



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET



Полноправные люди.
Устойчивые страны.

Проект ПРООН-ГЭФ
«Повышение энергетической
эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

Опыт проектирования,
строительства и эксплуатации
энергоэффективных зданий с
минимизацией затрат энергии
на отопление и горячее
водоснабжение

4 июня

2018

В данной работе выполнен анализ результатов разработки, проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий, построенных в рамках Проекта ПРООН-ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь». Эти результаты обобщены с учетом данных и выводов, содержащихся в проектных документах, отчетах, публикациях, презентациях, других информационных материалах проекта. На основании анализа и обобщения разработаны рекомендации по дальнейшему использованию результатов проекта в создании условий для устойчивого повышения энергоэффективности жилого сектора в Беларуси.

Информационно-
технический
отчет

Исполнитель: национальный консультант Данилевский С.Л.

Оглавление

Введение	3
1 Шаг за шагом: от энергоэффективных зданий первого поколения к экспериментальным объектам проекта ПРООН-ГЭФ	5
2 Энергоэффективные здания первого поколения	7
3 Энергоэффективные здания второго поколения в проекте ПРООН-ГЭФ	9
4 Особенности возведения и эксплуатации ограждающих конструкций энергоэффективных зданий	17
5 Особенности монтажа и эксплуатации энергоэффективного инженерного оборудования зданий	23
5.1 Принудительная приточно-вытяжная вентиляция	23
5.2 Система тепловых насосов	26
5.3 Системы солнечной энергетики	29
6 Предварительные результаты мониторинга энергоэффективных зданий	30
6.1 Здание в г. Минске	30
6.2 Здание в г. Гродно	32
6.2 Здание в г. Могилеве	34
7 Выводы	37
Перечень используемых источников	39

Введение

Конструкция современных многоэтажных зданий сформировалась в процессе эволюции в течение тысячелетий [1]. Отопление, наиболее актуальная для человека система, в том или ином виде существовала еще в каменном веке. В Древнем Риме в I веке до н. э. уже существовало развитое отопительное устройство гипocaust, где воздух в помещении получал теплоту от полов, которые нагревались печными дымовыми газами, проходящими в подпольных полостях.

В 1777 году французский инженер М. Боннеман изобрёл и применил для обогрева инкубаторов первую водную систему отопления с естественной циркуляцией, основные принципы и инженерные решения которой нашли применение в отоплении жилищ тогда и применяются до сих пор.

В 1834 первой в России системой водяного отопления с естественной циркуляцией стала система горного инженера, профессора П. Г. Соболевского. В 1875 году появилась первая не только в России, но и в Западной Европе квартира с отдельной системой водяного отопления с использованием плоских отопительных приборов, сделанных в виде пилястр. Подогрев воды происходил в небольшом нагревателе, установленном в кухонном очаге.

Широкое внедрение систем центрального отопления началось в эпоху индустриализации СССР и сопутствующей ей урбанизации. В это время формируются основные черты систем центрального отопления, которые действуют в России по настоящее время.

Центральное отопление позволяло повысить эффективность использования топлива, улучшить экологическую обстановку в городах и избавить население от заботы об отоплении жилищ.

Окончательное внедрение центрального отопления многоквартирных домов произошло с началом массового жилищного строительства хрущёвок. Наряду с подключением домов к ТЭЦ и котельным предприятий, в новых жилых массивах возводились районные котельные. С середины 1960-х по начало 1990-х развитие систем отопления в СССР шло в направлении дальнейшей централизации. Небольшие котельные закрывались, а дома подключались к крупным котельным и ТЭЦ.

Насущной проблемой для современных зданий является экономия топлива при их эксплуатации. При этом следует иметь в виду, что, проектируя современные здания, мы определяем его эксплуатационные затраты на много лет вперед. Срок жизни современных зданий – не менее 100 лет. В течение жизненного цикла в квартирах проживает несколько поколений, причем каждое из них со своим представлением о комфорте и условиях. Стоимость ископаемых видов топлива, несмотря на конъюнктурные колебания, несомненно, будет возрастать. Поэтому нормативы, относящиеся к тепловой защите зданий и уровню потребления энергии при эксплуатации, не должны существенно опережать условия экономической целесообразности «Сегодня» и, в то же время, энергетические показатели здания должны иметь возможность изменяться через определенные промежутки времени, когда население сформирует, с учетом

экономических возможностей новые требования к энергетическим характеристикам зданий.

С этой точки зрения конструктивно рассматривают здание как развивающуюся систему, которая может приобретать новые потребительские качества в будущем. В таком случае на стадии проектирования и строительства имеет смысл говорить об целесообразном, с точки зрения дальнейшего развития, утеплении оболочки здания, считая, что снижение энергии на последующих этапах жизненного цикла будет достигнуто за счет совершенствования инженерного оборудования систем отопления и использования энергии из нетрадиционных источников.

Важным фактором создания конструктивной системы «развивающийся дом» является выполнение экспериментальных объектов с апробацией на них технических решений с использованием перспективных видов инженерного оборудования позволяющего заглянуть в будущее.

Проект ПРООН-ГЭФ обеспечил такую возможность, выполнив финансирование трех многоквартирных энергоэффективных зданий второго поколения, в которых впервые в Республике Беларусь в качестве основного инженерного оборудования использованы следующие системы:

- утилизации тепловой энергии вентиляционных выбросов;
- утилизации тепловой энергии стоков здания;
- использования в системе энергоснабжения энергии грунта и стоков сборного канализационного коллектора, применив тепловые насосы;
- использования солнечной энергии в системах отопления и горячего водоснабжения;
- фотоэлектрические батареи для выработки электрической энергии.

И если существующие в настоящее время системы жизнеобеспечения жилых зданий, такие как система отопления, горячего водоснабжения, ватерклозет формировались на протяжении столетий, то, благодаря выполненным экспериментальным объектам, можно существенно ускорить применение названных систем в качестве стандартных в жилых зданиях уже в следующем десятилетии.

Дополнение новыми нормами предполагалось выполнить на основе передового международного опыта, главным образом, стран ЕС.

Настоящий отчет базируется на анализе передового зарубежного опыта (стран ЕС), национальных ТНПА, разработанных в период 2012-2018 гг в области энергопотребления и энергоэффективности зданий, официальные отзывы и замечания на которые были представлены экспертами Проекта, отчетов международных и национальных экспертов Проекта. Для анализа рассмотрено 30 отчетов, более 30 национальных стандартов.

1 Шаг за шагом: от энергоэффективных зданий первого поколения к экспериментальным объектам проекта ПРООН-ГЭФ

Современные нормативные требования [2] предписывают возможность проектирования и строительства зданий, соответствующих по удельному потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию классам В, А и А+. Соответствующие показатели представлены в таблице 1.

Таблица 1 Классификация зданий по показателю удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию

Этажность здания	Значения удельного расхода для классов зданий, кВт·ч/м ²
Класс В	
1 - 3	91 - 65
4 - 6	52 - 35
7 и более	48 - 30
Класс А	
1 - 3	64 - 55
4 - 6	34 - 28
7 и более	30 - 24
Класс А ⁺	
1 - 3	менее 55
4 - 6	менее 28
7 и более	менее 24

При этом, если посмотреть на распределение тепловых потерь в многоэтажном здании, представленном на рис. 1, окажется, что около 60% тепловых потерь из здания приходится на вентиляцию, т.е., с теплым воздухом из зданий уходит больше теплоты, чем через наружные ограждающие конструкции.

Если посмотреть на общее распределение потребления тепловой энергии в здании, представленное на рис. 2, окажется, что современные здания, соответствующие нормативным требованиям 2009 г., потребляют тепловой энергии на горячее водоснабжение больше, чем на отопление. Энергоэффективные здания показывают перспективу снижения затрат энергии как на отопление, так и в системе горячего водоснабжения (ГВС).



