23

*перевод единиц учёта энергии в условное топливо произведён с учётом затрат на генерацию и транспортировку по следующим коэффициентам: электроэнергия - 1000 кВтч = 0,26 т у.т.; тепловая энергия – 1 Гкал = 0,17 т у.т.

Разработка, установление и пересмотр норм расхода ТЭР осуществляется в соответствии с Положением о порядке разработки, установления и пересмотра норм расхода топливно-энергетических ресурсов, утверждённым Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18.03.2016 № 216 [9].

Для подведомственных зданий энергетической службой отдела образования, спорта и туризма Новополоцкого горисполкома применяется осреднённая удельная норма расхода теплоты на обогрев зданий в расчёте на тыс.м³·°С·сут без учёта фактических геометрических и теплофизических параметров объектов. Это не позволяет объективно сравнивать фактическое потребление отдельных отапливаемых зданий с нормативным.

Для устранения такого недостатка нормирования отделу образования необходимо разработать нормы расхода теплоты на обогрев отдельных зданий.

Учёт расхода ТЭР в БШ №10 организован в соответствии с требованиями ТНПА. Ведутся журналы расхода всех видов энергии, ежедневно снимаются и фиксируются показания счётчиков учёта потребления.

На основании этих данных в установленные сроки составляется статистическая отчётность по формам 4-нормы и 12-тэк.

Все счётчики и приборы учёта расхода включены в Государственный реестр средств измерений. Межповерочные интервалы соблюдаются.

В своей деятельности учреждение использует:

– электрическую энергию на уличное освещение, освещение лестничных клеток и рекреаций, на привод вентиляционного и насосного оборудования и средств автоматики инженерной инфраструктуры здания, на обеспечение

собственной деятельности (освещение учебных классов, аудиторий и залов, помещений для пребывания учителей и вспомогательного персонала, на компьютеры, связь, офисное оборудование, технологическое оборудование и инструмент;

– тепловую энергию для обеспечения отопления здания.

Основным поставщиком электрической и тепловой энергии для учреждения является ГП «Белэнерго».

На рисунке 2.3 показано поступление в 2016г. топливно-энергетических ресурсов на площадку учреждения по их видам. На рисунке 2.4 – представлена структура потребления первичных для учреждения ТЭР.



Рисунок 2.3 – Распределение топливно-энергетических ресурсов на площадке учреждения по их видам в 2016 году, т у.т. (всего 261,23 т у.т.)

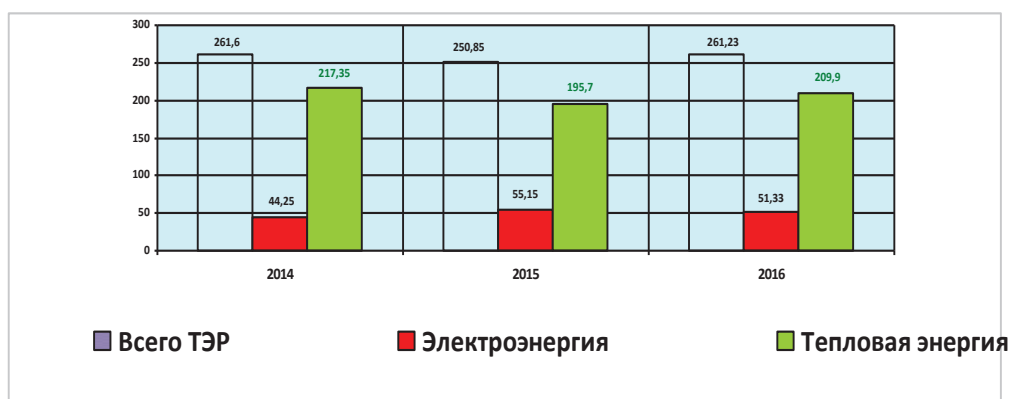


Рисунок 2.4 – Потребления первичных ТЭР предприятием в 2014 – 2016 годах, т у.т.

Проведённый анализ потребления ТЭР в обследуемом учреждении позволяет сделать следующие выводы:

1. Наибольший удельный вес в структуре потребления предприятием первичных для него ТЭР занимает тепловая энергия – 80,35%. Доля электрической энергии составляет 19,65%.

2. В последние 3 года, согласно отчётным данным, учреждением не обеспечивается сколь-нибудь заметное снижение потребления ТЭР как в целом,

так и по отдельным видам энергоносителей, что свидетельствует о недостаточности проводимой работы по энергосбережению.

3. Для выявления причин отсутствия снижения ТЭР и определения основных направлений проведения энергосберегающих мероприятий требуется проведения исследования параметров и условий работы энергопотребляющего оборудования, состояния ограждающих конструкций и режимов энергопотребления, что составляет предмет и цели настоящего энергетического обследования.

2.3 Теплоснабжение и теплопотребление учреждения

Учреждение получает, использует тепловую энергию для следующих целей:

- 1) отопление помещений;
- 2) подогрев наружного воздуха в приточных системах вентиляции учебных аудиторий и плавательного бассейна;
- 3) горячее водоснабжение для коммунально-бытовых целей (умывание, мытьё посуды в пункте общественного питания).
- 4) приготовление горячей воды для обеспечения работы плавательного бассейна.

Ограждающие конструкции здания учреждения имеют степень тепловой защищённости, определяемую годом постройки, а также фактическим состоянием стен, окон, покрытий, фундаментов. Конструкций, подвергнутых тепловой реабилитации в здании не имеется.

Вентиляция здания базовой школы № 10 является приточно-вытяжной с механическим побуждением. Подача приточного воздуха, в соответствии с проектом, осуществляется непосредственно в обслуживаемые помещения из централизованной приточной камеры, находящейся в подвале здания.

Наружный воздух через воздухозаборную шахту поступает с улицы, очищается, подогревается и/или смешивается в приточной камере с внутренним воздухом и подаётся по системе воздуховодов в обслуживаемые помещения. Системы вентиляции не оборудованы устройствами управления, поэтому воздух подаётся во все помещения одновременно в постоянном объёме. Удаления воздуха осуществляется из рекреаций и коридоров системами воздуховодов посредством крышных вентиляторов.

Данное проектное решение не отвечает современным представлениям об эффективной вентиляции по следующим основаниям:

1. Система вентиляции подаёт приточный воздух во все учебные помещения одновременно, вне зависимости от наличия в них людей.

2. Подача воздуха производится в классы с постоянным расходом, вне зависимости от потребности в нём, определяемой состоянием и качеством микроклимата помещений.

3. Удаление воздуха осуществляется без утилизации (возвращения и полезного использования) теплоты, содержащейся в удаляемом воздухе.

4. При эксплуатации систем вентиляции в реальных условиях механическая вентиляция чаще всего отключается по экономическим соображениям. Взамен неё осуществляется регулярное проветривание классов путём открывания окон. При этом теплота внутреннего воздуха выбрасывается наружу. В итоге, для восстановления необходимой температуры внутреннего воздуха требуется увеличивать затраты энергии на отопление.

5. Заполнения оконных проёмов, спроектированные по ранее действовавшим стандартам, предусматривают неплотности для пропуска инфильтрационного воздуха, что при отключённой приточной вентиляции ведёт к необоснованному росту тепловых потерь на нагрев этого воздуха.

6. Вентиляция плавательного бассейна не вполне обеспечивает санитарно-гигиенические нормативы, а теплота удаляемого воздуха выбрасывается из помещения наружу.

В результате, при работающей механической приточно-вытяжной вентиляции все эти обстоятельства вызывают рост затрат на эксплуатацию школьных зданий, а при неработающей приточной вентиляции имеет место ухудшение состава воздуха в помещениях, когда в них находятся школьники. В случае замены механической вентиляции обычным проветриванием (что бывает чаще всего), происходит существенное выхолаживание помещений. Для компенсации понижения температуры воздуха в этом случае приходится или увеличивать потребление теплоты на отопление, или мириться с недостаточной температурой воздуха в помещениях.

Вентиляция плавательного бассейна включает механический приток и естественную вытяжку. Приток осуществляется через воздуховоды равномерной раздачи, расположенные под скамейками вдоль стен бассейна. Всего в воздуховодах имеется 10 отверстий сечением 0,3x0,7 м для подачи воздуха в помещение бассейна. Наблюдается явный дисбаланс объёмов притока и вытяжки, что вызывает подпор воздуха в помещения бассейна (приток больше вытяжки).

Подача приточного воздуха осуществляется приточным вентилятором ВЦ4-70 № 12,5. В подвале установлены 2 вентилятора, один из которых – резервный – в нерабочем состоянии. Забор воздуха осуществляется вентилятором не по проектному варианту: из помещения подвала через дверцу обслуживания приёмной камеры. Приточная шахта наружного воздуха перекрыта.

Системы отопления зданий выполнены в соответствии со стандартами, существовавшими на момент проектирования и строительства школ. В качестве нагревательных приборов систем отопления применены стальные плинтусные конвекторы и трубные регистры, не оснащённые работающими устройствами регулирования теплового потока. Тепловые пункты школы оборудованы насосами и регуляторами для осуществления внутри здания количественно-качественного регулирования нагрузки отопления.

При работе системы отопления наблюдается неравномерный прогрев отдельных ветвей и приборов, что может свидетельствовать о гидравлической разрегулировке отдельных её частей.

Система отопления подвергается регулярной гидропневматической промывке. Одним из критериев результативности промывки является равномерность прогрева нагревательных приборов по всем ветвям, стоякам, помещениям. Однако работы по контролю её эффективности по итогам промывки не проводятся.

По итогам осмотра ограждающих конструкций, а также систем отопления и вентиляции учреждения сделан вывод о необходимости проведения их инструментального обследования.

2.4 Электроснабжение и электропотребление учреждения

Предприятие получает и использует электрическую энергию для следующих целей:

- 1) внутреннее освещение помещений;
- 2) силовой привод оборудования инженерной инфраструктуры здания;
- 3) технологическое оборудование для обеспечения учебного процесса, компьютерная техника;
- 4) технологическое оборудование объекта общественного питания (холодильники, витрины, мармиты, мясорубки, шкафы и т.п.)

Внутреннее освещение помещений выполнено светильниками с применением различных источников света: ламп накаливания, люминесцентных и газоразрядных ламп.

Осветительное оборудование является устаревшим, относится к низкому классу энергоэффективности.

2.5 Инструментальные обследования ГУО «Базовая школа №10 г.Новополоцка»

Задачи обследования – определение наличия теплотехнически дефектных участков наружных ограждающих конструкций здания школы методом тепловизионной диагностики, определение поверхностей с наибольшей термической неоднородностью, определение перепада между температурами воздуха помещений и внутренними поверхностями наружных ограждающих конструкций в условиях эксплуатации, определение сопротивления теплопередаче конструкций, определение состояния отопительных приборов, обследование систем вентиляции.

2.5.1 Тепловизионное обследование ограждающих конструкций и систем отопления

Обследования произведены 29 марта 2017 г. (тепловизионное и визуальное обследование типовых элементов ограждающих конструкций и системы отопления) и 11 апреля 2017 г. (визуальное обследование прочих элементов ограждающих конструкций и системы вентиляции).

Время проведения замеров:

начало 29.03.17 г. – 14:15, окончание – 17:00.

начало 11.04.17 г. – 14:00, окончание – 15:15.

Температура наружного воздуха 29.03.17 г. от $t_H=+3,8^{\circ}\text{C}$ до $t_H=+6,1^{\circ}\text{C}$, относительная влажность от 43,8% до 45,6%.

Замеры температуры и относительной влажности воздуха проводились прибором TESTO 605-N1 (погрешность измерений составляет соответственно $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ и $\pm 3\%$).

Тепловизионной съёмке подвергнуты блоки оконных рам, установленных в виде ленточного остекления северного и западного фасадов школы, и отопительные приборы, установленные в помещениях у наружных ограждающих конструкций соответствующих фасадов. Тепловизионная съёмка производилась тепловизионной камерой ThermoCAM E300 (погрешность измерений температуры составляет $\pm 2^{\circ}\text{C}$, температурная чувствительность $0,1^{\circ}\text{C}$). Градуировка показаний тепловизора произведена по контактному температурному зонду прибора ИПП-2М.

Измерения плотности тепловых потоков проведены в соответствии с требованиями [10] и [11] прибором ИПП-2М (основная погрешность измерений составляет $\pm[9+0.02(1999/X-1)]\%$, где X – действительное значение измеряемой величины теплового потока; дополнительная погрешность, вызванная отклонением температуры датчиков теплового потока на каждые

10°C (в диапазоне температур -30...0°C) ±0,83%), а обработка результатов измерений проведена в соответствии с методикой [12] и [5].

Тепловизионные измерения проводились при установившемся тепловом режиме помещений.

Результаты тепловизионного обследования состояния ограждающих конструкций и отопительных приборов, проведенного 29.03.2017г., представлены в Приложении 1 (Рисунок 1-41).

2.5.2 Анализ условий проведения тепловизионной съёмки, обработка результатов тепловизионного обследования и выводы

Согласно требованиям п. 3.1 [10] тепловизионные измерения производят при перепаде температур между наружным и внутренним воздухом, превосходящим минимально допустимый перепад:

$$\Delta t_{\min} = \theta R_o^n \frac{\alpha \cdot r}{1 - r} \quad (2.1)$$

где $\theta = 0,1^\circ\text{C}$ - предел температурной чувствительности тепловизора FLIR ThermaCAM E300;

$R_o^n = 0,8$ - проектное значение сопротивления теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$\alpha = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности при скорости ветра 3 м/с;

r - относительное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, принимаемое равным отношению значения требуемого нормативно-технической документации к проектному значению сопротивления теплопередаче, но не более 0,85.

Требуемое сопротивление теплопередаче определяется по формуле [5]:

$$R_{m.mp} = \frac{n t_g - t_n}{\alpha_g \Delta t_g} \quad (2.2)$$

где $t_g = 18^\circ\text{C}$ – расчетная температура внутреннего воздуха (по табл.4.1 [11]);

$t_n = -25^\circ\text{C}$ – расчетная зимняя температура наружного воздуха (по табл. 4.3 [11]);

$n=1$ – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (по табл. 5.3 [5]);

$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции (по табл. 5.4 [5]);

$\Delta t_{\text{в}} = 7^\circ\text{С}$ – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности наружной ограждающей конструкции, $^\circ\text{С}$ (по табл. 5.5 [5]).

Таким образом, требуемое сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции будет равно $0,7 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$, а относительное сопротивление теплопередаче $r = 0,85$, что даёт минимально допустимый температурный перепад между наружным и внутренним воздухом $\Delta t_{\text{min}} \geq 9,1^\circ\text{С}$. В условиях испытаний этот температурный перепад превзойдён.

Согласно п.5.7.1 [10] границей критически дефектного участка считается изотерма, которая в условиях эксплуатации здания равна температуре точки росы внутреннего воздуха.

Температура точки росы τ_p определена по формуле:

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_g)^2 \quad (2.3)$$

где e_g – упругость водяных паров в воздухе помещения, Па, определяемая по формуле:

$$e_g = \frac{\varphi}{100} \cdot \left[77 + 133,3 \cdot (1 + 0,14 \cdot t_g)^2 \right] \quad (2.4)$$

φ – относительная влажность воздуха, %; t_g – температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{С}$.

Измерение тепловых потоков во время испытаний необходимо производить, как правило, с внутренней стороны ограждающих конструкций зданий и сооружений (п.3.1 [12]).

Контроль условий теплообмена проводился измерителем плотности теплового потока ИПП-2М. Прибор измеряет тепловой поток и температуру в оперативном режиме в течение 1...3,5 мин (постоянная времени измерения), по истечении которых оператором контролируются показания прибора. Если последние не выходят за пределы относительной погрешности измерения прибора наступает установившийся (стационарный) режим теплообмена под соответствующим датчиком. После этого становится возможной фиксация теплового потока и температур для дальнейшего определения термического сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции.

Пределы допускаемых значений основной погрешности измерения плотности теплового потока прибором ИПП-2М отвечают зависимости:

$$\Delta(\Delta q) = \pm[9+0.02(1999/X-1)], \% \quad (2.5)$$

где X - действительное значение измеряемой величины теплового потока, Вт/м².

Указанная погрешность графически представлена на рисунке 2.5:

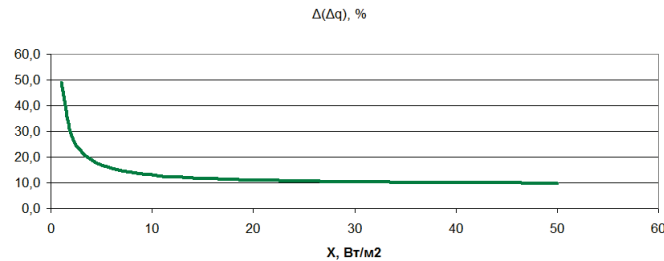


Рисунок 2.5 - Относительная погрешность измерения плотности теплового потока в нижнем диапазоне для прибора ИПП-2М

Среднее экспериментальное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_{o.э}$ вычисляют по результатам измерений по формуле:

$$R_{o.э} = \frac{\bar{t}_в - \bar{t}_н}{\bar{q}_{изм}} = \frac{\Delta \bar{t}_{изм}}{\bar{q}_{изм}} \quad (2.6)$$

где $\bar{t}_в, \bar{t}_н$ – средняя температура соответственно внутреннего и наружного воздуха вблизи ограждающей конструкции в периоды испытаний, °С;

$\bar{q}_{изм}$ – средняя плотность теплового потока, проходящего через ограждение, Вт/м².

Результаты вспомогательных замеров и обработки полученных данных представлены в Приложении 2.