Рисунок 1 Распределение потерь теплоты в стандартных жилых домах

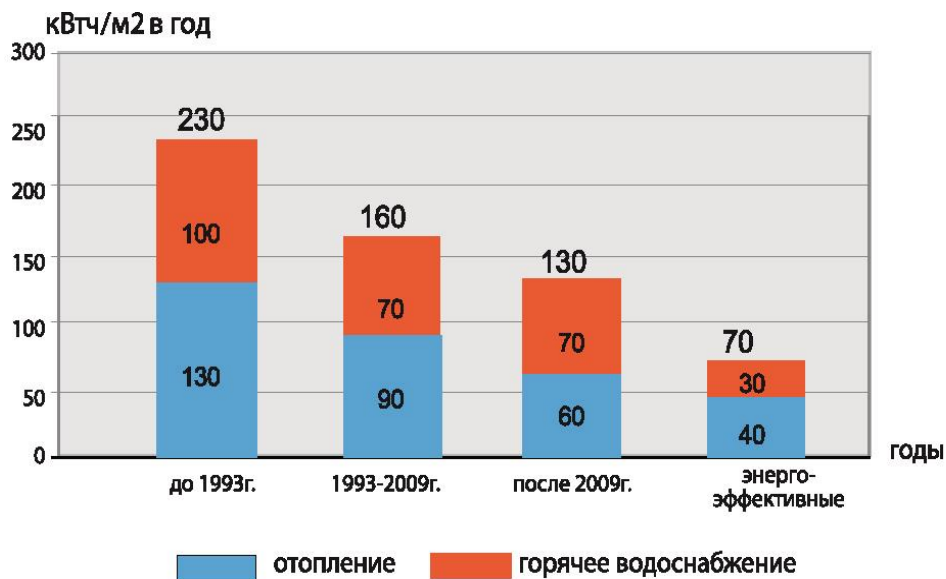


Рисунок 2 Суммарные удельные (на 1 м²) годовые расходы тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение жилых зданий

2 Энергоэффективные здания первого поколения

В первом поколении энергоэффективных зданий основной акцент был сделан на снижение потребления тепловой энергии на отопление. В стороне остались вопросы, связанные с потреблением энергии в системе горячего водоснабжения и генерацией тепловой энергии. Тем не менее уровень потребления тепловой энергии на отопление составил 30-35 кВт·ч/м² [3].

В проектах энергоэффективных зданий 1-го поколения, построенных в Республике Беларусь, впервые в странах СНГ были использованы:

- оптимальный уровень утепления;
- окна с сопротивлением теплопередаче больше единицы;
- система принудительной приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии удаляемого из помещения воздуха;
- программируемые системы управления вентиляцией и энергопотреблением на отоплении.

Первым типичным зданием, построенным в Беларуси в 2007 г. – был энергоэффективный 143-квартирный панельный дом серии 111-90 МАПМД по ул. Притыцкого 107 в г. Минске. По результатам эксплуатации в течение 10 лет достигнутый уровень потребления тепловой энергии на отопление для расчетных условий эксплуатации составил – 30 кВтч/м² в год. Вторым показательным зданием был индивидуальный 69-квартирный дом из мелкоштучных материалов в г. Гродно по ул. Дзержинского, где была возможность во многих узлах и деталях более тщательно и индивидуально подойти к проектированию. Результаты по потреблению тепловой энергии превзошли расчетные со снижением их на 3-4 кВтч/м². Причем, в отличие от других домов в Республике исполнение дома и эксплуатация полностью соответствовали заданным параметрам и оправдали показатели проекта.

К настоящему времени в стране построено аналогичных зданий общей площадью более 300 тыс. м².

По результатам проекта в 2009 г были подготовлены изменения действующих нормативов, в которых усилили требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций зданий, в том числе, на оконные конструкции и впервые ввели классификацию зданий по показателю удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию. На рис. 3 схематично приведена схема энергоэффективного здания первого поколения как энергетического объекта. На рисунке приведены инженерные системы здания и требования к различным элементам ограждающих конструкций, которые впоследствии вошли в нормативные документы.



Рисунок 3 Схема энергоэффективного здания первого поколения как энергетического объекта

3 Энергоэффективные здания второго поколения в проекте ПРООН-ГЭФ

Целью эксперимента по проектированию и строительству энергоэффективных зданий 2-го поколения была дальнейшая отработка перспективных инженерных решений, снижающих потребление энергоресурсов при эксплуатации зданий не только на отопление и вентиляцию, но и на горячее водоснабжение за счет систем обеспечивающих использование возобновляемых и полного использования вторичных источников энергии в здании. Если в зданиях первого поколения в системе вентиляции выполнялась утилизация тепловой энергии вентиляционных выбросов из зданий, то в зданиях второго поколения выполняется также утилизация тепловой энергии сточных вод.

При подготовке к проектированию зданий было принято решение отработать при проектировании многоквартирных зданий системы, обеспечивающие использование солнечной энергии, как фотоэлектрические батареи и водяные солнечные коллекторы с баком аккумулятором в системе горячего водоснабжения. Таким образом, в рамках Проекта было запланировано проектирование и строительство трех энергоэффективных зданий с различным набором дополнительного к стандартному набору оборудования.

В настоящее время завершено проектирование и строительство 3-х зданий [4].

Наиболее насыщено инженерным оборудованием энергоэффективное здание в г. Гродно по адресу ул. Держинского, 23. В г. Гродно построено 10-этажное 3-х секционное здание с несущими кирпичными стенами и наружными стенами из ячеистобетонных блоков. С целью достижения планируемого уровня потребления тепловой энергии в здании использованы следующие инженерные решения:

- принудительная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов;
- применение рекуперативного теплообменника – утилизатора тепловой энергии сточных вод;
- использование теплового насоса, позволяющего извлечь низко-потенциальную энергию канализационных стоков из сборного канализационного коллектора:
- тепловой насос, использующий низкопотенциальную энергию грунта, где в качестве геотермического зонда используются фундаментные сваи здания;
- солнечные PV-панели – для частичной компенсации дополнительных затрат электрической энергии.

В таблице 2 приведены теплоэнергетические показатели здания в сравнении со стандартным, соответствующим классу В по показателю потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию. По сравнению со стандартным зданием при проектировании предполагалось достигнуть снижения потребления тепловой энергии на отопление в 2,5 раза, а общее энергопотребление почти в 2 раза. Впервые в отечественной практике в системах энергоснабжения здания использованы:

- рекуперативный теплообменник – утилизатор тепловой энергии сточных вод;

- тепловой насос, позволяющий извлечь низкопотенциальную энергию канализационных стоков из сборного канализационного коллектора;
- тепловой насос, использующий низкопотенциальную энергию грунта, где в качестве геотермического зонда используются фундаментные сваи здания;
- солнечные PV-панели – для частичной компенсации дополнительных затрат электрической энергии.

Отработка указанных технических решений с последующим использованием в массовом строительстве обеспечит огромную, до 50%, экономиюкупаемых за рубежом энергоресурсов при эксплуатации жилых зданий.

Таблица 2 Энергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Гродно (10-этажное 120-квартирное здание с отапливаемой площадью 10 335 м²)

Удельное потребление тепловой энергии на отопление, q_0 , кВтч/(м ² год)		Общее годовое потребление тепловой энергии на отопление, Q_1 , МВтч/год		Удельное потребление тепловой энергии на ГВС, Q_2 , кВтч/(м ² год)		Общее годовое потребление тепловой энергии на ГВС, Q_2 , МВтч/год		Общее годовое потребление тепловой энергии, Q_0 , МВтч/год	
Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное	Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное	Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное	Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное	Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное
42	15,5	397	160	60	35	413	278	810	438

Следует учесть, что дополнительная экономия энергии, более 20%, будет достигнута применением теплового насоса с эффективностью преобразования тепловой энергии (COP), равной 3 и более при соотношении себестоимостей, равной 2,5, что даст общее снижение энергозатрат (по отношению к традиционному источнику) при эксплуатации здания около 60%. Солнечный коллектор площадью 412 м² при эффективности использования солнечной энергии 15% даст 63000 кВтч электрической энергии в год при количестве электрической энергии, необходимой для работы теплового насоса, равной 150000 кВтч, что обеспечит 43% ее замещения. Таким образом, эффективное использование теплового насоса даст возможность снижения потребления энергии традиционного источника до 24% от исходного уровня.