2.5.3 Заключение о результатах обследования

Результаты тепловизионного обследования

1. Согласно полученному значению расчётного минимально допустимого температурного перепада между наружным и внутренним воздухом теплотехнические испытания ограждающих конструкций в сложившихся температурных условиях 29.03.2017г. проведены правомерно.

2. В соответствии с требованиями п.5.12 [11] температура внутренней поверхности ограждающей конструкции (столбец 6 приложение 2) должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетных температуре и относительной влажности внутреннего воздуха (столбец 2 приложение 2). Результаты испытаний и расчётов показывают, что данное требование для выполнения условия невыпадения конденсата на

поверхностях ограждений соблюдается для всех испытанных участков в условиях проведения измерений.

3. Величина фактического температурного перепада между температурой внутреннего воздуха (столбец 2 приложение 2) и температурой внутренней поверхности (столбец 6 приложение 2) превышает величину допустимого температурного перепада (7°C согласно табл. 5.5 [5]). При этом нормативный температурный режим (столбец 2 приложение 2) в помещениях №214 и №213 не выдерживается.

4. Погрешность измерения плотности теплового потока (столбец 7 приложение 2) не превышает 11% (рис.2.6).

5. Термическое сопротивление теплопередаче базового участка (столбец 8 приложение 2) ниже нормативного значения ($3,2 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт}$ согласно таблице 5.1 [5]).

6. Отопительные приборы прогреты не равномерно.

По результатам визуального обследования состояния наружных ограждающих конструкций может быть сделано следующее заключение:

1) деревянные оконные блоки по всей площади фасадов находятся в ветхом состоянии;

2) открытие фрагуг и створок чревато деформацией (прогибом и перекосом) угловых соединений деревянных профилей с высокой вероятностью разрушения и/или выпадения светопрозрачного заполнения (стекла), что представляет опасность для жизни и здоровья людей;

3) светопрозрачное заполнение местами отсутствует (заменено полиэтиленовой плёнкой и ДВ-плитами);

4) щели в притворах частично заделаны монтажной пеной;

5) по всей площади покрытия северной части здания наблюдаются протечки дождевой воды;

Результаты обследования систем вентиляции

Была обследована система вентиляции бассейна школы с целью изучения возможности её модернизации и снижения теплового потребления.

Вентиляция бассейна включает механический приток и естественную вытяжку. Приток осуществляется через воздухопроводы равномерной раздачи, расположенные под скамейками вдоль стен бассейна. Всего в воздухопроводах имеется 10 отверстий сечением $0,3 \times 0,7$ м для подачи воздуха в помещение бассейна. Наблюдается явный дисбаланс объёмов притока и вытяжки, что вызывает подпор воздуха в помещения бассейна (приток больше вытяжки).

Выполнено также обследование системы общеобменной вентиляции учебных помещений школы.

В этой системе подача приточного воздуха осуществляется непосредственно в обслуживаемые аудитории и помещения из

централизованной приточной камеры, находящегося в подвале здания. Для обеспечения притока через воздухозаборную шахту с улицы поступает наружный воздух, подогревается и/или смешивается с рециркулируемым внутренним и подаётся в приточные воздуховоды, проложенные внутри стен. Удаления воздуха осуществляется из рекреаций и коридоров системами воздуховодов посредством крышных вентиляторов.

Система вентиляции не оборудована устройствами управления, в силу чего воздух подаётся в помещения вне зависимости от потребности в нём лишь по факту включения приточного вентилятора.

Недостатки существующей схемы:

1. Система не позволяет подать приточный воздух в конкретные помещения, а подаёт его во все помещения одновременно, вне зависимости от наличия в них людей.

2. Подача воздуха производится в аудитории с постоянным расходом, вне зависимости от потребности в нём, определяемой концентрацией углекислого газа в воздухе помещений.

3. Удаление воздуха осуществляется без утилизации (возвращения и полезного использования) теплоты, содержащейся в удаляемом воздухе, объём которой может быть даже больше, чем теплота, затраченная на нагрев приточного воздуха.

4. Стремление к неверному пониманию экономии побуждает руководство школ отключать системы механической вентиляции и осуществлять ежечасное проветривание классов путём открывания окон. При этом теплота внутреннего воздуха выбрасывается наружу.

Общий вывод:

1. Ограждающие конструкции (оконные блоки и кровля) требуют модернизации.

2. Теплотехнические показатели ограждающих конструкций здания не соответствуют нормативным требованиям.

3. Отопительные приборы и ветви отопления не имеют регулирующих устройств и прогреваются не равномерно, что свидетельствует о разрегулировке системы.

4. Система вентиляции бассейна требует модернизации, так как устарела по техническим решениям и применяемому оборудованию, не обеспечивает требуемого воздухообмена для поддержания параметров микроклимата в помещении, а теплота удаляемого воздуха не утилизируется.

ГЛАВА 3 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

3.1 Общая оценка имеющегося потенциала энергосбережения и определение направлений реализации энергосберегающих мероприятий

Применительно к обследуемому учреждению потенциал энергосбережения включает следующие компоненты:

- 1) тепловые потери нагретыми поверхностями в окружающую среду;
- 2) потери в системах электропотребления при использовании оборудования с низким коэффициентом преобразования энергии, в том числе, потери, связанные с применением оборудования с высоким коэффициентом реактивной мощности, а также неэффективного осветительного оборудования;
- 3) потери теплоты, обусловленные сбросом удаляемого воздуха и канализационных стоков в окружающую среду
- 4) потери, обусловленные неэффективными методами регулирования энергетического потребления.

Таким образом, дальнейшая стратегия энергосбережения в условиях рассматриваемого учреждения должна разрабатываться по следующим главным направлениям:

- **сокращение расхода электрической энергии** за счёт внедрения электропотребляющего (в первую очередь – осветительного) оборудования имеющего более высокий класс энергоэффективности;
- **сокращение потребления тепловой энергии** в результате улучшения тепловой изоляции нагретых поверхностей оборудования и трубопроводов, повышения эффективности теплообмена в теплообменных устройствах, улучшения тепловой устойчивости зданий и сооружений;
- **внедрение установок утилизации** теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и водоотведения;
- **снижение объёмов потребления ТЭР** за счёт совершенствования методов управления энергопотреблением.

Общая количественная оценка имеющегося максимального потенциала энергосбережения, исходя из существующих наилучших достижимых современных технологий представлена на рисунке 3.1.

В основу оценки положены следующие допущения:

- полная замена всех имеющихся внутренних источников освещения на светодиодные (без учёта существующих ограничений на их использование в

учебных аудиториях, поскольку в будущем такие ограничения могут быть отменены);

- полная тепловая реабилитация всех ограждающих конструкций здания;
- модернизация систем вентиляции путём их децентрализации с устройством систем утилизации теплоты удаляемого воздуха;
- нагрев воды для потребностей бассейна с использованием гелиоколлекторов или теплонасосных установок.

Использование теплоты канализационных стоков, грунта, солнечных и ветровых электроисточников на данном этапе совершенствования систем энергоснабжения учреждения рассматривается косвенно.

Найденные слагаемые потенциала энергосбережения указывают основные направления разработки энергосберегающих мероприятий и могут быть реализованы лишь в экономически оправданных пределах. Целесообразная в конкретных финансовых условиях полнота использования найденного потенциала энергосбережения может оказаться ниже приведённых выше значений.



Рисунок 3.1 – Удельный вес слагаемых перспективного потенциала энергосбережения

При составлении технико-экономических обоснований энергосберегающих мероприятий и оценке сроков их окупаемости стоимость энергетических ресурсов принималась по величинам тарифов на электрическую и тепловую энергию для конечного потребителя, указанных в действующих декларациях энергоснабжающих организаций на дату проведения исследования.

3.2 Мероприятия по экономии электрической энергии

Замена неэффективных электрических источников света в системах внутреннего освещения собственных объектов предприятия.

В помещениях для внутреннего освещения имеются светильники с электролампами накаливания ЛОН-40 и ЛОН- 60, люминесцентными типа ЛБ-40 и газоразрядными типа ДРЛ. В помещениях неучебного назначения имеются следующие лампы: ЛБ-40 –866 шт., ЛОН-40-60 – 131 шт., ДРЛ-400 – 43 шт. и ДРЛ-250 – 20 шт. Все они могут быть заменены на светодиодные.

Устройство светодиодных источников света в помещениях учебного назначения пока не допускается и должно производиться по мере внесения соответствующих изменений и дополнений в действующие ТНПА, регламентирующие вопросы освещения в учебных заведениях.

Расчёт мероприятий приведён в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Расчёт экономии и сроков окупаемости капитальных вложений при замене существующих ламп на энергоэффективные (в расчёте на все лампы)

Наименование	кол-во, шт.	Единичная мощность светильника, $P_{уст}$ Вт	Время работы, ч	Расход электроэнергии, условного топлива, издержки, экономия*		
				тыс.кВт·ч	тут	руб.
1	2	3	4	5	6	7
Выборочная замена ламп накаливания на светодиодные						
Накаливания (имеющиеся)	131	60	750	5,895	1,533	1472,5
Лампа LED-A60-економ 11 Вт	131	11	750	1,081	0,281	270,0
Экономия				4,814	1,252	1202,55
Стоимость	за шт.					5,0
Капиталовложения	131					655,0
Срок окупаемости, лет						0,54
Замена ламп внутреннего освещения типа ЛБ 40 на светодиодные						
типа ЛБ-40 (имеющиеся) – мощность указана с ПРА	866	40	750	25,98	6,75	6489,5
32-1200-01-G13 230В~10 Вт	866	11	750	7,14	1,86	1784,6
Экономия				18,84	4,90	4704,9
Стоимость	за ед.					7
Капиталовложения, всего	10					6062
Срок окупаемости						1,3

*экономия денежных средств рассчитана по величине тарифа на электроэнергию для конечного пользователя

Таблица 3.2 – Расчёт экономии и сроков окупаемости капитальных вложений при замене существующих газоразрядных ламп освещения спортивных помещений на светодиодные источники света (в расчёте на все лампы)

Наименование	кол-во, шт.	Единичная мощность светильника, $P_{уст}$ Вт	Время работы, ч	Расход электроэнергии, условного топлива, издержки, экономия*		
				тыс.кВт·ч	тут	руб.
1	2	3	4	5	6	7
Замена ламп ДРЛ 250 наружного освещения на светодиодные						
ДРЛ 250 (имеющиеся) – потребляемая мощность	20	288	750	4,320	1,123	1079,1
ДРЛ 400 (имеющиеся)	43	460	750	14,835	3,857	3705,6
Итого по существующему варианту	63	405	750	19,136	4,975	4780,0
Светодиодная лампа E27-E40 КВАЗАР-60 (или 80) предлагаемый аналог)	63	75	750	3,544	0,921	885,2
Экономия				15,593	4,054	3894,8
Стоимость	за ед.					200
Капиталовложения, всего						12600
Срок окупаемости, лет						3,2

*экономия денежных средств рассчитана по величине тарифа на электроэнергию для конечного пользователя

3.3 Мероприятия по экономии тепловой энергии

3.3.1 Тепловая модернизация (реабилитация) ограждающих конструкций здания

Ограждающие конструкции здания спроектированы с обеспечением нормативных сопротивлений теплопередаче, которые сейчас не соответствуют установленным значениям для ранее возведённых ремонтируемых, реставрируемых и модернизируемых зданий.

Современные требованиями к ограждающим конструкциям изложены в Изменении № 1 [11].

Для повышения фактических сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций до уровня нормативных значений необходимо произвести их тепловую реабилитацию путём модернизации.

Наружное утепление стен. Для повышения термического сопротивления теплопередаче стен в качестве аналога может быть предложена теплоизоляция наружной поверхности стен с защитой и отделкой тонкослойной штукатуркой (система "Термошуба" СКТБ "Сармат"[13]).

Конструкция утеплённых стен для жилых и общественных зданий, а также бытовых и административных зданий производственных предприятий:

- существующая конструкция наружных стен;
- полимер-минеральный клей САРМАЛЕП;
- плита минераловатная ROCKWOOL (FASROCK-100 $\delta=0,1\text{м}$; $\lambda=0,0442\text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$);
- сетка армирующая ССШ-160;
- фасадная краска (в два слоя).

Толщину утеплителя FASROCK-100 определим преобразуя следующую формулу[5]:

$$R_m = \frac{1}{\alpha_e} + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (3.1)$$

где α_n - коэффициент теплоотдачи, ($\text{м}^2\cdot\text{°C}$)/Вт, наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, принятый по табл. 5.7 [5];

α_e - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{°C}}$, принимаемый по табл. 5.4 [5];

R_i - термическое сопротивление материала слоя, ($\text{м}^2\cdot\text{°C}$)/Вт, которое определяем по формуле ($R_{\text{существующей стены}} = 1\text{м}^2\cdot\text{°C} / \text{Вт}$):

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (3.2)$$

где δ_i - толщина i-го слоя материала, м;

λ_i - коэффициент теплопроводности i-го слоя материала, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}}$;

Толщину слоя изоляции определим из выражения, в котором сопротивление теплопередачи утеплённой стены приравнено к нормативному и подставлено значение сопротивления теплопередачи существующей стены.

$$R_m = \frac{1}{8,7} + 1 + \frac{\delta_x}{0,0442} + \frac{1}{23} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт},$$

$$\delta_x = \left(3,2 - \frac{1}{8,7} - 1 - \frac{1}{23}\right) \cdot 0,0442 = 0,09\text{м}$$

Принимаем толщину изоляции 0,1м.

$$R_c = \frac{1}{8,7} + 1 + \frac{0,1_x}{0,0442} + \frac{1}{23} \geq 3,2 \quad \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

Заполнение световых проёмов. Существующие заполнения необходимо заменить на окна из ПВХ-профиля со стеклопакетами, имеющими следующие характеристики:

– для жилых и общественных зданий, а также бытовых и административных зданий производственных предприятий при ремонте и реставрации: 4М1-12-И4-12-И4 с приведённым сопротивлением теплопередаче 1,03 м²·°C/Вт.

При оценке энергосберегающего эффекта от замены окон обычно принято учитывать эффект от снижения воздухопроницаемости в результате установки герметичных окон из ПВХ профиля.

Расход теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха может быть определено по формуле, Гкал/год:

$$\Delta Q_{инф.} = c_{возд.} \cdot g_{ок.} \cdot (t_b - t_n) \cdot S_{ок.} \cdot A \cdot z \cdot 10^{-6}, \quad (3.3)$$

где $c_{возд.}$ – теплоёмкость воздуха, равная 0,239 ккал/(кг·°C);

$g_{н.со}$ – удельная нормативная воздухопроницаемость окна, кг/(ч·м²) (для оконных конструкций в домах постройки до 1993 года можно принимать равной 10 для окна энергосберегающей конструкции – 6);

$S_{ок.}$ – площадь окон, м²;

A – для отдельных переплётов равно 0,8, для совмещённых 1;

z – продолжительность отопительного периода, равная для города Новополюцка 4872 ч.

t_b – расчетная температура внутреннего воздуха (18°С);

t_n – расчетная зимняя температура наружного воздуха (–25°С);

Утепление кровли. Сопротивление теплопередаче существующей конструкция кровли и чердаков здания не превышает 2...3 м²·°C/Вт. Для его приведения к нормативным требованиям необходимо уложить дополнительный слой тепловой изоляции. В качестве аналога можно предложить плиты пенополистирольные типа ППТ-25 [14] со следующими характеристиками:

Наименование показателя	Значение
Плотность, кг/м ³ , не менее	25
Теплопроводность при 25 °С, Вт/(м*К), не более	0,038
Теплопроводность в условиях эксплуатации А Вт/(м*К), не более	0,043

Требуемую толщину изоляции определим по формулам 3.1, 3.2:

$$R_m = \frac{1}{8,7} + 3 + \frac{\delta_x}{0,043} + \frac{1}{23} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}, \quad \delta_x = \left(6 - \frac{1}{8,7} - 3 - \frac{1}{23}\right) \cdot 0,043 = 0,12 \text{ м}$$

Требуемое термическое сопротивление обеспечивается укладкой слоя утеплителя толщиной не менее 0,14 м:

$$R_c = \frac{1}{8,7} + 3 + \frac{0,14}{0,043} + \frac{1}{23} \geq 6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Расчёт экономии ТЭР от проведения тепловой реабилитации выполнен для условных 1000 м² ограждающих конструкций зданий. Его результаты представлены в таблицах 3.3.

Таблица 3.3 – Годовая экономия ТЭР от проведения модернизации (тепловой реабилитации) ограждающих конструкций жилых и общественных зданий (на 1000 м²)

Ограждающая конструкция	Площадь, м ²	Сопротивление теплопередаче, м ² ·°C/Вт		Расход теплоты*, Гкал/год		Годовая экономия тепла*, Гкал
		до термомодернизации	после термомодернизации	До	После	
Стены	1000	1,2	3,2	73,60	27,60	46,00
Кровля	1000	3	6	29,44	14,72	14,72
Окна**	1000	0,42	1,0	406,85	235,74	171,11

*Расчёт выполнен для средней температуры отопительного периода «минус 1,1 °C» при его продолжительности 203 суток [4]. Температура внутреннего воздуха принята 20°C.

** с учётом воздухопроницаемости.

Содержащиеся в таблицах 3.3 величины экономии тепловой энергии получены при сопоставлении тепловых потерь фрагментами ограждающих конструкций зданий «до» и «после» проведения термомодернизации в условиях, когда средняя температура отопительного периода соответствует нормативному значению, а в помещениях постоянно выдерживается требуемый температурный режим. Поэтому при интерпретации полученных данных надо оперировать не абсолютными цифрами, а относительными: процентом снижения теплового потребления от достигнутого. В климатических условиях г. Новополюцка при полной тепловой реабилитации стен, кровель и чердачных перекрытий потребление тепловой энергии должно снизиться по сравнению со

сложившейся величиной в ≈ 2 раза, в зависимости от начального состояния заполнения оконных проёмов.