Очень характерным является также факт, что с учетом опыта проектирования первого энергоэффективного здания в Гродно, в целях повышения теплоэнергетической экономичности здания, архитектура дома решена с выпрямлением фасада и исключением многочисленных углов и лоджий, повсеместно характерных для обычных домов.

На рисунке 4 представлена схема системы инженерного обеспечения этого здания.

На рис. 5 представлена фотография построенного здания. Фотоэлектрические панели, часть которых расположена на южном торце здания, придают ему особую архитектурную выразительность. Символично, что на заднем плане видно энергоэффективное жилое здание первого поколения, построенное в Гродно в 2009 г. Лоджии на фасаде здания выступают за пределы отапливаемого контура здания, что

уменьшает площадь тепловых потерь через ограждающие конструкции и общие тепловые потери.

По показателю удельного потребления тепловой энергии на отопление здание должно соответствовать классу А+ по отечественной классификации и неофициальному Европейскому показателю для «Пассивного дома».

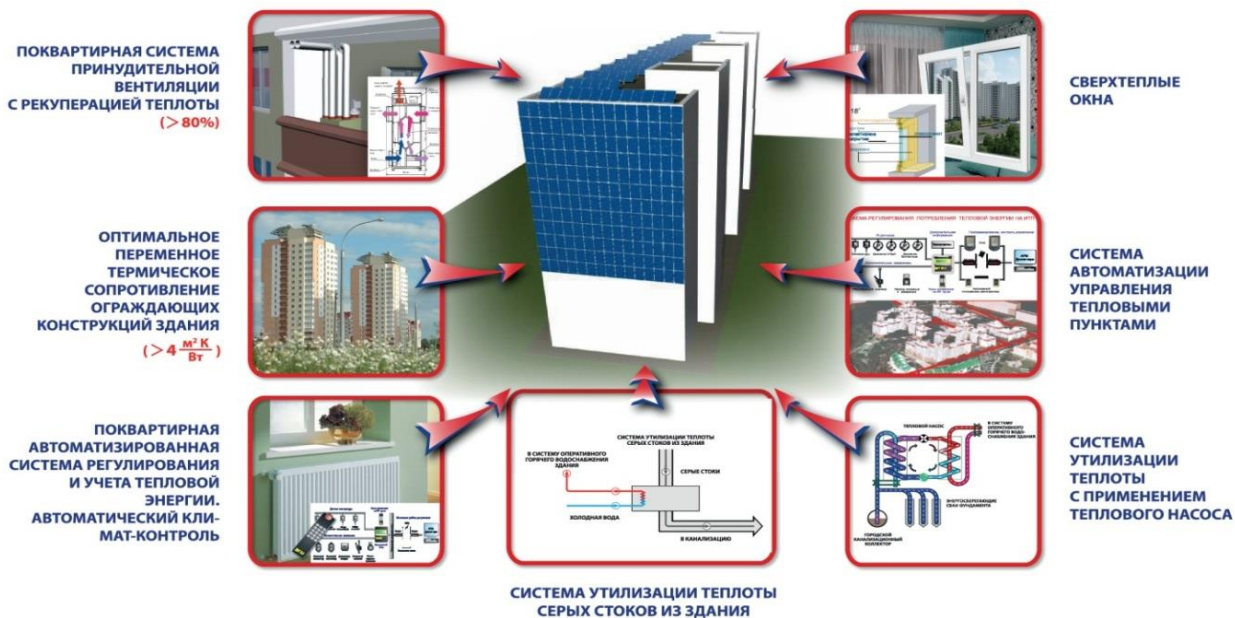


Рисунок 4 Схема инженерного обеспечения энергоэффективного здания в г. Гродно



Рисунок 5 Энергоэффективное здание второго поколения в г. Гродно

В г. Могилеве построено 10-этажное 4-х секционное панельное здание со скрытым сборным каркасом (таблица 3). В дополнение к стандартным техническим и проектным решениям панельных зданий данной серии в энергоэффективном здании предполагаются следующие дополнения:

- принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов;
- система утилизации тепловой энергии сточных вод;
- солнечный коллектор и бак-аккумулятор в системе подготовки горячей воды.

Система утилизации тепловой энергии сточных вод по расчету должна экономить до 30% энергии на горячем водоснабжении здания.

Солнечный коллектор площадью 400 м² на крыше здания с проектной эффективностью утилизации солнечной энергии, равной 50%, обеспечит дополнительное поступление в систему горячего водоснабжения в объеме 200 тыс. кВтч. Общее потребление энергии в системе ГВС составит в таком случае, 430 кВтч/год или 45%.

Расчетное потребление тепловой энергии не должно превысить:

- на отопление 23 кВтч/м² за отопительный сезон;
- на горячее водоснабжение – 25 кВтч/м² за год.

По показателю удельного потребления тепловой энергии на отопление здание должно соответствовать классу А+ по отечественной классификации. Общее потребление тепловой энергии при эксплуатации здания не должно превысить 50% от потребления стандартных зданий.

Таблица 3 Энергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Могилеве (10-этажное 160-квартирное здание с отапливаемой площадью 13 251 м²)

Удельное потребление тепловой энергии на отопление, q ₀ , кВтч/(м ² год)		Общее годовое потребление тепловой энергии на отопление, Q ₁ , МВтч/год		Удельное потребление тепловой энергии на ГВС, Q ₂ , кВтч/(м ² год)		Общее годовое потребление тепловой энергии на ГВС, Q ₂ , МВтч/год		Общее годовое потребление тепловой энергии, Q ₀ , МВтч/год	
Обычное	Энергоэффективное	Обычное	Энергоэффективное	Обычное	Энергоэффективное	Обычное	Энергоэффективное	Обычное	Энергоэффективное
45	25	596	331	60	25	800	360	1396	691

С точки зрения объемно-планировочных решений здание в г. Могилеве (см. фотографию на рис 6) обладает меньшей компактностью, чем здание в г. Гродно, т. к. лоджии находятся в отапливаемом контуре и это обстоятельство увеличивает площадь ограждающих конструкций здания.



Рисунок 6 Фотография энергоэффективного здания в г. Могилеве

На рис. 7 приведена фотография батареи солнечных коллекторов на крыше здания, а на рис. 8 – фотография бака-аккумулятора емкостью 14 м³ в подвале здания.



Рисунок 7 Фотография батареи солнечных коллекторов



Рисунок 8 Фотография бака-аккумулятора

В г. Минске построен типовой крупнопанельный 19-этажный жилой дом серии МАПИД-111-90 на 140 квартир с одним подъездом. В дополнение к стандартным техническим и проектным решениям панельных зданий данной серии в энергоэффективном здании выполнены следующие дополнения:

- принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов;
- система утилизации тепловой энергии сточных вод.

В таблице 4 приведены расчетные теплоэнергетические характеристики здания. Общее энергопотребление здания по расчету составляет 65% от потребления тепловой энергии стандартного здания. Тем не менее, по показателю удельного потребления тепловой энергии на отопление здание должно соответствовать классу А+ по отечественной классификации.

Таблица 4 Энергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Минске (10-этажное 140-квартирное жилое здание с отапливаемой площадью 10 000 м²)

Удельное потребление тепловой энергии на отопление, q_0 , кВтч/(м ² год)		Общее годовое потребление тепловой энергии на отопление, Q_1 , МВтч/год		Удельное потребление тепловой энергии на ГВС, Q_2 , кВтч/(м ² год)		Общее годовое потребление тепловой энергии на ГВС, Q_2 , МВтч/год		Общее годовое потребление тепловой энергии, Q_0 , МВтч/год	
Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное	Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное	Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное	Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное	Обыч-ное	Энерго-эффек-тивное
45	25	450	250	60	40	600	400	1050	650

На рисунке 9 приведено энергоэффективное здание в г. Минске. С точки зрения объемно-планировочных решений здание в г. Минске обладает меньшей компактностью, чем здание в г. Гродно, незадымляемая лестница, выполненная из соображений пожарной безопасности, находится в отапливаемом контуре и это обстоятельство увеличивает площадь ограждающих конструкций здания.

На рис. 10 приведена фотография системы утилизации тепловой энергии сточных вод в здании. Она состоит из 4 включенных последовательно модулей и расположена в подвале здания. Следует отметить, что системы утилизации сточных вод такой же конструкции имеются во всех трех зданиях. На утилизацию идут сточные воды из ванной комнаты, для чего в каждой квартире имеется два канализационных стояка, как это показано на фотографии рис. 11. В левый стояк поступают стоки из кухни и туалета, во второй – из ванной комнаты, а затем на утилизатор.



Рисунок 9 Энергоэффективное здание в г. Минске при сдаче в эксплуатацию



Рисунок 10 Фотография системы утилизации тепловой энергии сточных вод

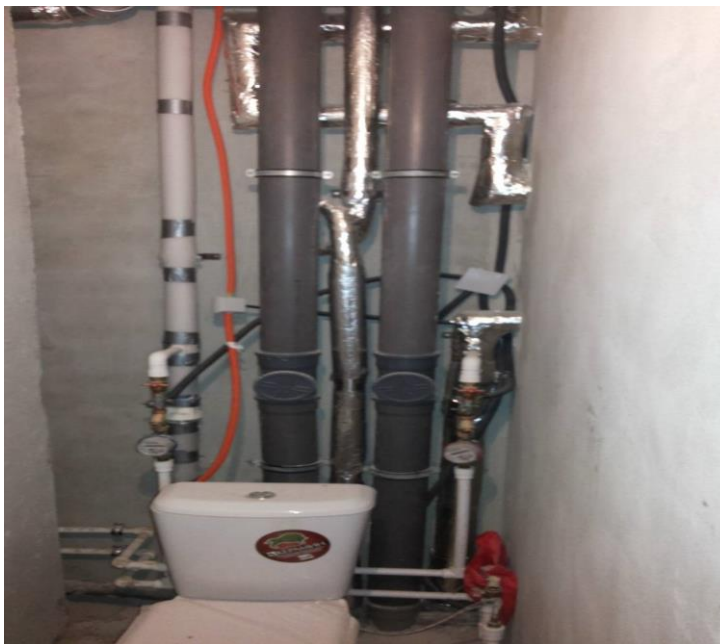


Рисунок 11 Фотография санузла с двумя канализационными стояками

4 Особенности возведения и эксплуатации ограждающих конструкций энергоэффективных зданий

Ограждающие конструкции энергоэффективных зданий соответствуют требованиям действующих нормативов. В Гродно приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен равно $4,2 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ что выше требования нормативов, $3,2 \text{ м}^2\text{К/Вт}$.

В Минске и Могилеве здание выполнено по технологии КПД, т.е., наружные стены собраны из трехслойных железобетонных панелей в которых внутренний и наружный слой – железобетон, а внутренний слой – пенополистирольный пенопласт.

В Гродно реализован метод заполнения наружных стен из газосиликата с дополнительным утеплением минеральной плитой.

Окна во всех зданиях пластиковые, соответствующие по своим свойствам требованиям нормативов, с сопротивлением теплопередаче, равным $1 \text{ м}^2\text{К/Вт}$.

Ни рис. 12 представлен фрагмент здания в г. Минске. Поскольку здание собирается из отдельных элементов, выполняемых в заводских условиях, залогом качества является строгое выполнение условий формования изделий и технологии монтажа. Монтаж конструкций здания выполняется качественно. Стеновые панели были выполнены в заданных габаритах. Отсутствуют тепловые мосты вследствие некачественного изготовления. Монтаж здания выполняется в соответствии с проектной документацией. Качественное изготовление изделий и правильный монтаж дают уверенность в обеспечении заданных по проекту теплотехнических характеристик оболочки здания. На увеличенном фрагменте фасада здания можно убедиться в качественно выполненном монтаже. Стыки панелей имеют одинаковую ширину и параллельно расположены. Наружная поверхность подготовлена к покраске.



Рисунок 12 Фрагмент фасада здание в г. Минске на стадии строительства

При строительстве первого энергоэффективного здания в г. Минске нарушалась технология изготовления изделий и в области обрамления окон создавались тепловые мосты вследствие затекания бетонной смеси и появления бетонных перемычек. По опыту строительства технология работ на предприятии при изготовлении панелей для энергоэффективного здания в микрорайоне Лошица была улучшена. На рис. 13 представлена фотография фрагмента обрамления окна в стеновой панели. На фрагменте можно отметить слой утеплителя без бетонной заливки.

На рис. 14 представлен тепловизионный снимок фрагмента фасада здания. Стыки панелей и обрамление окон не создают заметных мостиков холода. В то же время существенно отличается температура по-разному окрашенных участков здания, что вызвано остаточными явлениями солнечного нагрева. Можно отметить также слишком высокую температуру в области правой верхней лоджии, что вызвано, по – видимому открытой балконной дверью.



Рисунок 13 Фотография фрагмента обрамления окна в стеновой панели

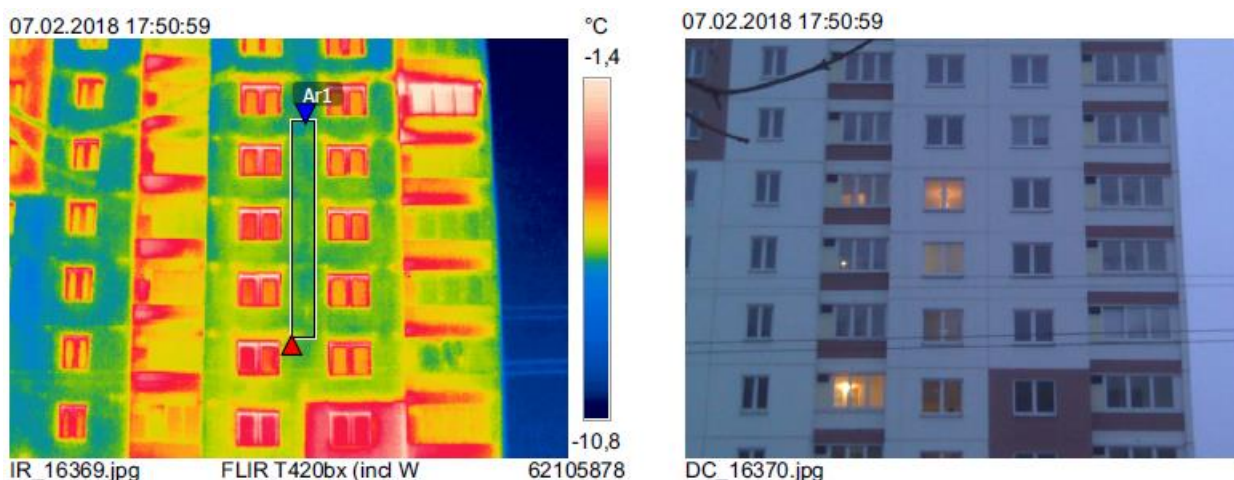


Рисунок 14 Тепловизионный снимок фрагмента фасада

В Могилеве при изготовлении изделий и монтаже здания возникли проблемы, не устранив которые можно получить увеличение до 25% тепловых потерь через оболочку здания. Основная проблема возникает из-за мостиков холода в области проемов для установки оконных и дверных конструкций и слишком узких стыков панелей, которые не позволяют качественно утеплить стыки. На рис. 15 представлен фрагмент стены, на котором наглядно показано изменение ширины стыков между панелями. На некоторых участках она так мала, что не позволит тщательно заделать стык и приведет к дополнительным потерям теплоты, что станет очевидным при эксплуатации здания.