Расчёты капиталовложений и их сроков окупаемости приведены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Расчёт капитальных вложений для проведения модернизации ограждающих конструкций здания на 1000 м^2

Вид ограждения	Стоимость основных материалов*, См, руб.	Стоимость СМР и проектных работ, $0,55 \cdot \text{См}$, руб.	Капитальные вложения, К, руб.
Стены	30000	16500	46500
Кровля	14000	7700	21700
Окна	150000	82500	232500

*стоимость стенового утеплителя принята 30 руб. м^2 , утеплителя для кровли 100 руб./м^3 , пластиковых окон – 150 руб./м^2 .

Таблица 3.5– Расчёт сроков окупаемости мероприятий по модернизации (тепловой реабилитации) в расчёте на всю площадь ограждающих конструкций здания

Вид мероприятия	В расчёте на объём работ, м^2	Капитальные вложения, К, руб.	Экономия ТЭР*, Гкал/год	Стоимость сэкономленных ТЭР, руб.	Простой срок окупаемости*, лет
Термореновация стен	1 498	69 657	68,91	6 044,19	11,5
Термореновация кровли	4 427	96 065,9	65,17	5 715,91	16,8
Термореновация окон	1 087	252 728	186,00	16 313,67	15,5

*для расчёта сроков окупаемости приняты расчётные показатели теплового потребления и экономии ТЭР.

Общая экономия ТЭР за счёт тепловой модернизации ограждающих конструкций составит по зданию в целом 320 Гкал или $54,4 \text{ т у.т.}$

3.3.2 Модернизация вентиляции плавательного бассейна с применением вентиляционной установки с теплоутилизатором

Принципиальная схема предлагаемой системы вентиляции плавательного бассейна представлена на рис. 2.12. При обосновании данного мероприятия использованы рекомендации АВОК [15] и Методические указания [17].

Кратность вентиляции по притоку наружного воздуха должна составлять не менее 2 ч^{-1} или $10 750 \text{ м}^3/\text{ч}$, что, по укрупнённым оценкам, обеспечить

влажностное содержание в объёме помещения плавательного бассейна не выше 14 г/кг. В дальнейших расчётах, таким образом, примем воздухообмен по наружному воздуху в объёме, соответствующем полученному при проведении обследования и равном 11 200 м³/ч.

Температуру воды примем как для детского бассейна равной 29°C, а температуру воздуха в помещении бассейна – не менее 30°C. Годовую продолжительность работы систем вентиляции в режиме потребления тепловой энергии и среднюю температуру наружного воздуха определим как для отопительного периода. Согласно [5] эти параметры составляют соответственно 203 суток и «минус 1,1 °C».

Общее количество сэкономленной тепловой энергии, полезно возвращаемое теплоутилизатором (без применения теплового насоса) в течение календарного года, равно, Гкал:

$$\Delta Q = 0,24 \cdot \varepsilon_{tot} \cdot (t_{cp.l} - t_{cp.ext}) \cdot c \cdot L_{cp.ext} \cdot 10^{-6} \cdot z \quad (3.4)$$

где ε_{tot} – тепловая эффективность теплоутилизатора по полной теплоте;

$t_{cp.l}$ – средняя за время работы теплоутилизатора температура удаляемого воздуха, °C;

$t_{cp.ext}$ – средняя за время работы теплоутилизатора температура наружного воздуха, °C; при её вычислении необходимо использовать данные метеонаблюдений или сведения, содержащиеся в таблице 3.19 – Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций, [22];

c – теплоёмкость воздуха, кДж/(м³·°C);

$L_{cp.ext}$ – средний за время работы теплоутилизатора объёмный расход наружного приточного воздуха, м³/ч;

z – число часов работы системы вентиляции с использованием теплоутилизатора в течение года.

При использовании теплоутилизатора возрастают потери давления в системе вентиляции по приточному и удаляемому воздуху. Дополнительные затраты электрической энергии, вызванные увеличением аэродинамического сопротивления, равны, тыс. кВт·ч:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P \cdot \frac{L_{cp.in}}{3600 \cdot \eta_{e.y.}} \cdot 10^{-6} \cdot z \quad (3.5)$$

где ΔP – суммарные потери давления в теплоутилизаторе по приточному и удаляемому воздуху, Па;

$L_{cp.in}$ – средний за время работы системы расход приточного воздуха, м³/ч;
 $\eta_{в.у.}$ – к.п.д. вентиляционной установки с приводом.

Экономия топлива в результате внедрения энергосберегающего мероприятия составит, т у.т.:

$$\Delta B_m = \Delta Q \cdot b_{mэ} - \Delta Э \cdot b_{ээ} \cdot (1 + k_{пот}^{ээ} / 100) \quad (3.6)$$

где $b_{mэ}$ – удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике, т у.т./Гкал;

$b_{ээ}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии; принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчёта, т у.т./тыс.кВт·ч;

$k_{пот}^{ээ}$ – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях, %.

После подстановки исходных данных получим:

$$\Delta Q = 0,24 \cdot 0,4 \cdot (30 + 1,1) \cdot 1 \cdot 11200 \cdot 10^{-6} \cdot 4872 = 162,8 \text{ Гкал/год или } 27,67 \text{ т у.т.};$$

$$\Delta Э = 300 \cdot 11200 \cdot 4872 \cdot 10^{-6} / 3600 / 0,65 \cdot (1 + 5/100) = 7,345 \text{ тыс. кВт·ч/год или } 1,91 \text{ т у.т.}$$

В итоге, $\Delta B_m = 25,7$ т у.т., что обратным счётом даёт скорректированную величину экономии тепловой энергии (в эквиваленте) ≈ 150 Гкал/год, которую и будем учитывать при расчёте сроков окупаемости мероприятия. В случае дополнительного использования в схеме вентиляции теплонасосной установки эффект может оказаться большим на $\approx 35\%$ и составить около 200 Гкал/год.

Капитальные вложения, связанные с внедрением мероприятия определяются по укрупнённым показателям, исходя из следующих предпосылок:

– стоимость проектных работ принимается равной 5...10 % от стоимости строительно-монтажных работ (СМР), $C_{смр}$, руб.;

– стоимость СМР – 25...30 % от стоимости оборудования и материалов, руб.;

– стоимость пуско-наладочных работ – 3...5 % от стоимости оборудования и материалов, руб.

Капиталовложения в мероприятие равны, руб.:

$$K = C_{обор} + (0,25 \dots 0,3) \cdot (1 + 0,1) \cdot C_{обор} + (0,03 \dots 0,05) \cdot C_{обор} \quad (3.7)$$

В состав затрат на оборудование и материалы входят расходы на приобретение теплоутилизатора, дополнительных воздухопроводов и их элементов, замену вентиляторов (если потребуется) и других материалов и оборудования, необходимых для реализации мероприятия.

Стоимость сэкономленной тепловой энергии в результате внедрения мероприятия составит, руб.:

$$\Delta C_{м.э.} = \tau \cdot \Delta Q \cdot k / k_p, \quad (3.8)$$

где τ – расчётная величина тарифа на тепловую энергию по декларации производителя, равная 92,5050 руб./Гкал при расчётном курсе доллара США;

k_p – расчётный курс доллара США на момент формирования декларации, руб.

k – курс доллара США на момент составления расчёта, руб.

Простой срок окупаемости мероприятия, лет:

$$C_{рок} = K / \Delta C_{м.э.}, \quad (3.9)$$

где K – капиталовложения в мероприятие, руб.

В качестве аналога, имеющего полный комплекс энергосберегающих опций и автоматики, может быть рассмотрена установка для бассейнов типа PoolStar типоразмера PS-13 производительностью по воздуху 13000 м³/ч. Это наиболее дорогое предложение. Стоимость поставки подобных аналогов составляет от 75 до 100 тыс. бел. руб. Варианты без теплового насоса и с меньшим комплексом автоматического управления будут дешевле на ≈50...60%, но их эффективность окажется ниже как минимум на 30...35%.

Рассчитаем срок окупаемости для выбранного аналога при следующих исходных данных:

- экономия тепловой энергии – 205 Гкал/год;
- тариф – 92,5050 руб./Гкал;
- расчётный курс доллара – 2,0461 руб.;
- текущий курс доллара – 1,94 руб.;
- стоимость оборудования – 90000 бел. руб.

Тогда капиталовложения в мероприятие составят по укрупнённым показателям:

$$K = 90000 [1 + (0,25 \dots 0,3) \cdot (1 + 0,1) + (0,03 \dots 0,05)] = 120300 \text{ руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии:

$$\Delta C_{т.э.} = 92,5050 \cdot 205 \cdot 1,94 / 2,0461 = 17980 \text{ руб.}$$

Простой срок окупаемости: $C_{рок} = 120300 / 17980 = 6,7 \text{ лет.}$

При исключении из схемы вентиляции теплонасосной установки и упрощении системы автоматического управления расчёт будет таким:

- экономия тепловой энергии – 150 Гкал/год;
- тариф – 92,5050 руб./Гкал;
- расчётный курс доллара – 2,0461 руб.;
- текущий курс доллара – 1,94 руб.;
- стоимость оборудования – 41000 бел. руб.

Тогда капиталовложения в мероприятие составят по укрупнённым показателям:

$$K = 41000 [1 + (0,25 \dots 0,3) \cdot (1 + 0,1) + (0,03 \dots 0,05)] = 54800 \text{ руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии:

$$\Delta C_{т.э.} = 92,5050 \cdot 150 \cdot 1,94 / 2,0461 = 13156 \text{ руб.}$$

Простой срок окупаемости: $C_{рок} = 54800 / 13156 = 4,2 \text{ лет.}$

Таким образом, при реализации данного мероприятия капитальные затраты, в зависимости от выбранного комплекта оборудования, составят от 54800 до 120300 бел. руб., экономия энергетических ресурсов – от 150 до 205 Гкал/год (от 25 до 35 т у.т.), а простой срок окупаемости капитальных вложений – от 4,2 до 6,7 лет.

3.3.3 Модернизация общеобменной вентиляции учебных классов

В условиях реальной эксплуатации существующих школьных зданий обеспечить необходимые воздухообмены и требуемое качество внутреннего воздуха невозможно, поскольку централизованные системы вентиляции являются энергозатратными и не эксплуатируются должным образом.

В результате, при работающей вентиляции имеет место рост затрат на эксплуатацию школьных зданий, а при неработающей – ухудшение состава воздуха в помещениях во время занятий и их выхолаживание за счёт инфильтрации и проветривания естественным образом в перерывах. В

последнем случае для компенсации понижения температуры воздуха приходится или увеличивать потребление теплоты на отопление, или мириться с низкой температурой воздуха в помещениях в первое время после проветривания.

Этих недостатков можно избежать, если произвести децентрализацию систем вентиляции помещений школы путём внедрения специальных местных приточно-вытяжных теплоутилизационных установок.

В качестве примера можно привести рекуператоры «Прана» [16]. Принцип работы рекуператора «Прана» основан на принудительном нагнетании с улицы холодного свежего воздуха и удалении из помещения тёплого отработанного воздуха механическим методом с использованием тепла удаляемого из помещения воздуха для нагрева приточного воздуха.

Расчётный коэффициент утилизации тепла в данном вентиляционном оборудовании достигает, по данным производителя, 73%.

Монтаж рекуператора производится в стене здания, рисунок 3.2.

Для обеспечения вентиляции школьного класса достаточно одной установки производительностью по приточному воздуху 400...500 м³/ч. Цена предложений на агрегаты такой мощности, в зависимости от уровня технического исполнения и дополнительных опций от 800 до 4000 бел. руб.

Внедрению этих устройств в обязательном порядке должна предшествовать установка герметичных пластиковых окон.

Общее количество наружного воздуха, нагреваемого в теплоутилизаторах определим исходя от числа классов и их наполняемости, времени занятий в сутки, числа рабочих суток и нормы воздухообмена на одного учащегося.

Примем указанные величины следующими:

число классов – 30;

наполняемость классов – 30 чел.;

время занятий в день – 6 часов на один класс;

число учебных дней в году припадающих на отопительный период – 130;

норма воздухообмена на одного ученика – 16 м³/ч.

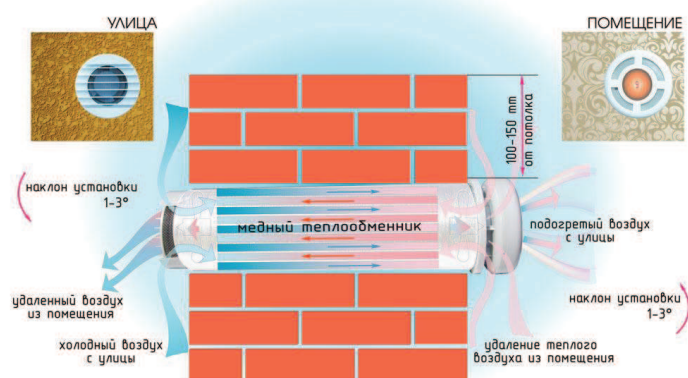


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема монтажа местной приточно-вытяжной установки с теплоутилизатором в стене здания

При этих исходных данных общий объём потребного в течение отопительного периода наружного воздуха, нагреваемого в теплоутилизаторах, составит:

$$L_{cp.ext} = 30 \times 30 \times 6 \times 140 \times 16 = 12096000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Температуру удаляемого воздуха примем равной 22°C , среднюю температуру наружного воздуха – «минус $1,1^\circ\text{C}$ ».

В качестве аналога примем приточно-вытяжную систему вентиляции с рекуперацией тепла «PRANA-250», имеющую заявленную эффективность теплоутилизатора $\varepsilon_{tot} = 0,51 \dots 0,74$ и потребляемую электрическую мощность $15 \dots 90$ Вт. Цена изделия – 1700 бел. руб./шт. Назначенный срок эксплуатации – 10 лет.

В этом случае общее количество сэкономленной тепловой энергии, полезно возвращаемое теплоутилизаторами в течение календарного года, равно, Гкал:

$$\Delta Q = 0,24 \cdot 0,65 \cdot (22 - -1,1) \cdot 1 \cdot 12096000 \cdot 10^{-6} = 43,46 \text{ Гкал/год} = 7,4 \text{ т у.т.}$$

Дополнительные предельные затраты электрической энергии на работу установок определяются их максимальной установленной мощностью, составляющей 90 Вт:

$$90 \text{ Вт} \cdot 30 \text{ шт.} \cdot 6 \text{ ч.} \cdot 140 \text{ сут.} \cdot 10^{-6} = 2,268 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч/год} = 0,59 \text{ т у.т.}$$

В итоге, $\Delta B_m = 6,81$ т у.т., что обратным счётом даёт скорректированную величину экономии тепловой энергии (в эквиваленте) $\approx 40,1$ Гкал/год, которую и будем учитывать при расчёте сроков окупаемости мероприятия.

Капитальные вложения в мероприятие с учётом всех затрат по укрупнённым показателям составит:

$$K \approx 1,34 \cdot 1700 \cdot 30 = 68430 \text{ бел. руб.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии:

$$\Delta C_{m.э.} = 92,5050 \cdot 40,1 \cdot 1,94 / 2,0461 = 3517 \text{ руб.}$$

Простой срок окупаемости: $C_{рок} = 68430 / 3517 = 19 \text{ лет.}$

Полученный срок окупаемости существенно превышает назначенный срок службы оборудования. По этому показателю рассматриваемый вариант нельзя

считать приемлемым с технико-экономических позиций. Однако, необходимо принять во внимание, что данное мероприятие в большей мере имеет социально-гигиеническое, а не энергоэкономическое значение и должно оцениваться с учётом социального эффекта.

3.3.4 Модернизация систем отопления

Системы отопления выполнены с использованием устаревших типов отопительных приборов. Регулирование тепловой нагрузки автоматизировано не в полной мере и реализовано по схеме, не обеспечивающей эффективное использование тепловой энергии в ночное время, выходные дни и в период осенне-весенних «перетопов».

Экономия тепловой энергии за счёт ликвидации весенне-осенних перетопов зданий может достигать 12%, от расхода теплоты на отопление в диапазоне температур наружного воздуха от $t_{ни}$ (в точке излома температурного графика) до $t_n=8^{\circ}\text{C}$ (окончания отопительного периода). Удельный вес теплового потребления на отопительные цели в указанном диапазоне температур наружного воздуха в Витебской области не превышает 30% от годового потребления. Таким образом, экономия тепловой энергии за счёт ликвидации весенне-осенних перетопов зданий составит в Витебской области не более $(12\% \cdot 0,3) = 3,6\%$ от величины годового потребления теплоты на отопление.

Фактические же размеры экономии тепловой энергии в данном случае зависят от начального уровня автоматизации систем отопления и горячего водоснабжения и сложившихся объёмов теплового потребления на эти цели.

Таким образом, содержание рассматриваемого мероприятия состоит в замене отопительных приборов на энергоэффективные, снабжённые индивидуальными термостатическими регуляторами, доукомплектование индивидуального теплового пункта здания приборами автоматики. Конкретный объём необходимых действий и ожидаемый от них эффект может быть определён после выполнения соответствующего проекта модернизации.

Общая экономия тепловой энергии от внедрения систем автоматического регулирования её расхода, определяется по укрупнённым показателям [17] с учётом высказанного выше уточнения и может составить до 3,6% от годового расхода или в рассматриваемом случае:

$$\Delta Q = 3,6/100 \cdot Q_{год} = 0,036 \cdot 1234,7 = 44,4 \text{ Гкал/год.}$$

С учётом потерь энергии первичного топлива при генерации и транспорте теплоты это соответствует 7,55 т у.т. в год.