При заливке стеновых панелей с оконными проемами и балконной дверью на начальном этапе строительства были допущены ошибки в технологии, которые являются, по-видимому, типичными для заводов КПД. Практически везде в обрамлении окон в стеновых панелях линейные мостики холода, создаваемые бетонными перемычками, образованными при формовании изделий, как это видно на фотографии рис. 16. Это явление обусловлено нарушением технологии изготовления панелей, при которой в области обрамления окон возникали участки, залитые бетоном. Аналогичные можно отметить в области стыков панелей. После сделанных на стадии авторского надзора замечаний данная ошибка была устранена.



Рисунок 15 Фотография фрагмента стены здания в г. Могилеве



Рисунок 16 Бетонные перемычки, образованные при формовании изделий

Выполнение тепловизионной съемки здания в отопительном сезоне 2017-2018 г. подтвердило наличие тепловых мостов в области стыков здания. На рис.17 представлен тепловизионный снимок фрагмента здания. Рядом - фотография фрагмента.

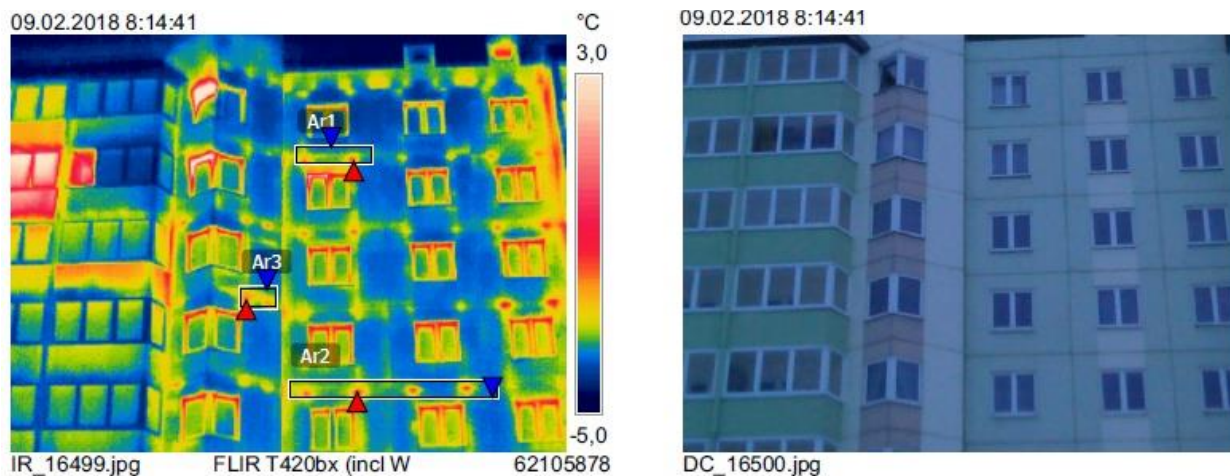


Рисунок 17 Тепловизионный снимок фрагмента

На рис. 18 представлено энергоэффективное здание в г. Гродно на стадии строительства. При строительстве зданий явных ошибок в возведении строительных конструкций, которые могли бы привести к увеличению удельного потребления тепловой энергии при эксплуатации, замечено не было. В то же время, использование автоклавного пенобетона при строительстве зданий требует 2–3 года для ухода из стен избыточной влажности и может привести к повышенным теплотерям из здания на начальной стадии.



Рисунок 18 Здание в г. Гродно на стадии строительства

При строительстве зданий явных ошибок в возведении строительных конструкций, которые могли бы привести к увеличению удельного потребления тепловой энергии при эксплуатации, замечено не было. В то же время, использование автоклавного пенобетона при строительстве зданий требует 2-3 лет для ухода из стен избыточной влажности и может привести к повышенным теплотерям из здания на начальной стадии.

На рисунке 19 приведен фрагмент тепловизионной съемки здания в отопительном сезоне 2017–2018 г. На стенах здания отсутствуют термические неоднородности. В то же время, можно отметить повышенную температуру воздуха в районе лоджий. Это обстоятельство свидетельствует о том, что балконные двери в квартирах во время съемки, по-видимому, открыты. Если это систематическая особенность эксплуатации здания, проектные значения удельного значения потребления тепловой энергии на отопление здания в процессе эксплуатации могут быть не достигнуты.

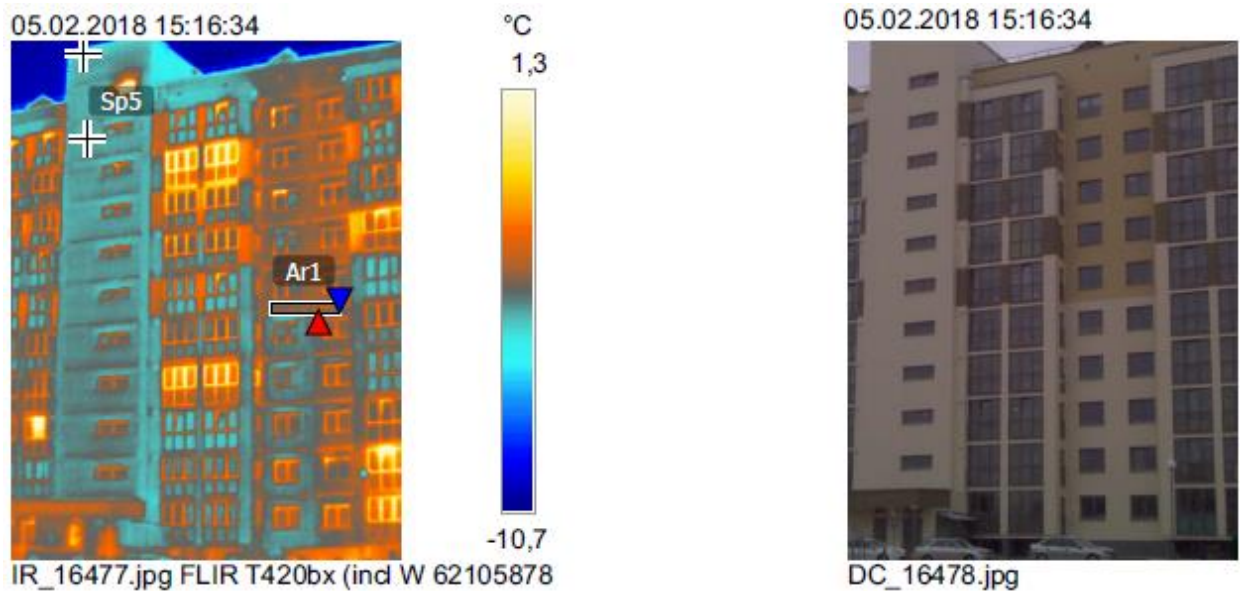


Рисунок 19 Фрагмент тепловизионной съемки здания в г. Гродно

Поскольку нормативная база Республики Беларусь допускает сдачу зданий в эксплуатацию с черновой отделкой, общей проблемой начальной стадии эксплуатации жилых зданий является достаточно длительный процесс отделки квартир и их заселения. Отсутствие запланированного при проектировании количества жильцов уменьшает мощность бытовых тепловыделений в здании и приводит к увеличенному по сравнению с проектным уровню потребления тепловой энергии на отопление.