Расчёт технико-экономического обоснования мероприятия выполним по формулам (3.7 – 3.9).

Годовая экономия текущих издержек определяется стоимостью сэкономленной потребителем тепловой энергии:

$$\Delta C_{т.э.} = \tau \cdot \Delta Q \cdot k/k_p = 92,5050 \cdot 44,4 \cdot 1,94/2,0461 = 3894 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения в мероприятие оцениваются, исходя из предполагаемой стоимости оборудования, материалов и комплектующих, которые на этой стадии составления технико-экономического расчета могут быть оценены в объёме 1000 рублей в расчёте на один учебный класс.

Простой срок окупаемости капитальных вложений, исходя из стоимости сэкономленного условного топлива, может быть найден из соотношения:

$$Cp_{ок} = \frac{K}{\Delta} = \frac{30 \cdot 1000}{3894} = 7,7 \text{ лет}$$

3.4 Сводный перечень рекомендуемых мероприятий

Сводный перечень рекомендуемых технических мероприятий по экономии ТЭР представлен в Приложении 3.

Приведённые в Приложении 3 сведения позволяют судить об эффективности возможных энергосберегающих мероприятий, а также могут быть использованы для предварительного планирования объёмов денежных средств, необходимых для их реализации.

Общий ожидаемый годовой эффект от внедрения мероприятий по энергосбережению может составить **113,81 тонн условного топлива**, в том числе:

- по тепловой энергии **609,61 Гкал/год**;
- по электрической энергии **39,25 тыс. кВт·ч/год**.

Это обеспечит экономию денежных средств на приобретение энергоресурсов (по действующим тарифам на энергию) в размере **63 267 руб./год**.

Общий объём капитальных вложений на реализацию предлагаемых мероприятий составит не менее **646,5 тыс. руб.** (без учёта расходов на предпроектные изыскания и техническое сопровождение проекта).

Выводы.

1. Общая оценка имеющегося потенциала в области сбережения тепловых и электрических ресурсов показала, что для объекта ГУО «Базовая школа №10 г.Новополоцка» в удельном весе энергосберегающих мероприятий наибольшую экономию ТЭР можно получить при модернизации систем вентиляции классов и бассейна с внедрением теплоутилизаторов и тепловых насосов (35,8%), а также проведением тепловой модернизации ограждающих конструкций здания (35,1%). Меньшие сбережения ТЭР будут при модернизации систем внутреннего освещения (14,3%), при внедрении солнечных коллекторов для нагрева воды в плавательном бассейне (10,9%), при модернизации систем отопления (3,9%).

2. Расчет годовой экономии энергетических ресурсов показал, что все предложенные мероприятия позволят сэкономить 39 тыс кВт·ч электрической энергии и 609,61 Гкал тепловой энергии, что даст общий экономический эффект 63 267 руб./год, для этого потребуется 646 498 руб. единовременных затрат и срок окупаемости составит 10,2 года.

3. Наименьший срок окупаемости 2 года и ожидаемый экономический эффект 9802 руб./год будет при замене осветительного оборудования. Модернизация системы вентиляции плавательного бассейна с утилизацией теплоты вытяжного воздуха позволит получить экономию энергетических ресурсов в размере 34,85 ТУТ/год и срок окупаемости не превысит 7 лет. Аналогичный срок окупаемости будет при проведении модернизации систем отопления с годовым экономическим эффектом 7,55 ТУТ. Тепловая реабилитация наружных ограждающих конструкций и замена окон потребует больших капитальных затрат, которые окупятся в течении 15 лет. На окупаемость модернизации вентиляции учебных классов потребуется порядка 19 лет.

4. Необходимо отметить, что модернизация вентиляции учебных классов и проведение тепловой реабилитации ограждающих конструкций приведут к улучшению санитарно-гигиенических показателей воздушной среды и улучшению микроклимата в учебных классах. Что положительно отразится на здоровье и работоспособности учащихся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования проведён анализ мероприятий по управлению энергопотреблением в организациях. Определены энергоэкономические показатели по нормированию ТЭР. Проанализированы пути снижения потребления тепловой и электрической энергии в общественных зданиях. Проведено энергетическое обследование здания Базовой школы №10 г.Новополоцка, включая инструментальное, которое показало необходимость:

- тепловой модернизации ограждающих конструкций с заменой окон;
- модернизации системы вентиляции плавательного бассейна с установкой утилизатора теплоты удаляемого воздуха;
- модернизации вентиляции учебных классов с целью создания комфортных условий пребывания учащихся;
- замены отопительных приборов и установки регулирующей арматуры на ветках отопления.

На основе анализа путей снижения потребления тепловой и электрической энергии и энергетического обследования здания разработаны энергосберегающие мероприятия для Базовой школы №10 г.Новополоцка. Просчитан экономический эффект, капиталовложения и срок окупаемости этих мероприятий.

Комплекс аналогичных мероприятий можно рекомендовать для учебных заведений построенных по проектам разработанным до утверждения Изменения 1 к [5] от 01.07.2009г..

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Закон Республики Беларусь от 08.01.2015 № 239-3 «Об энергосбережении»
2. А.А. Андрижиевский В.И. Володин. Энергосбережение и энергетический менеджмент: учеб. пособие / -2-е изд. испр. - Мн.: Выш. шк. 2005.
3. М.В. Самойлов, В.В. Паневчик, А.Н. Ковалев. Основы энергосбережения: Учебное пособие Мн, БРЭУ 2004.
4. В.М. Круглик, Н.Г. Сычев. Основы энергосбережения: Учебное пособие для студентов, обучающихся по экономическим специальностям, Минск 2010
5. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника – Мн.: Минстройархитектуры, 2007.
6. В.Н. Ануфриев, Н.А. Андреевко. Энергосбережение в зданиях: Производственно-практическое издание, Минск 2011.
7. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха – Мн.: Минстройархитектуры, 2004.
8. ГОСТ 307494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, Москва, 2013.
9. ПОЛОЖЕНИЕ о порядке организации и проведения энергетических обследований (энергоаудитов). Утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18.03.2016 № 216.
10. ГОСТ 26629-85 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.
11. ГОСТ 25380-82 Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции.
12. ГОСТ 26254-84 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
13. Каталог продукции «Группы компаний «Сармат» [Электронный ресурс] <http://www.sarmat.by/content/view/95/683>, Режим доступа 12.12.2017г.
14. Каталог продукции Филиала №3 «Минский комбинат силикатных изделий» ОАО «Белорусский цементный завод» [Электронный ресурс] <http://www.mksi.by/catalog/plity-penopolistirolnye-teploizolyatsionnye/>. Режим доступа 14.12.2017г.
15. НП «АВОК» 7,5 – 2012. Обеспечение микроклимата и энергосбережение в крытых плавательных бассейнах. Нормы проектирования.
16. «Прана» официальный сайт изготовителя [Электронный ресурс] <https://prana.org.ua/>. Режим доступа 15.12.2017г.

17. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий.– Мн.: Департамент по энергоэффективности Госстандарта РБ, 2016.
18. ТКП 45-4.01-52-2007 (02250). Система внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2008.
19. Методические указания по нормированию потребления тепловой и электрической энергии в учреждениях и на предприятиях социальной сферы. Мн.: 2002.
20. ТКП 45-3.02-153-2009. Естественное и искусственное освещение.
21. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха – Мн.: Минстройархитектуры, 2004.
22. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.– Мн.: Минстройархитектуры, 2001.
23. ТКП 45-3.02-290-2013 Общественные здания и сооружения.
24. ТКП 45-3.02.-209-2010 Административные и бытовые здания – Мн.: Минстройархитектуры, 2010.
25. СТБ 1776-2007. Энергетическое обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов. Общие требования. – Минск: Госстандарт, 2007.
26. ПОЛОЖЕНИЕ о порядке разработки, установления и пересмотра норм расхода топливно-энергетических ресурсов. Утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18.03.2016 № 216.
27. ГОСТ 24940-81 Здания и сооружения. Методы измерения освещённости.
28. СТБ 1777-2009. Системы управления энергопотреблением. Требования и руководство по применению.
29. СТБ 1774-2007 Энергосбережение. Энергетический паспорт топливно-энергетических ресурсов. Общие требования.
30. Колюнов О.А, Иванов О.П. Энергосбережение в системах вентиляции и кондиционирования за счёт применения утилизации теплоты удаляемого воздуха. – Сб. научных трудов СПбГУНиПТ, Холодильная и криогенная техника, 2003, №1.
31. ТКП 45-4.02-129-2009. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Правила расчёта.
32. ТКП 45-4.02-91-2009. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Строительные нормы проектирования.

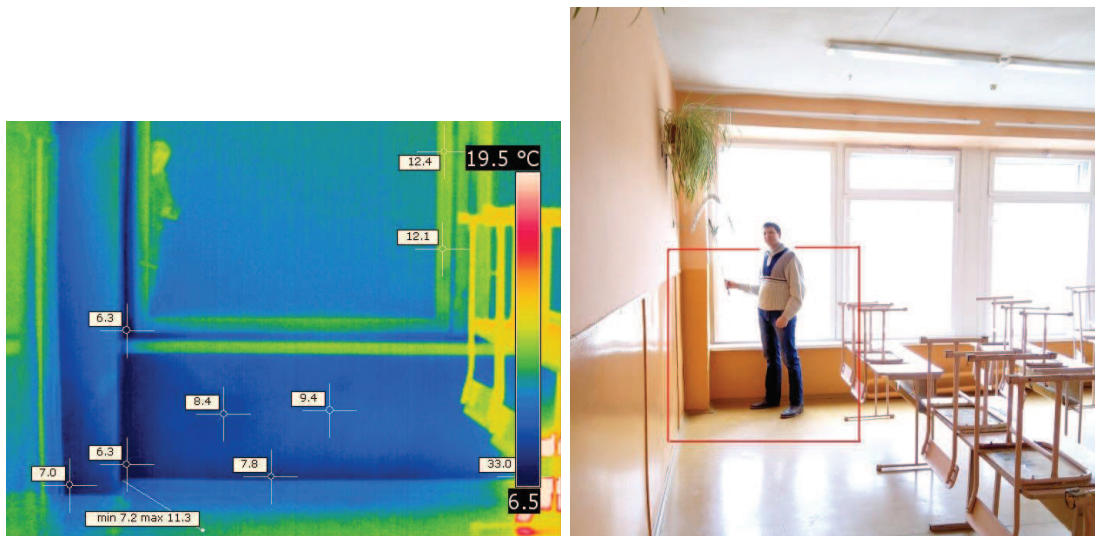


Рисунок 1 – Стена помещения №214 (учебный класс), северный фасад

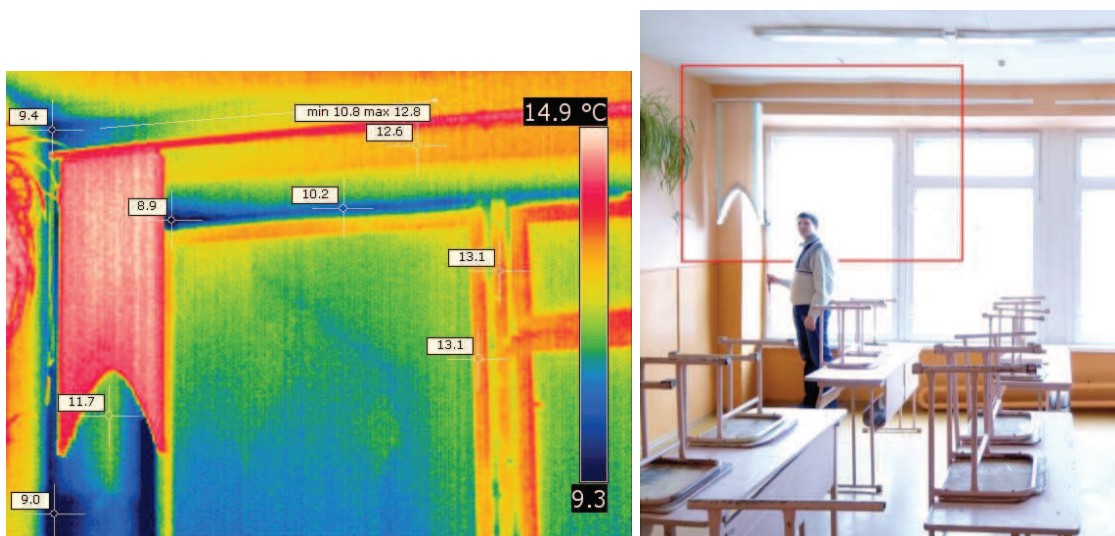


Рисунок 2 – Стена помещения №214 (учебный класс), северный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

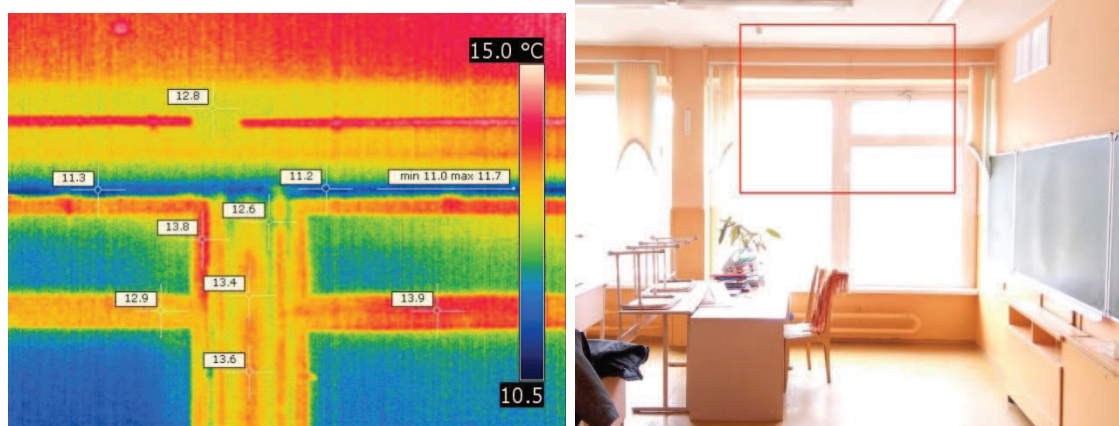


Рисунок 3– Стена помещения №214 (учебный класс), северный фасад

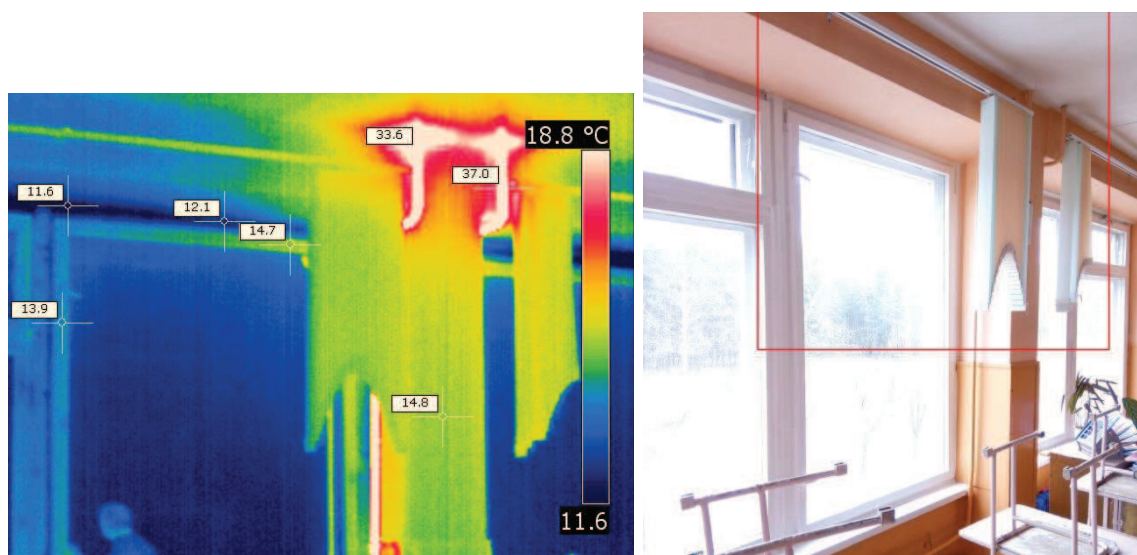


Рисунок 4– Стена помещения №214 (учебный класс), северный фасад

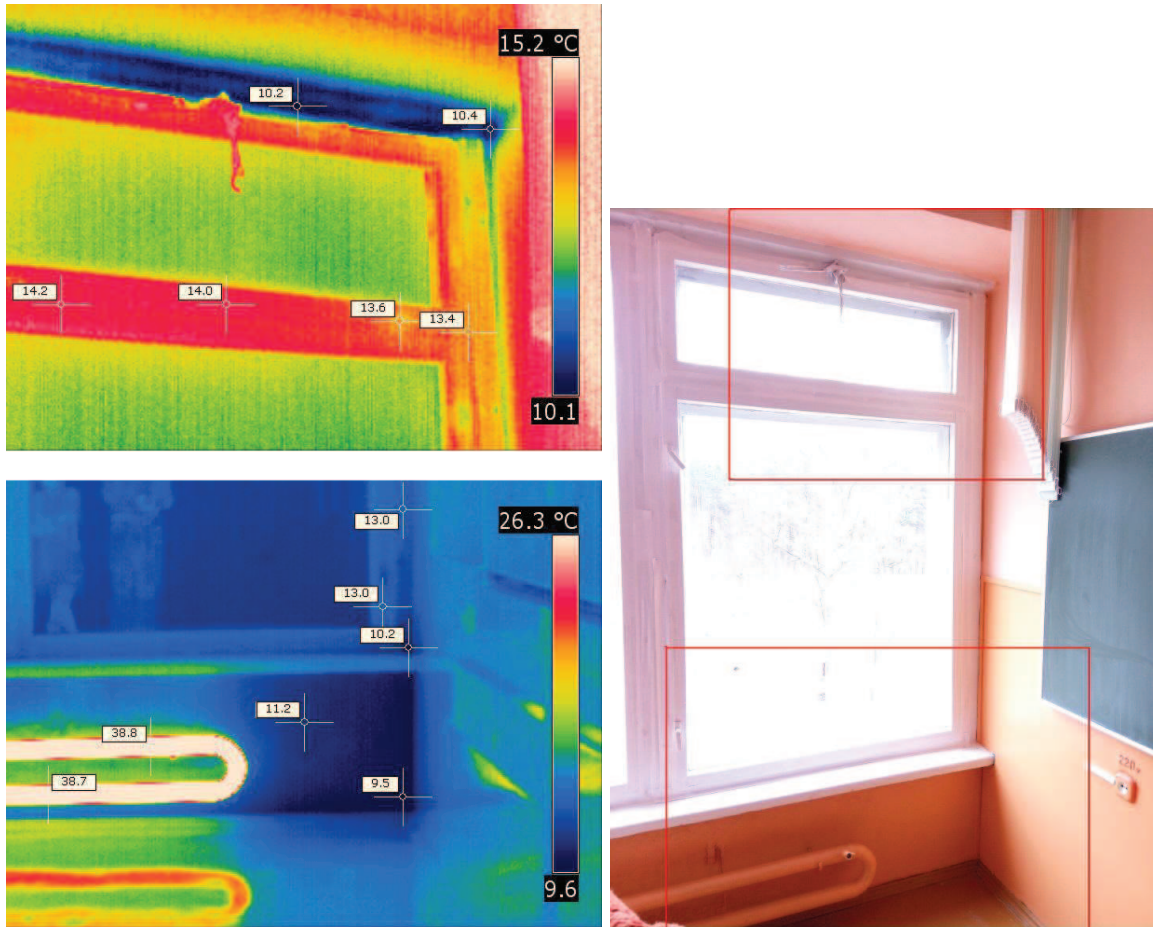


Рисунок 5 – Стена помещения №214 (учебный класс), северный фасад

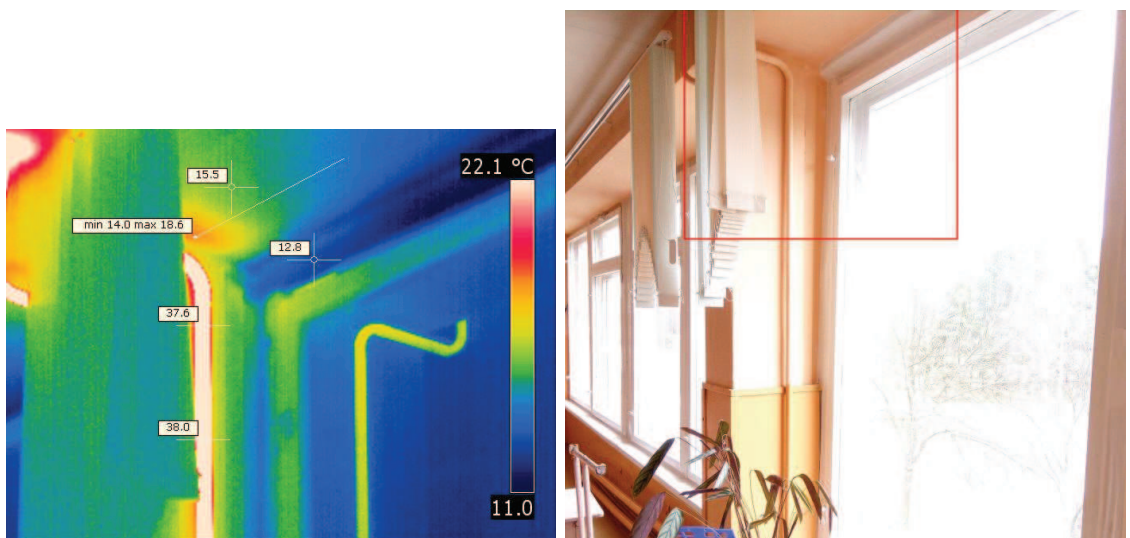


Рисунок 6 – Стена помещения №214 (учебный класс), северный фасад

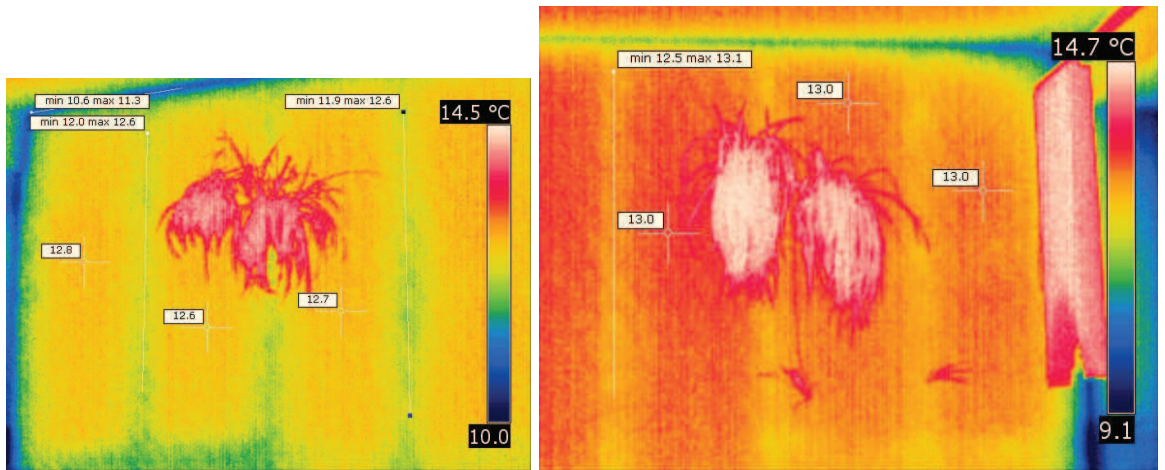


Рисунок 7 – Стена помещения №214 (учебный класс), западный фасад

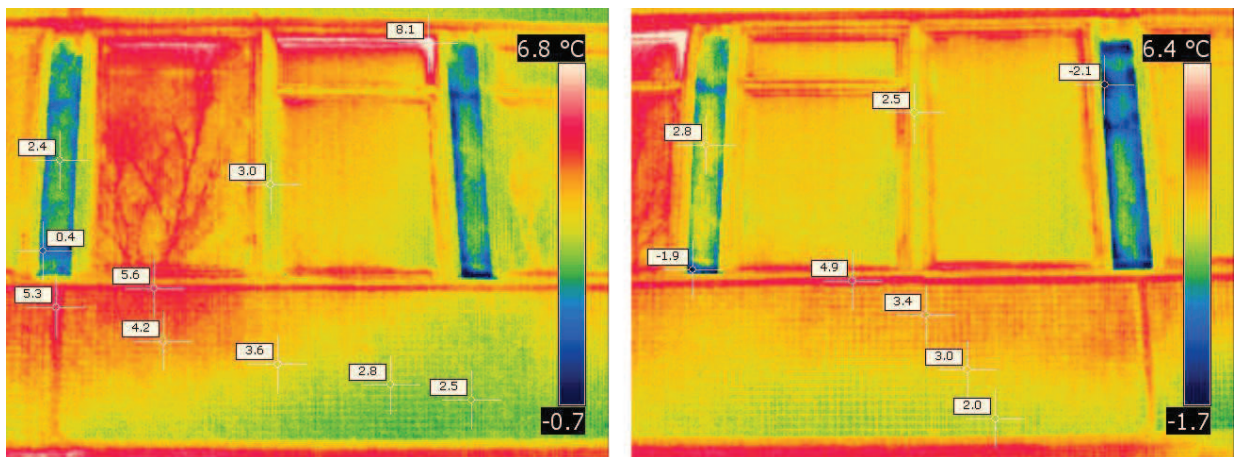


Рисунок 8 – Стена помещения №214 (учебный класс), северный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

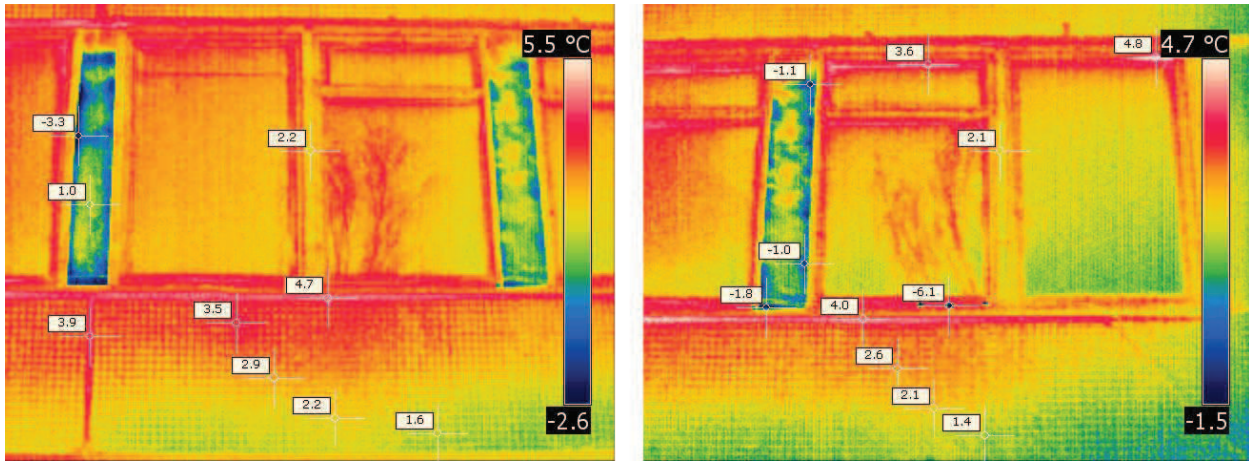


Рисунок 9 – Стена помещения №214 (учебный класс), северный фасад

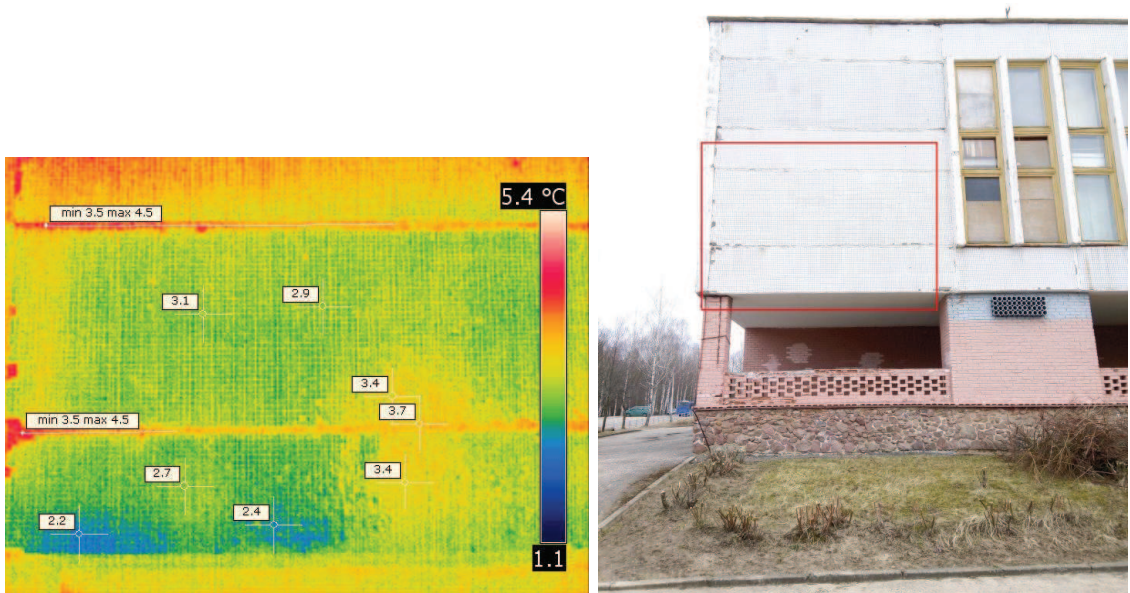


Рисунок 10 – Стена помещения №214 (учебный класс), западный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

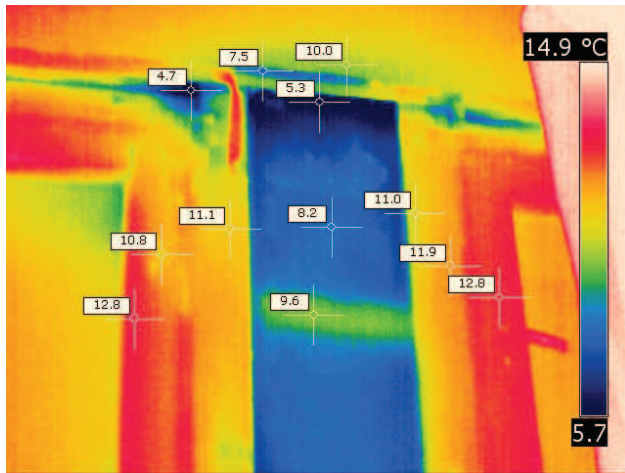


Рисунок 11 – Стена помещения №213 (библиотека), западный фасад

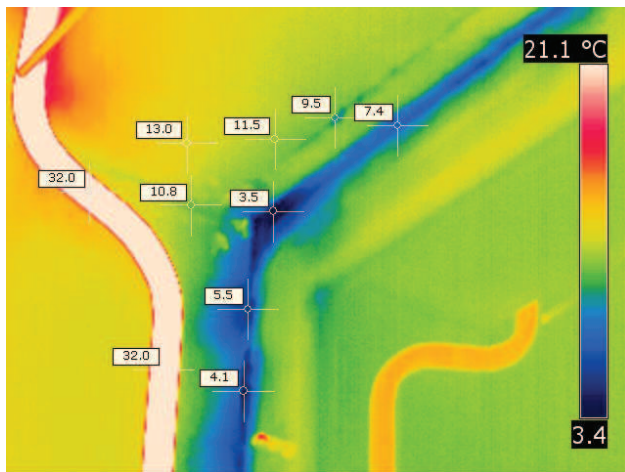


Рисунок 12 – Стена помещения №213 (библиотека), западный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