Особую проблему создает вентиляция квартир энергоэффективных зданий. Поскольку система принудительной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов потребляет при своей работе электрическую энергию, вплоть до своего заселения жители отключают вентиляционные установки. Это обстоятельство минимизирует уровень воздухообмена в квартирах, поскольку механическая система приточно-вытяжной вентиляции квартир является основной. Канал свободной вентиляции в санузле открывается только при включении освещения. Поэтому остается неконтролируемая свободная вентиляция через приточный и вытяжной каналы вентиляционной установки.

В то же время, в начальной стадии эксплуатации целесообразно устанавливать повышенный уровень воздухообмена и температуры в квартирах для удаления из квартир и наружных ограждающих конструкций строительной влаги.

Мониторинг энергоэффективных зданий показал, что указанное обстоятельство привело к неконтролируемому выпадению конденсата в вентиляционных установках и повышенному уровню влажности в незаселенных квартирах. Особенно остро проблема выявилась в энергоэффективном здании г. Гродно ограждающие конструкции которого выполнены из автоклавного пенобетона.

Данная проблема может быть решена корректировкой нормативной базы. В соответствующих нормативах необходимо установить требование обязательного включения на повышенный режим всех без исключения вентиляционных установок в квартирах сразу после сдачи дома в эксплуатацию. Одновременно система регулирования теплоснабжения здания должна включить систему отопления на повышенный режим работы.

5 Особенности монтажа и эксплуатации энергоэффективного инженерного оборудования зданий

5.1 Принудительная приточно-вытяжная вентиляция

В энергоэффективных зданиях, как уже было описано ранее, используется принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов. В качестве утилизаторов тепловой энергии используют теплообменник регенеративного типа с вращающимся ротором. Паспортная эффективность теплообменника составляет 80%, что достаточно для достижения проектных параметров энергоэффективности в зданиях. Предполагается, что перенос влаги из вытяжного в приточный канал исключает проблему конденсации влаги, поэтому в проектах зданий отсутствуют каналы для отвода конденсированной влаги из теплообменника. Вентиляционные установки в гг. Минск и Гродно находятся в лоджиях. В Могилеве для их установки предусмотрено отдельное помещение, примыкающее к квартире. Расположение оборудования, установленного на лоджии, приведено на рис. 20.



Рисунок 10 Фотография вентиляционной установки на лоджии

Работа установки полностью автоматизирована. Режимы работы задаются программатором, который одновременно управляет тепловым комфортом в квартире.

Функциональная схема систем отопления и вентиляции приведена на рисунке 21. Наружный воздух через заборные решетки в ограждении лоджии поступает в квартирную приточно-вытяжную установку. В приточно-вытяжной установке холодный наружный воздух под действием приточного вентилятора проходит очистку в приточном фильтре и в рекуперационном теплообменнике подогревается теплом удаляемого из квартиры воздуха.

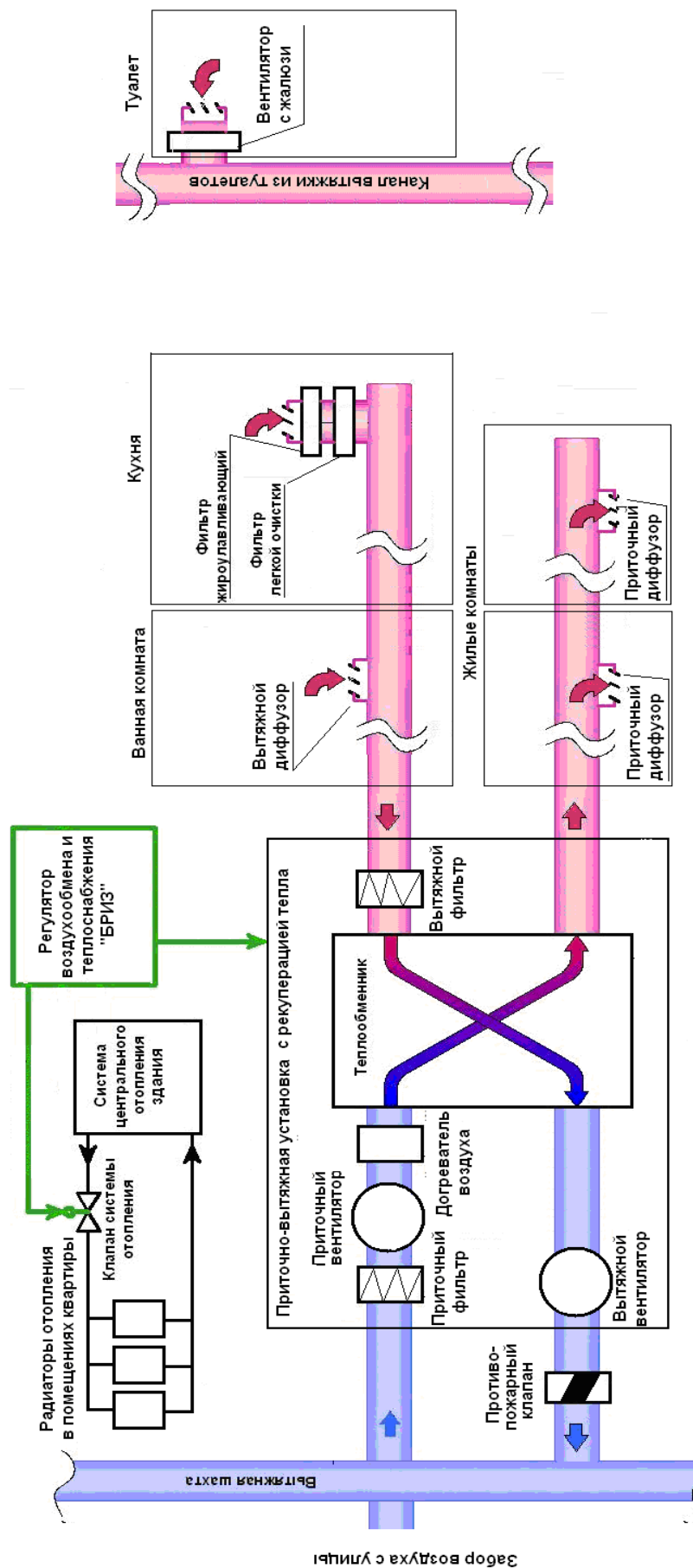


Рисунок 21 Функциональная схема систем отопления и вентиляции

Для вентиляции туалета предназначен отдельный вентиляционный канал, в котором установлен вентилятор с автоматическими жалюзи. При включении света в туалете вентилятор включается и открываются жалюзи, обеспечивая вентиляцию туалета. После выключения света в туалете отключается вентилятор и через 1-2 минуты закрываются жалюзи.

Регулятор контролирует температуры приточного и вытяжного воздуха, а также воздуха поступающего и удаляемого из квартиры. Регулятор управляет скоростью приточного и вытяжного вентиляторов согласно заданного режима. Регулятор состоит из терминала, расположенного в прихожей, блока управления, расположенного на лоджии и пульта дистанционного управления. В случае, если фактическая температура удаляемого из квартиры воздуха превышает заданную Вами температуру, регулятор закрывает клапан системы отопления.

Для обеспечения требуемого санитарными нормами воздухообмена и снижения расхода тепловой энергии на вентиляцию система должна эксплуатироваться в течение отопительного периода.

Открывание окон при работающей системе резко снижается эффективность системы, так как часть теплого воздуха удаляется из квартиры минуя теплообменник. В межотопительный период система эксплуатируется по усмотрению жильца.

В летний период при наличии в квартирах индивидуальных кондиционеров использование системы обеспечивает возврат холода и требуемый воздухообмен, что благоприятно сказывается на микроклимате в квартире в отличие от случая, когда полностью закрываются окна и не происходит обновление воздуха.