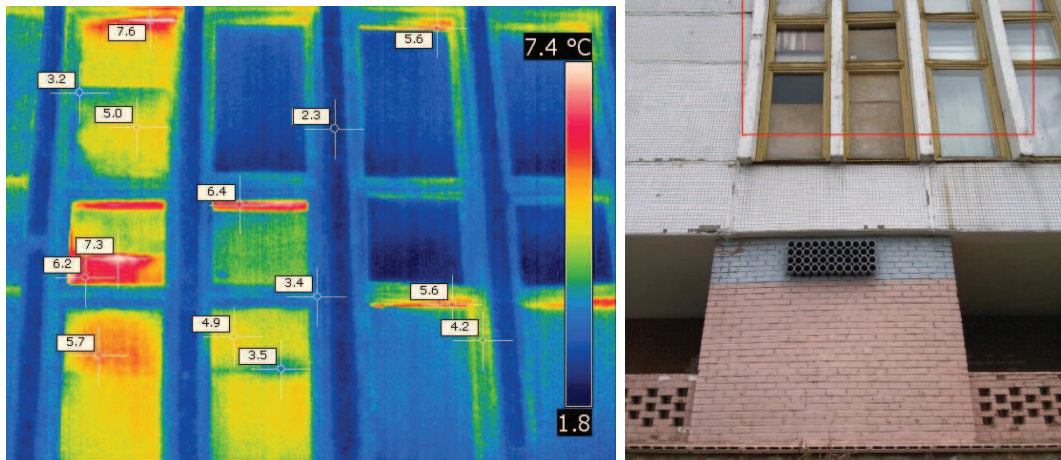


Рисунок 13 – Окна коридора 2 этажа и помещения №213, западный фасад

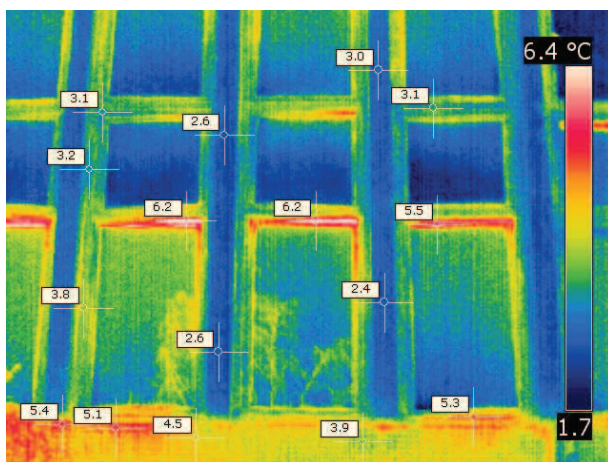


Рисунок 14 – Окна помещений №213 и №211, западный фасад

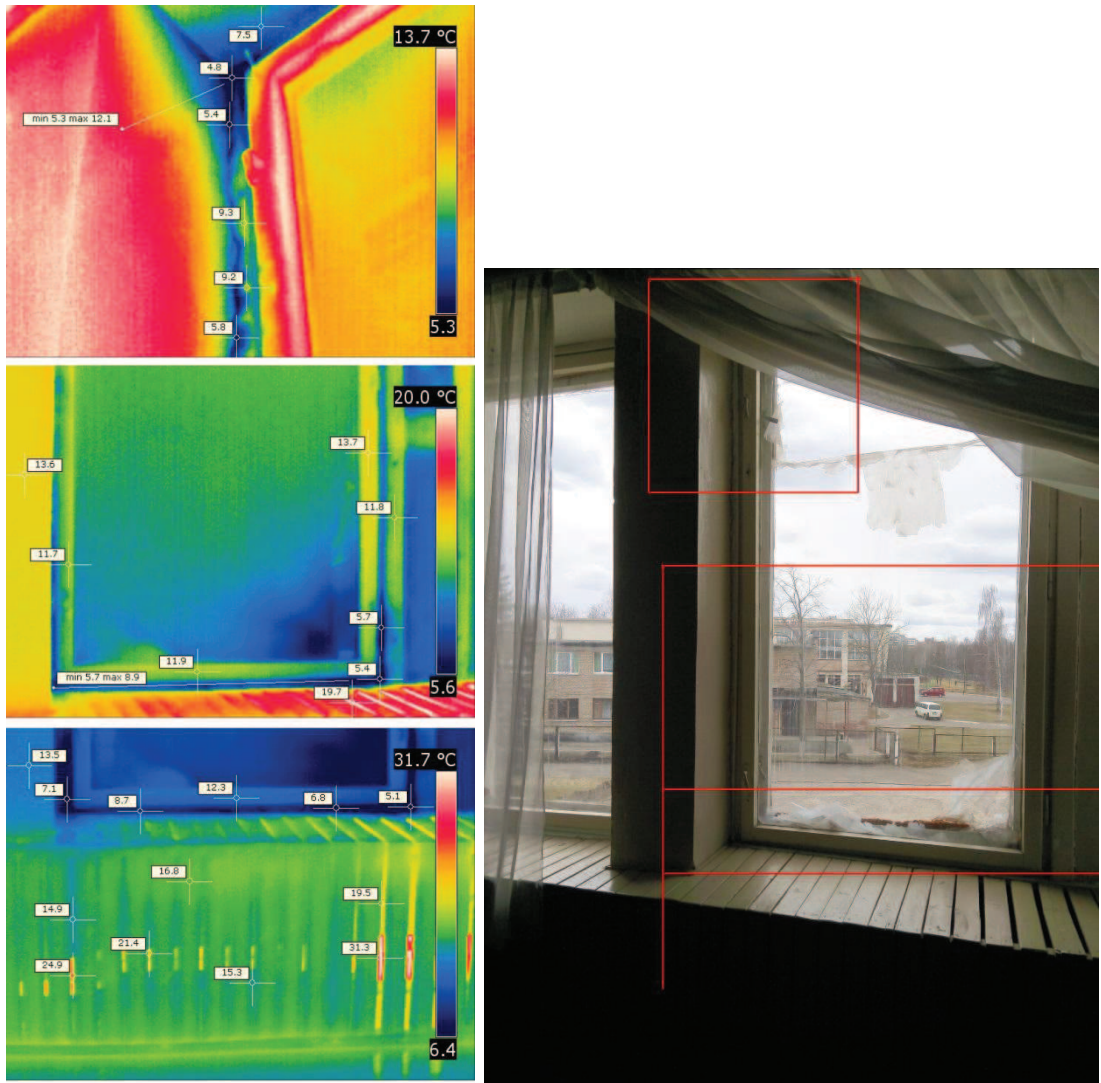


Рисунок 15 – Стена помещения №211 (актовый зал), западный фасад

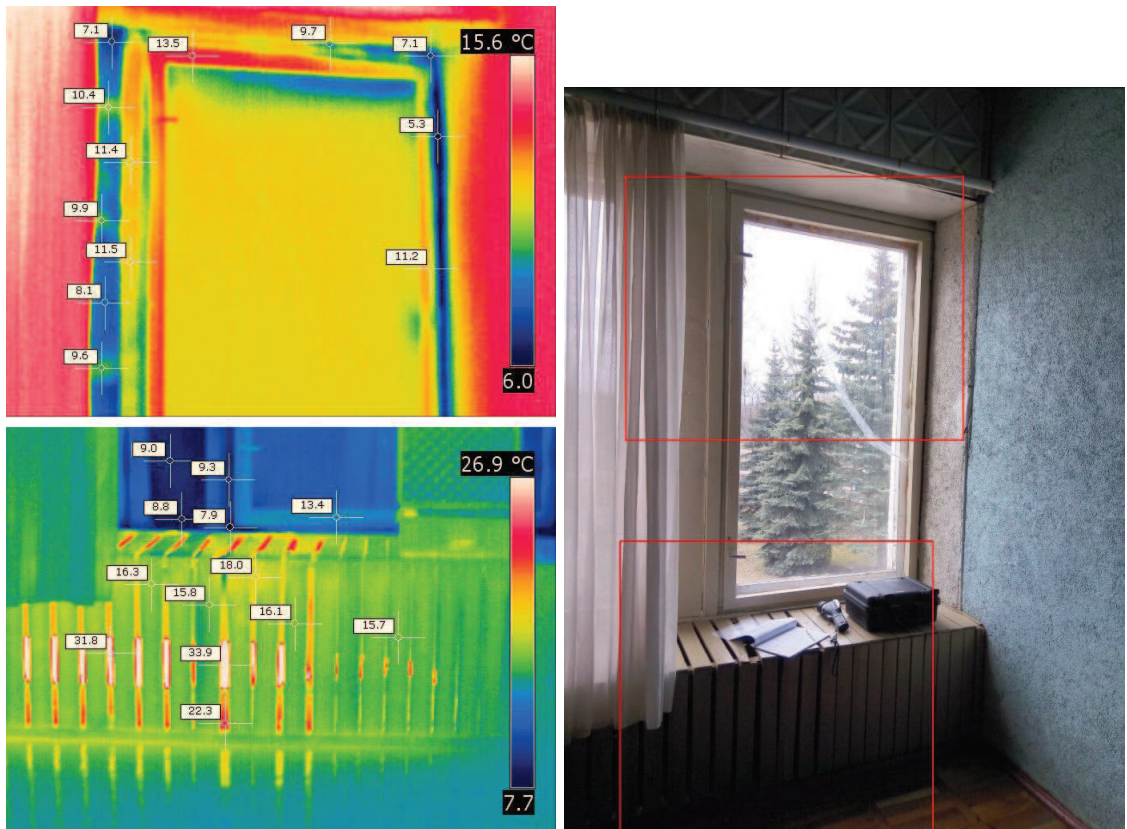


Рисунок 16 – Стена помещения №211 (актовый зал), западный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

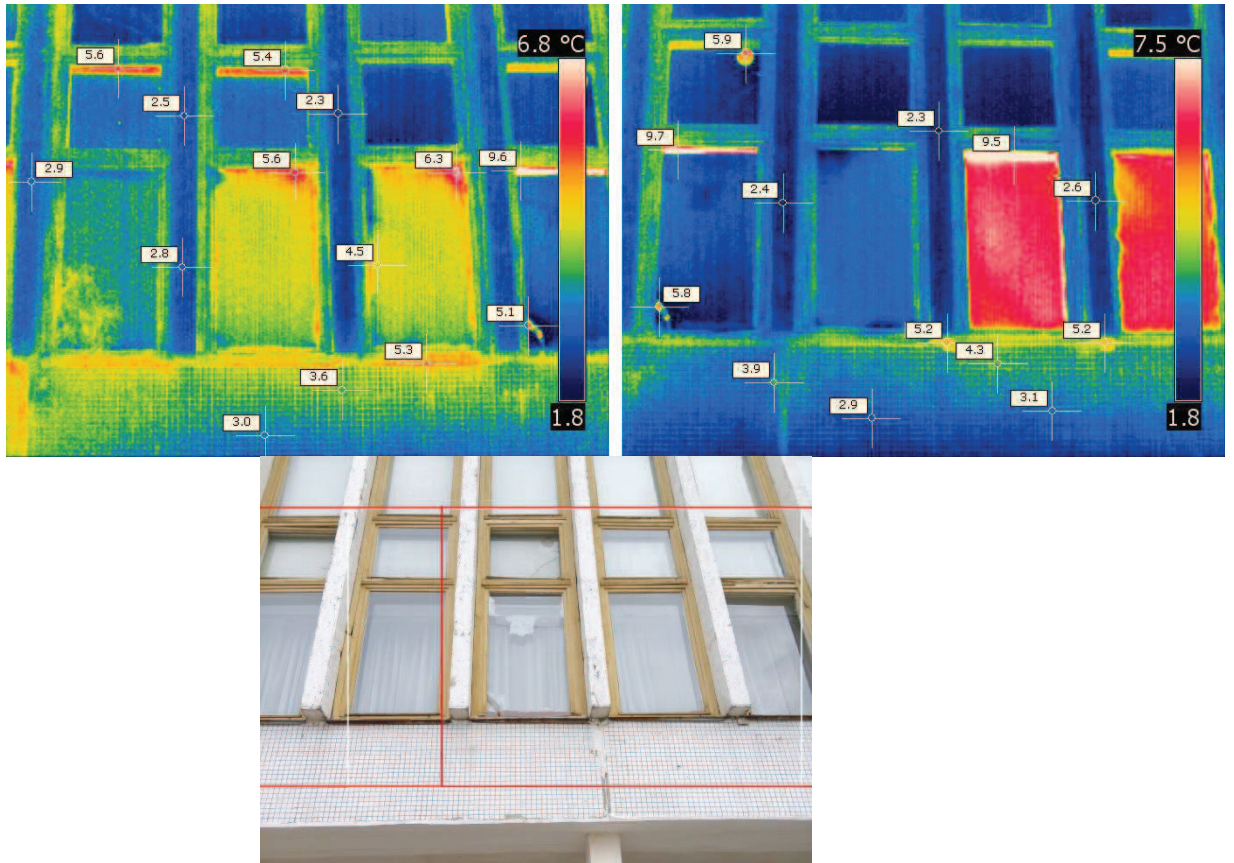


Рисунок 17 – Окна помещения №211 (актовый зал), западный фасад

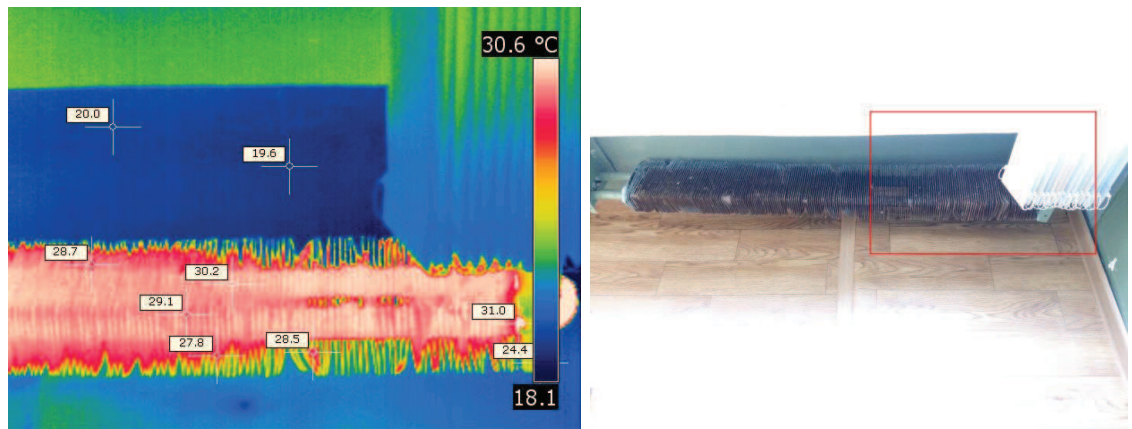


Рисунок 18 – Конвектор помещения №229 (учебный класс), восточный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

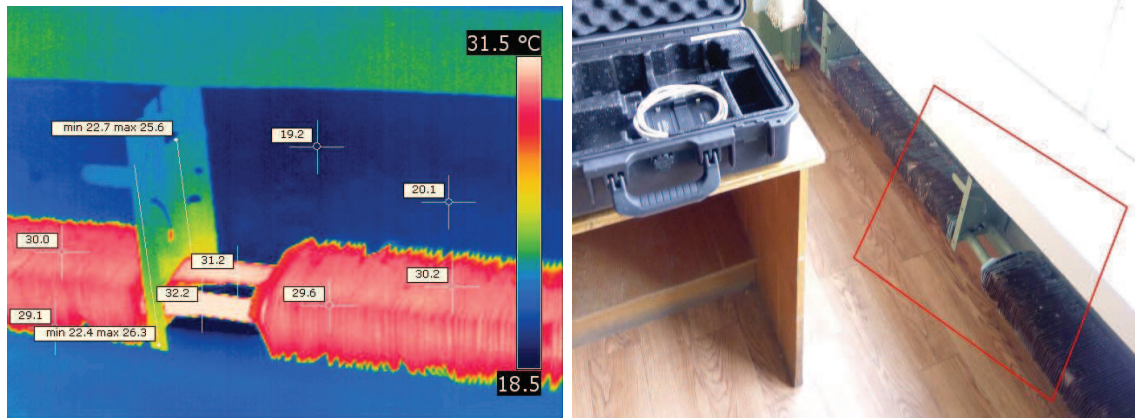


Рисунок 19 – Конвектор помещения №229 (учебный класс), восточный фасад

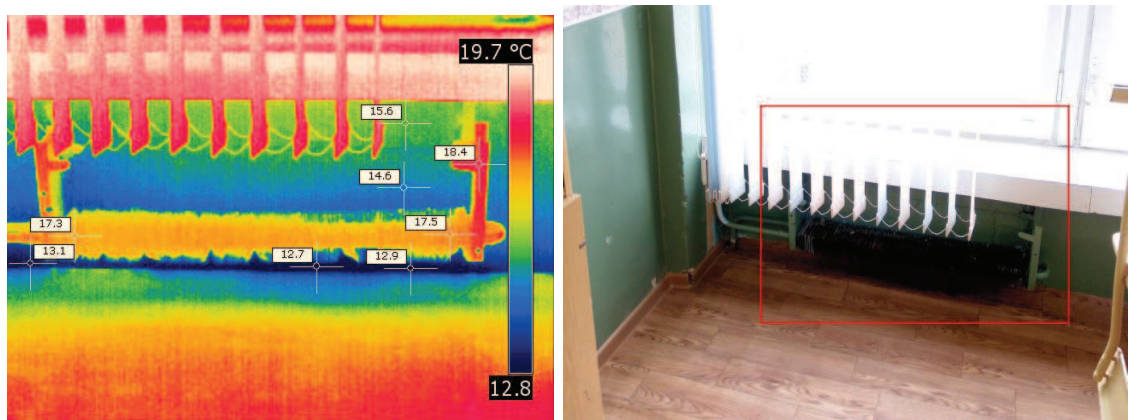


Рисунок 20 – Нерабочий конвектор помещения №229 (учебный класс), восточный фасад

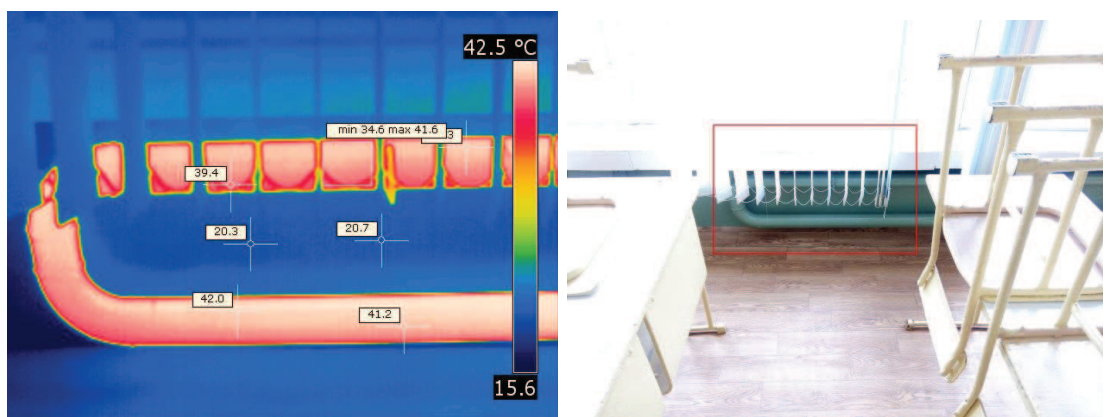


Рисунок 21 – Регистр помещения №229 (учебный класс), восточный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