Перед началом эксплуатации здания с жителями трех энергоэффективных зданий была проведена работа по ознакомлению с целесообразностью использования системы и обучению работе с регулятором. В итоге, вызовов со стороны жильцов на объекты практически нет. В заселенных квартирах системы включены и жители активно используют возможности системы по управлению режимами воздухообмена и температуры воздуха в квартирах. На рисунках 22 и 23 приведены, соответственно, гистограммы распределения температуры и воздухообмена в квартирах, установленные после заселения жителями. Если при отладке систем была установлена температура воздуха 18 градусов Цельсия, а уровень воздухообмена – на второй ступени, то гистограммы убеждают в активной работе жителей с системой.

При выполнении строительно-монтажных работ в квартирах системы необходимо отключить для обеспечения чистоты приточного и вытяжного фильтров.

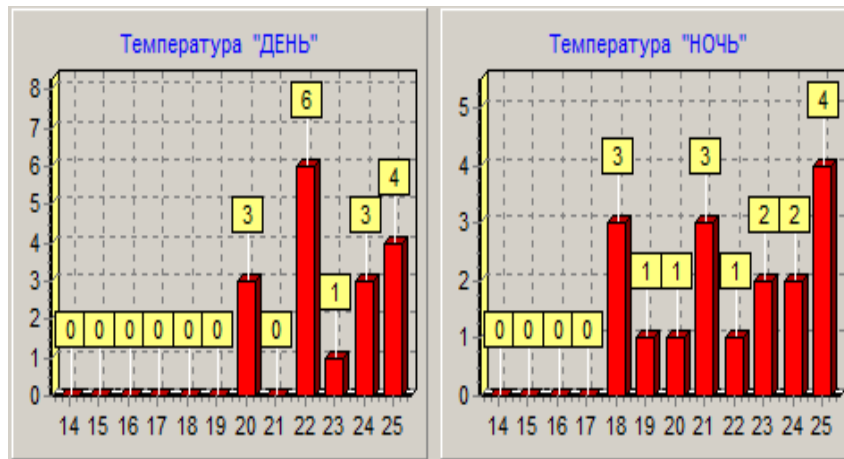


Рисунок 22 Распределение температуры воздуха в квартирах, установленное жителями

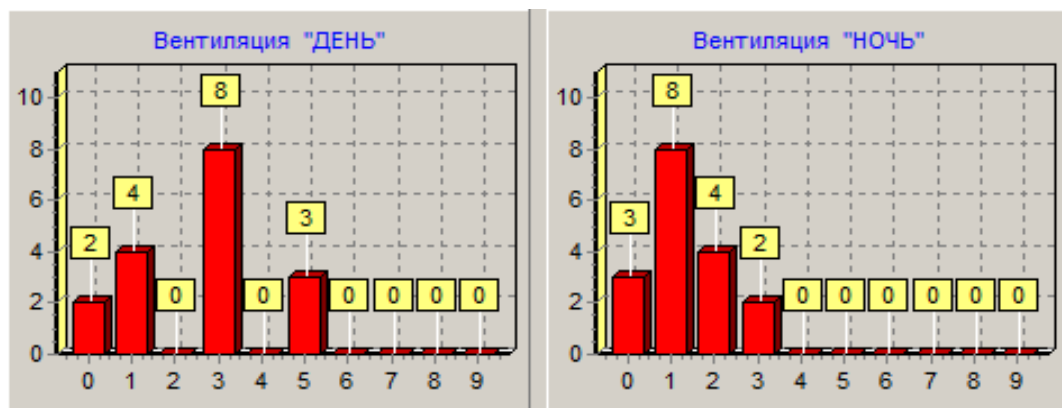


Рисунок 23 Распределение уровня воздухообмена в квартирах, установленное жителями

5.2 Система тепловых насосов

В системе энергоснабжения энергоэффективного здания в г. Гродно использовано два тепловых насоса:

- с получением низкопотенциальной энергии от сборного канализационного коллектора, расчетная мощность 120 кВт;
- от фундаментных свай здания, расчетная мощность 15 кВт.

В первом для съема низкопотенциальной энергии между двумя ближайшими к зданию канализационными колодцами в коллектор была установлена теплообменная вставка, выполненная из нержавеющей стали. Принципиальная схема системы съема низкопотенциальной энергии представлена на рис. 24. Теплоноситель циркулирует в нижней части теплообменной части коллектора, нагреваясь от стоков и передает энергию на испаритель теплового насоса, остывает и возвращается ко вставке, замыкая контур циркуляции.

На рис. 25 представлен эпизод монтажа теплообменной вставки в городской канализационный коллектор.

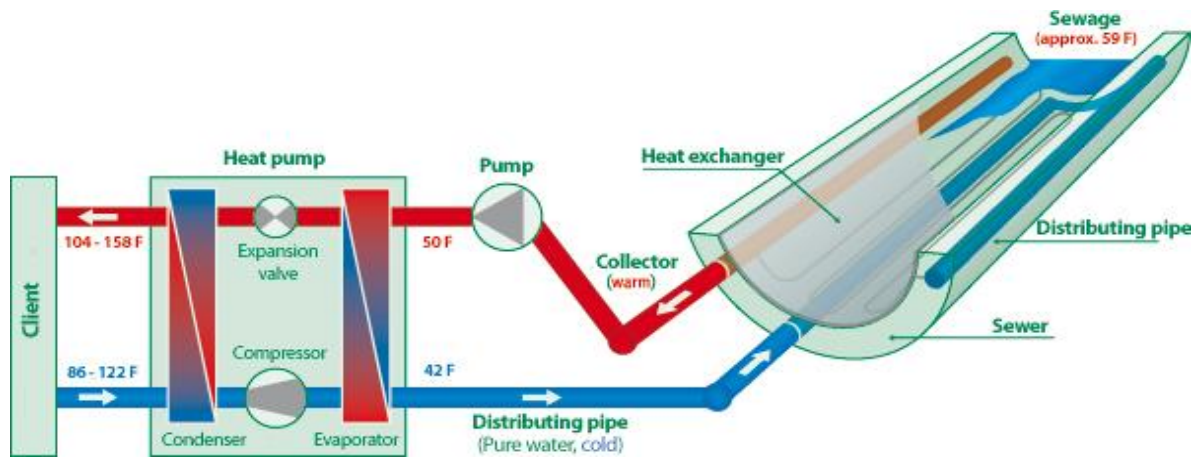


Рисунок 24 Принципиальная схема системы съема низкопотенциальной энергии



Рисунок 25 Монтаж теплообменной вставки в городской канализационный коллектор

На рис. 26 представлена схема съема энергии с фундаментных свай здания. Всего выбрано 32 сваи с расстоянием между ними, равным 6 м. Такое расстояние позволяет избежать опасность замерзания грунта возле свай. На рис. 27 представлена фотография, иллюстрирующая устройство энергетической сваи на стадии монтажа.

На рис. 28 представлены значения температуры грунта по глубине свай до и после включения теплового насоса. Данные, приведенные на рисунке демонстрируют отсутствие опасности замерзания грунта.

Проблем при монтаже и отладке систем тепловых насосов не возникало. Системы предполагается обслуживать специализированными организациями.