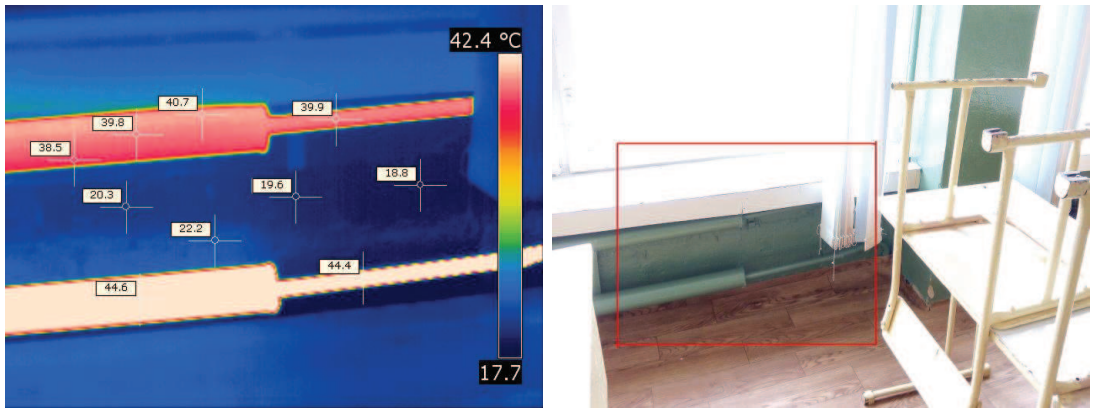


Рисунок 22 – Регистр помещения №229 (учебный класс), восточный фасад

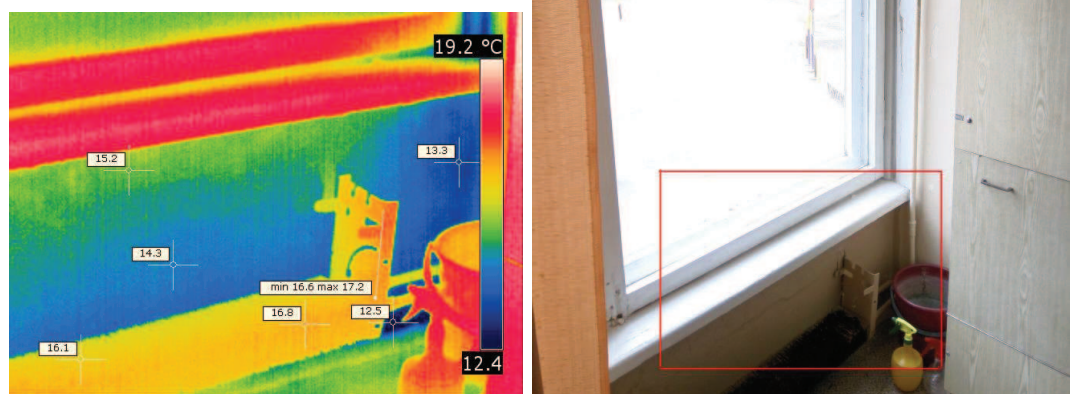


Рисунок 22– Нерабочий конвектор подсобного помещения №229а, восточный фасад

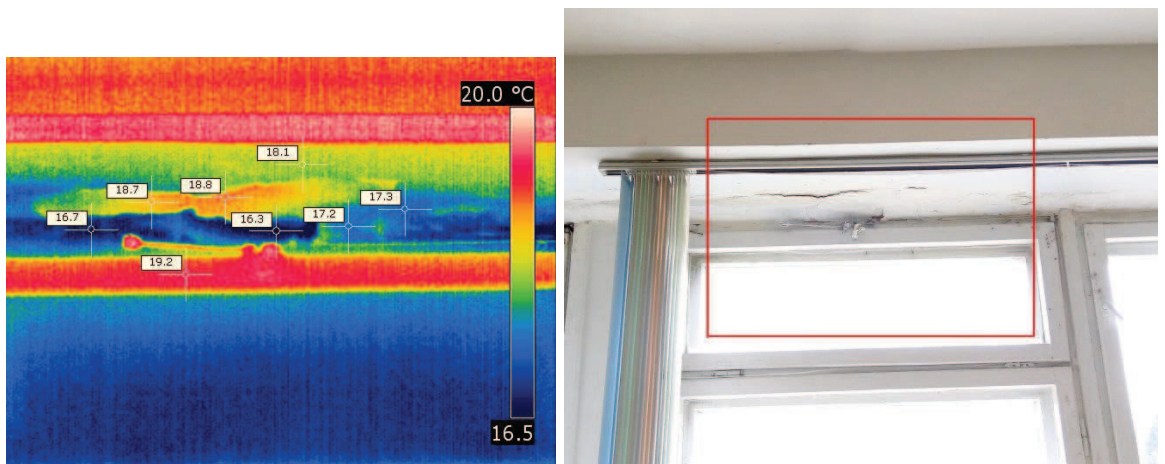


Рисунок 23 – Стена помещения №229 (учебный класс), восточный фасад

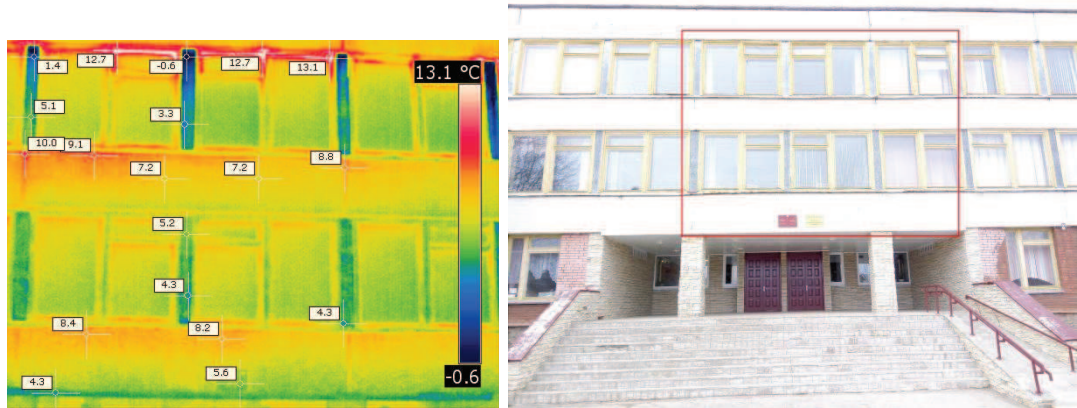


Рисунок 24 – Стена помещения №229, восточный фасад

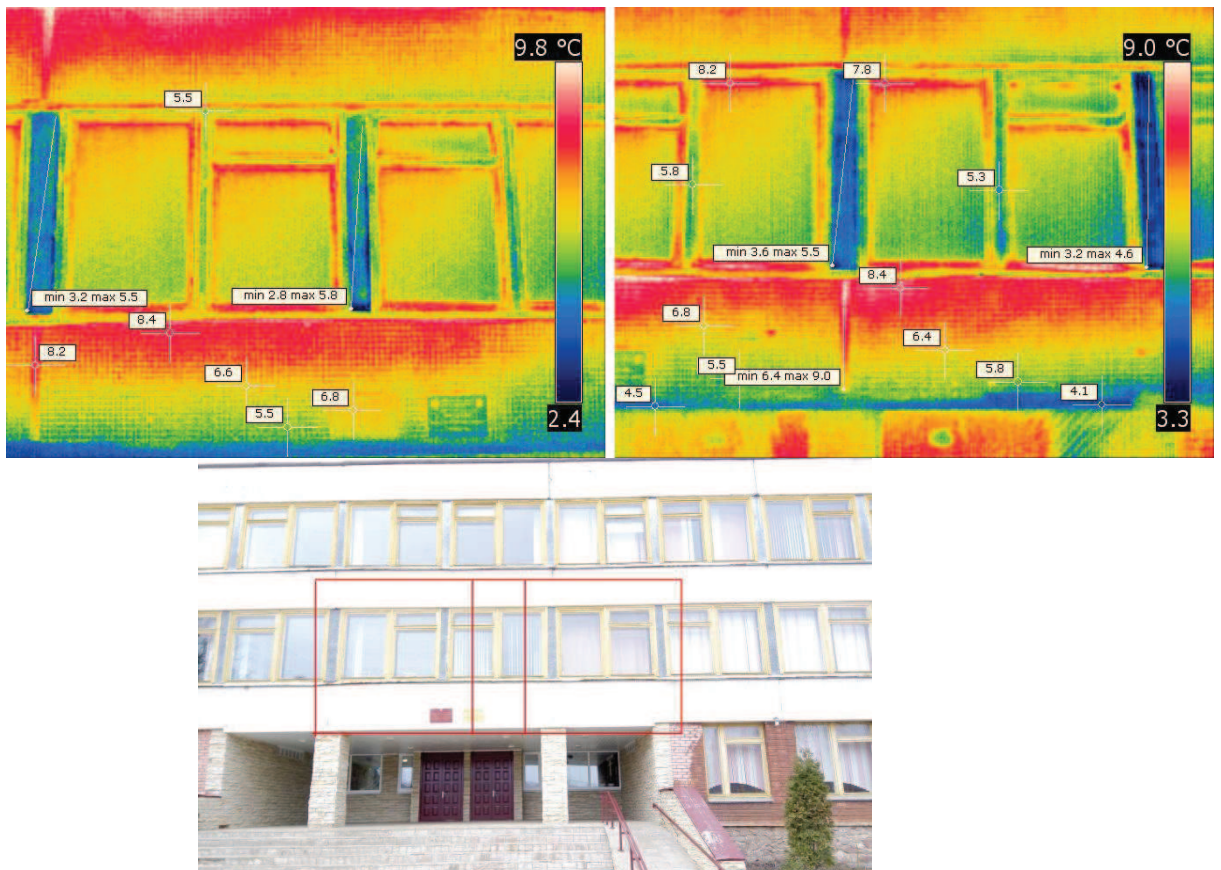


Рисунок 25 – Стена помещения №229, восточный фасад



Рисунок 26 – Стена помещения №312 (компьютерный класс), северный фасад

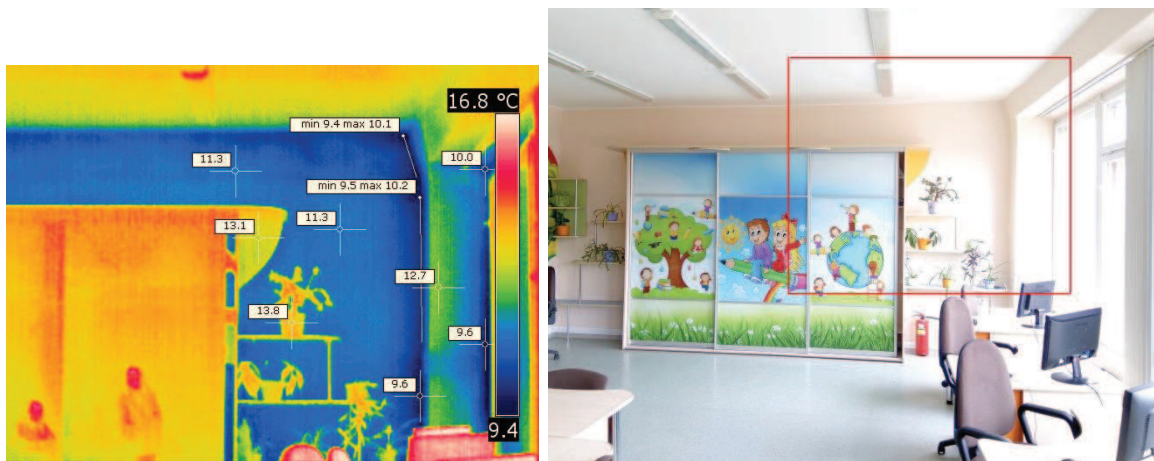


Рисунок 27 – Стена помещения №312 (компьютерный класс), западный фасад

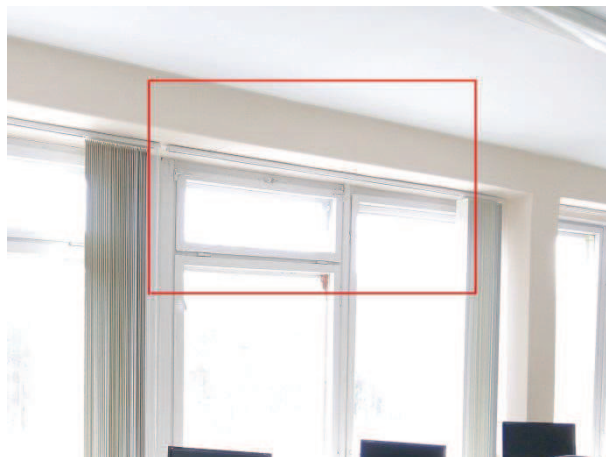
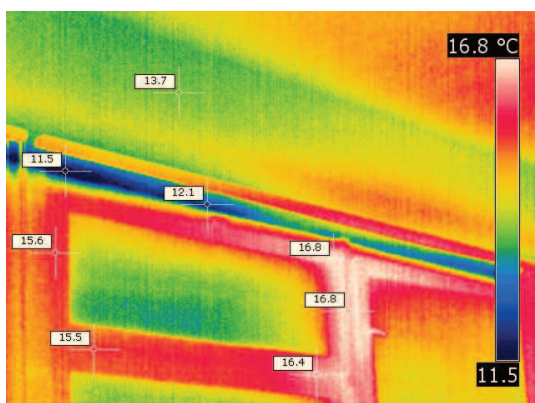


Рисунок 28 – Стена помещения №312 (компьютерный класс), северный фасад

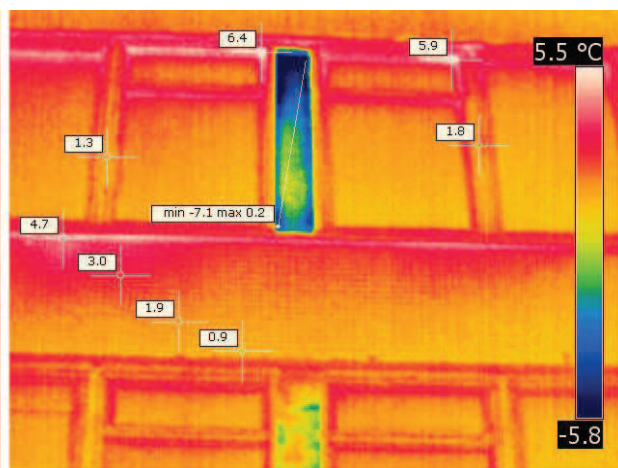
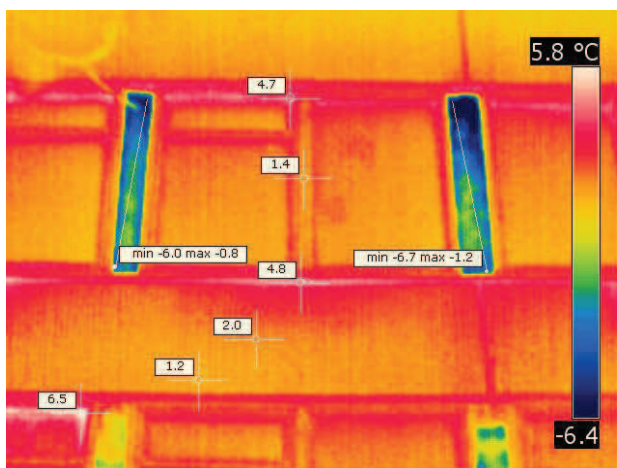


Рисунок 29 – Стена помещения №312, северный фасад

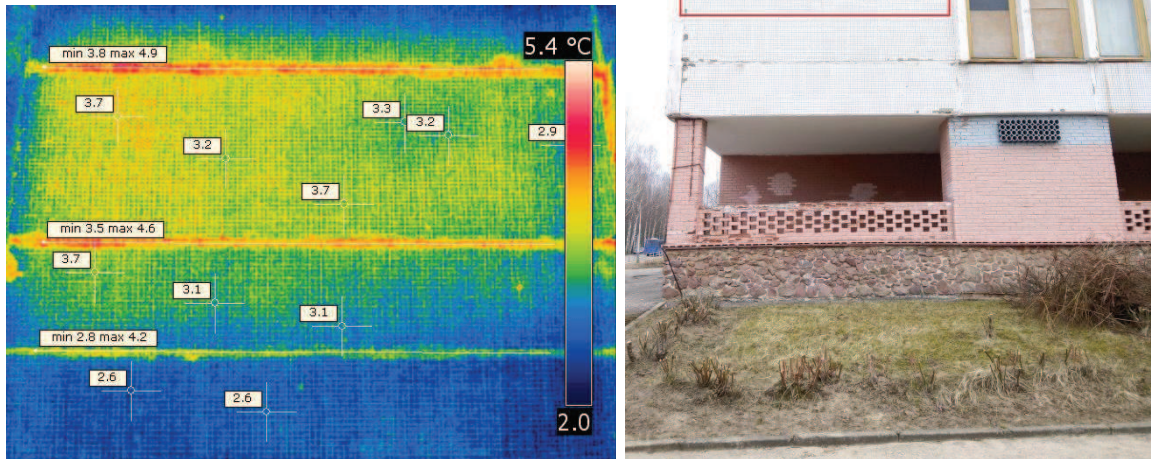


Рисунок 30 – Стена помещения №312, западный фасад



Рисунок 31 – Стена помещения №115 (мастерская по дереву), северный фасад



Рисунок 32 – Стена помещения №115 (мастерская по дереву), северный фасад

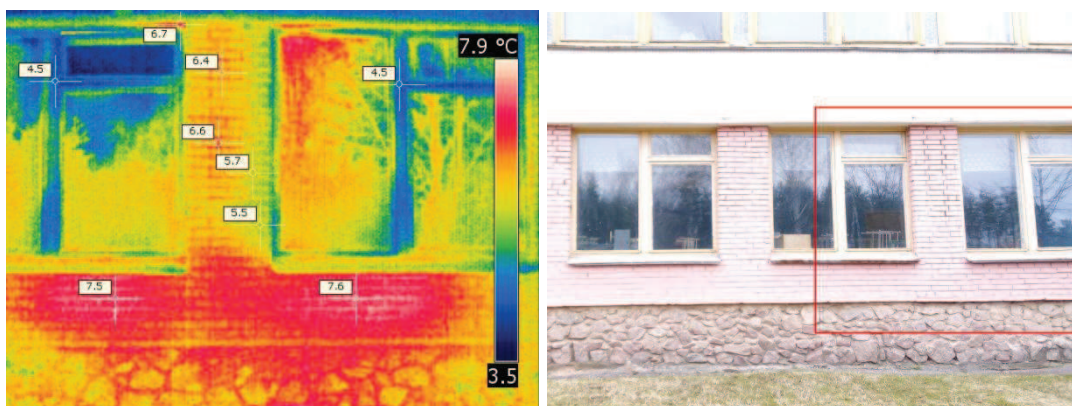


Рисунок 33 – Стена помещения №115, северный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

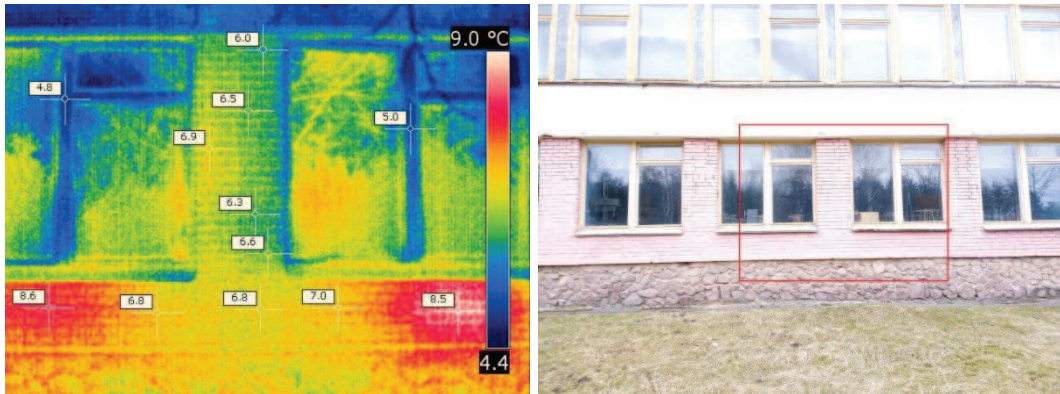


Рисунок 34 – Стена помещения №115, северный фасад

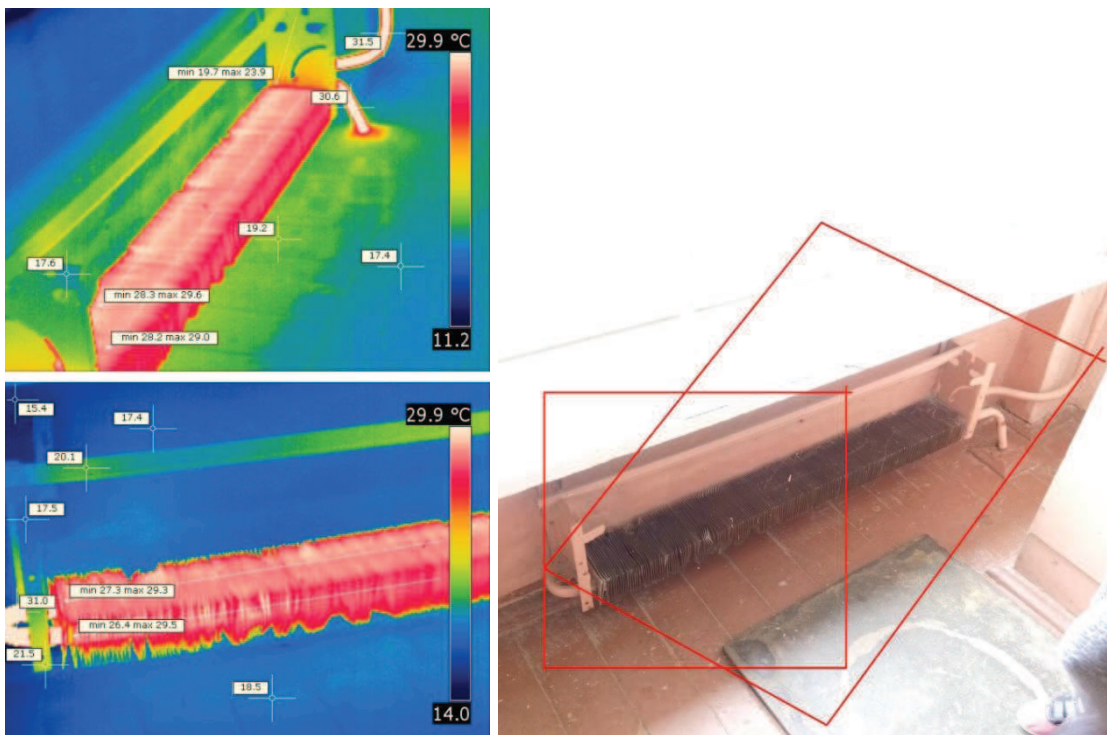


Рисунок 35 – Конвектор помещения №114 (мастерская по металлу), северный фасад

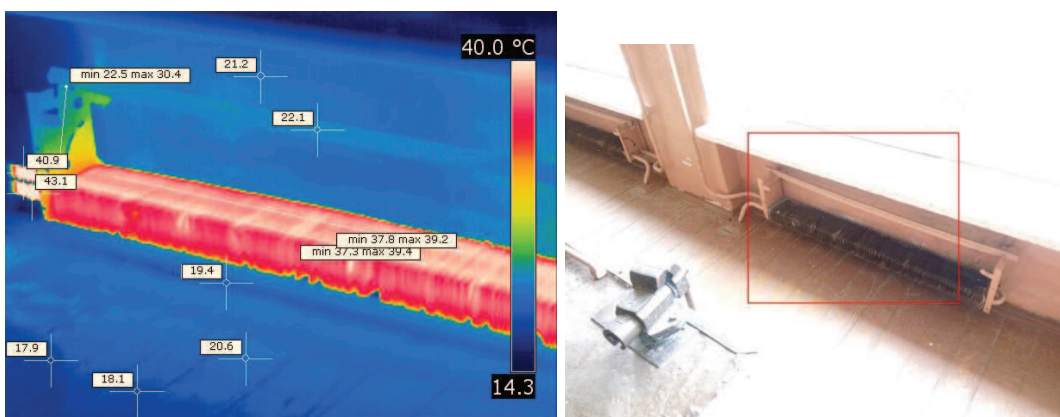


Рисунок 36 – Конвектор помещения №114 (мастерская по металлу), северный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

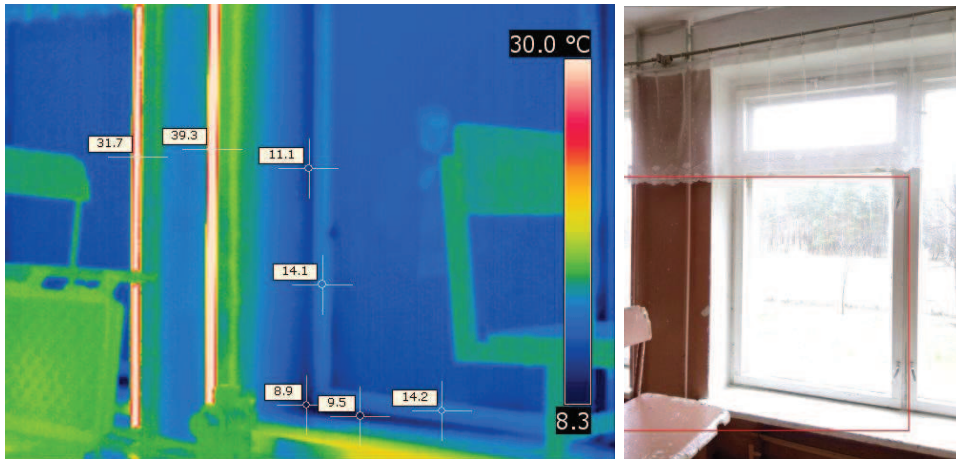


Рисунок 37 – Стена помещения №114 (мастерская по металлу), северный фасад

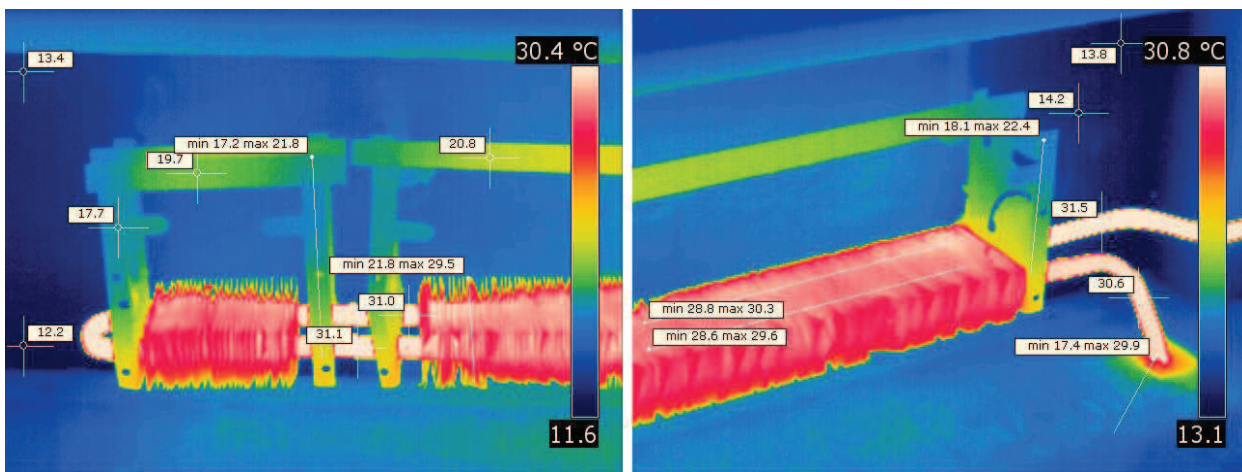


Рисунок 38 – Конвектор помещения №114 (мастерская по металлу), северный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

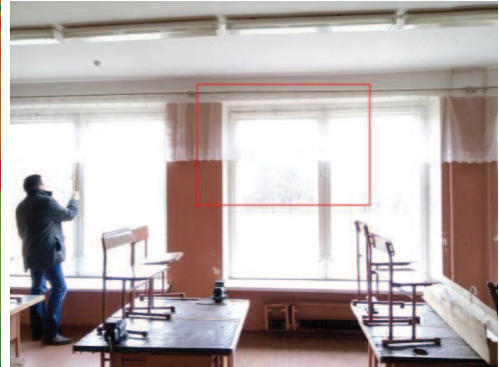
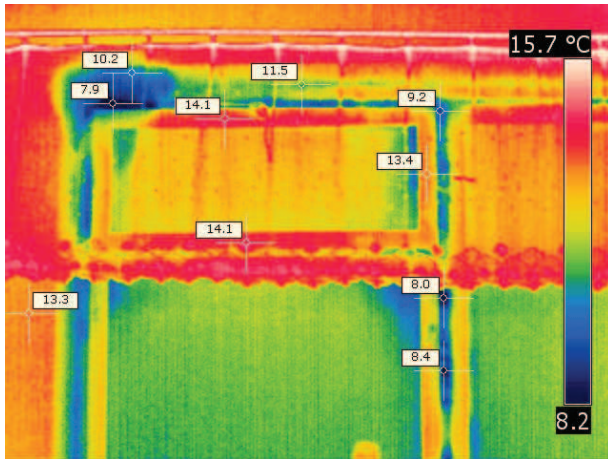


Рисунок 39 – Стена помещения №114 (мастерская по металлу), северный фасад

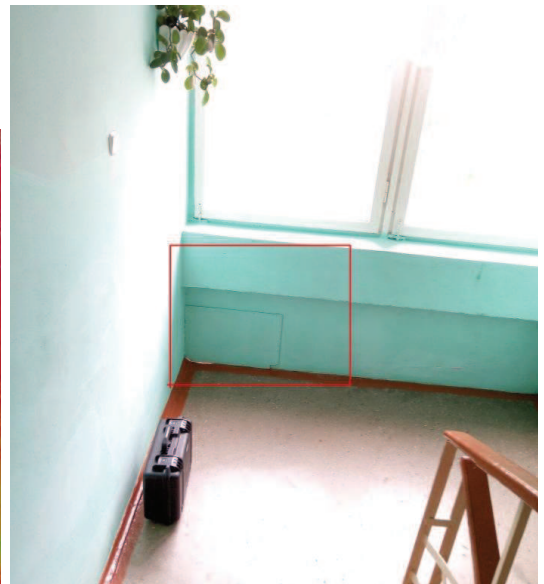
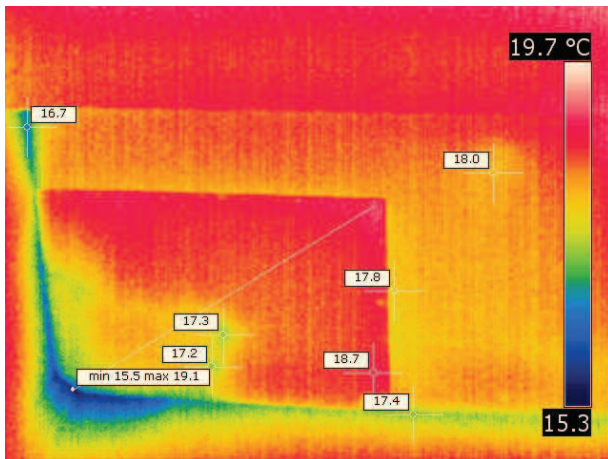


Рисунок 40 – Стена лестничной клетки (окно закрыто фанерой), восточный фасад

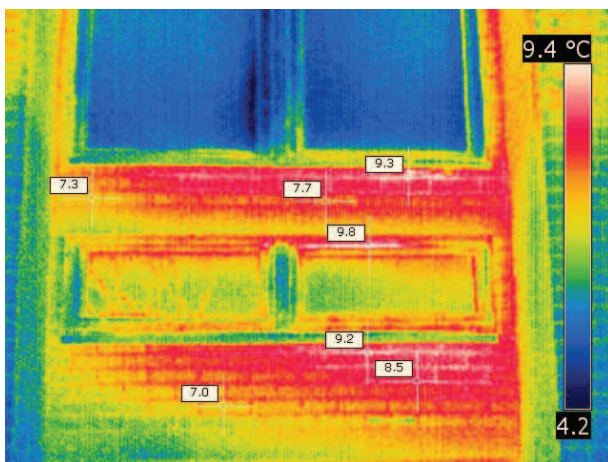


Рисунок 41 – Стена лестничной клетки, восточный фасад

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Обработка результатов тепловизионного обследования

Номер и наименование помещения	Температура и влажность внутреннего воздуха в зоне базового* участка $t_{\text{б}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Температура наружного воздуха в зоне базового участка $t_{\text{б}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Температура внутренней поверхности базового участка $t_{\text{в}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Температура внутреннего воздуха в зоне «дефектного»**	Температура внутренней поверхности «дефектного» участка $t_{\text{в}}(x, y), \text{ } ^\circ\text{C}$	тепловой поток на базовом участке, Вт/м^2	Сопротивление теплопередаче базового участка $R_{\text{б}}, \text{ } \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Температура точки росы в условиях $t_{\text{р}}, \text{ } ^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
214(уч.класс, северн. фасад)	16,5 (33,8%)	3,8	13,4 (окно) 12,8 (стена)	12,5	10,2 (окно) 8,4 (стена)	от 17 до 21	0,67 (окно)	0,7
213 (книгохран., запад. фасад)	12,8 (39,9%)	4,1	12,8 (окно) 11,9 (стена)	8,1	5,5 (окно) 7,5 (стена)	24	0,36 (окно)	0,2
211(акт.зал, запад. фасад)	16,1 (35,5%)	4,0	11,2 (окно) 9,9 (стена)	от 7,4 до 8,6	5,7 (окно) 7,1(стена)	от 24 до 26	0,48 (окно)	1,0
312 (комп.класс, северн. фасад)	17,1 (45,7%)	3,8	13,3 (окно) 12,8 (стена)	16,3	10,0 (окно) 10,6 (стена)	–	–	5,2
115 (мастерская, северн. фасад)	18,3 (21,8%)	3,8	13,7 (окно) 13,4 (стена)	от 11,2 до 11,8	8,1 (окно) 10,7 (стена)	40	0,36 (окно)	-2,7
114(мастерская по металлу, северн. фасад)	17,1 (26,5%)	3,9	14,1 (окно) 13,3 (стена)	7,9	8,0 (окно) – (стена)	36	0,37 (окно)	-1,5

* Базовый участок – участок ограждающей конструкции, имеющий линейные размеры свыше двух её толщин и равномерное температурное поле.

** В качестве границы дефектного участка ограждающей конструкции, выявленного при термографировании внутренней поверхности, принимают изотерму, температура которой при условиях эксплуатации здания или сооружения меньше или равна температуре точки росы внутреннего воздуха.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Перечень рекомендуемых энергосберегающих технических мероприятий

№ п/п	Наименование мероприятия	Ожидаемый экономический эффект			Объём в натуральных единицах	Объём финанси- рования, руб.	Срок окупаемости, лет
		Тыс.кВт·ч/год, Гкал/год.	т у.т/год	руб./год			
1	2	3	4	5	6	7	8
Предлагаемые мероприятия по экономии электрической энергии							
1	Выборочная замена осветительного оборудования	39,25	10,2	9802	1060 ламп	19317	2
	Итого по электрической энергии:	39,25	10,2	9802		19317	2
Предлагаемые мероприятия по экономии тепловой энергии							
2	Замена окон на энергоэффективные	186	31,61	16314	1087 м ²	252728	15,5
3	Тепловая модернизация (реабилитация) стен здания	68,91	11,71	6044	1498 м ²	59657	11,5
4	Тепловая модернизация (реабилитация) кровли здания	65,2	11,08	5716	4427 м ²	96066	16,8
5	Модернизация вентиляции плавательного бассейна с внедрением теплоутилизаторов	205	34,85	17980	1 установка	120300	6,7
6	Модернизация вентиляции учебных помещений путём децентрализации и внедрения теплоутилизаторов	40,1	6,81	3517	30 установок	68430	19
7	Модернизация систем отопления	44,4	7,55	3894	30 классов	30000	7,8
	Итого по тепловой энергии:	609,61	103,61	53465		627181	11,7
	ВСЕГО		113,81	63267		646498	10,2