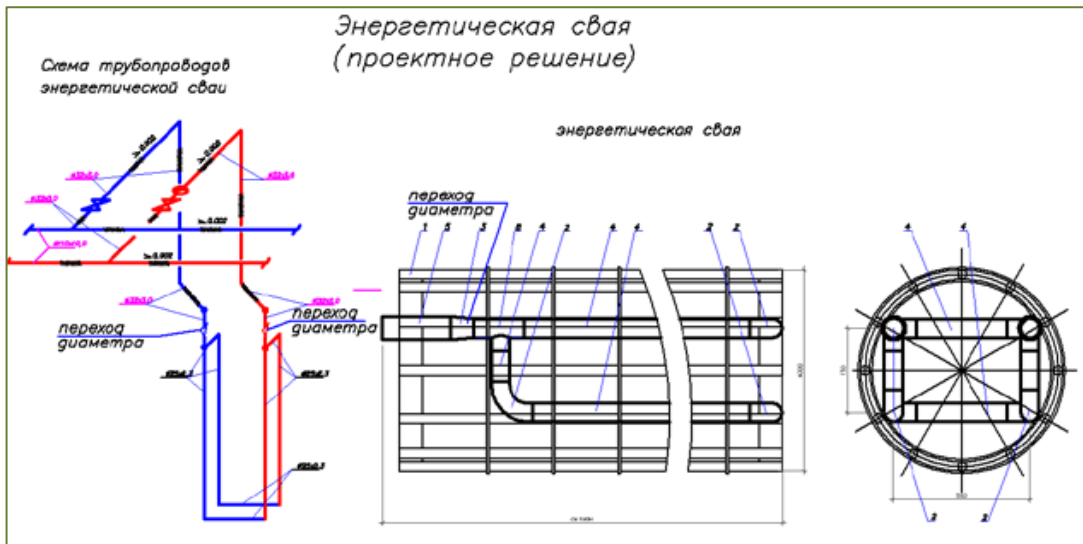


Рисунок 26 Схема съема энергии с фундаментных свай здания



Рисунок 27 Устройство энергетической сваи на стадии монтажа

Свая 2		Свая 1		Свая 12		Глубина установки датчика, м
Датчик	Показание	Датчик	Показание	Датчик	Показание	
1	8 С	1	4 С	1	4 С	1
2	9 С	2	4 С	2	5 С	2
3	10 С	3	4 С	3	5 С	3
4	11 С	4	4 С	4	5 С	4
5	11 С	5	5 С	5	5 С	5
6	11 С	6	5 С	6	5 С	6
7	11 С	7	5 С	7	5 С	7
8	10 С	8	5 С	8	5 С	8
9	10 С	9	5 С	9		9
10	10 С	10	4 С	10		10
11		11	5 С	11		11
12		12	5 С	12		12

При отсутствии циркуляции теплоносителя

С циркуляцией теплоносителя

Рисунок 28 Значения температуры грунта по глубине свай до и после включения теплового насоса.

5.3 Системы солнечной энергетики

Монтаж и наладка систем солнечной энергетики – фотоэлектрической системы и солнечного коллектора – не выявил проблемных моментов. Основные вопросы на стадии авторского надзора относились к мелким недоработкам.

6 Предварительные результаты мониторинга энергоэффективных зданий

6.1 Здание в г. Минске

В таблице 5 приведены результаты мониторинга работы энергоэффективных систем здания в г. Минске в отопительном сезоне 2017–2018 гг. Отопление было включено с 7 октября 2017 г. Данные по потреблению энергии в здании получены по конец марта 2018 г.

При полной заселенности в здании должно проживать около 450 человек. Рассчитывая количество жителей по потреблению горячей воды, в расчете 70 л/чел, получили заселенность здания на начало апреля 115 человек. При этом из таблицы можно сделать вывод, что заселенность здания увеличивается, в среднем, на 10–15 человек в месяц. Таким образом, режим потребления энергии на отопление здания еще не установился, что не дает возможности использовать двухэтапную процедуру пересчета данных по удельному потреблению тепловой энергии на отопление для расчетных условий. Для расчета этого показателя для пилотных энергоэффективных зданий использовалась упрощенная методика измерений, описанная в пособии по мониторингу энергоэффективных зданий.

В силу слабой заселенности здания (около 25%) потребление тепловой энергии на горячее водоснабжение составляло около 15% затрат тепловой энергии на отопление.

Таблица 5 Потребление энергии в здании г. Минска

2017– 2018 гг.	Потребление теплоты, Гкал			Потребление воды, м ³		Число жителей
	общий	на отопл	на ГВС	холодная	горячая	
октябрь	44,41	35,92	8,49	266,63	194	90
ноябрь	62,91	52,89	10,02	302,73	248	115
декабрь	76,26	66,14	10,12	263,8	237	110
январь	95,7	83,6	12,3	329,71	273	126
февраль	90,02	78,35	11,67	292,03	296	136
март	84,18	71,6	12,6	278,49	251	115
апрель	35,99	17,93	18,6	155,76	340	338
Итого	489	406	84	1889,15	1839	147

В таблице 6 представлены результаты обработки полученной информации по упрощенной методике [5]. Средняя температура воздуха в здании, с учетом расположения датчиков температуры в квартирах, составляет около 21°C. Фактические удельные показатели потребления тепловой энергии на отопление составляют за этот период 45,2 кВтч/м² за отопительный сезон.

В то же время, пересчет показаний счетчика на расчетные условия эксплуатации, а именно: 18°C в здании, 3740 градусосуток отопительного сезона, полная заселенность, дают расчетное удельное потребление 20,5 кВтч/м² в год при температуре воздуха в здании 21,5°C (среднее значение) в процессе эксплуатации, что практически совпадает с проектным значением, равным 23 кВтч/м² в год.

Если учесть, что при малой заселенности (118 вместо 450 человек) мощность бытовых тепловыделений в здании составит 7,7 вместо нормы, составляющей 30 кВтч/(м²чел) в год и из цифры 45 вычесть недостающую величину 22,3 кВтч/(м²*чел) в год, получим хорошее совпадение данных, полученных при эксплуатации здания и для расчетных значений. Таким образом, предварительные данные мониторинга энергоэффективного здания в Минске подтверждают рассчитанные при выполнении проекта данные удельного потребления тепловой энергии на отопление здания.

Таблица 6 Результаты расчетов энергетических характеристик здания в г. Минске для различной предполагаемой температуры воздуха в помещениях

Отопительный сезон 2017-2018 гг	Средне- месячная температура наружного. воздуха	Фактическое потребление тепловой энергии на отопление	Коэффициент тепловых потерь, f1, Вт/(м ² *К), и соответствующее удельное потребление тепловой энергии на отопление за год для расчетных условий эксплуатации, кВтч/м ²			
			Т _{вн} =18°C	Т _{вн} =20°C	Т _{вн} =22°C	Т _{вн} =24°C
месяц	°C	кВтч/м ²				
октябрь	7,04	4,1	0,764 36,1	0,584 25,9	0,506 18,5	0,446 12,7
ноябрь	3,25	6,1	0,677 28,7	0,596 21,7	0,532 16,2	0,481 11,7
декабрь	0,30	7,6	0,662 27,9	0,595 22	0,540	0,494
январь	-5,60	9,7	0,70 31	0,64 25,6	0,59	0,55
февраль	-4,60	9,1	0,64 20,2	0,59 16,3	0,55 13	0,51 10,1
март	0	8,3	0,7 31	0,63 25	0,58 20	0,53 16
апрель	6,00	2,09	0,4 -0,4	0,34 16,4	0,3 13,2	0,26 10,8
Среднемесячное	0,18		0,69 30,25	0,62 24,2	0,57 19,1	0,52 14,9
Суммарное		45,2				

Следует отметить, что коэффициент корреляции данных изменения наружной температуры и изменения потребленной для отопления энергии, рассчитанный по формуле:

$$K = \frac{\sum \Delta T \cdot \Delta q}{(\sum \Delta T^2 * \sum \Delta q^2)^{0,5}}$$

равен значению 0,84, что является достаточно низкой величиной. Это может быть вызвано последовательным заселением здания, что постоянно изменяет режим его эксплуатации. Это обстоятельство вызывает также обеспокоенность качеством регулирования подачи теплоносителя в здание. .

При таком значении коэффициента корреляции использование двухступенчатой процедуры [6] с пересчетом коэффициента удельных теплопотерь для определения удельного потребления тепловой энергии для расчетных условий нецелесообразно, т. к. приведет к значительной погрешности в результате. При функционировании здания в стационарном режиме значение коэффициента корреляции этих величин составляет более 0,95.

6.2 Здание в г. Гродно

В таблице 7 приведены результаты мониторинга параметров энергоэффективного здания в г. Гродно в отопительном сезоне 2017–2018 г. Отопление в период с 7 октября по конец декабря на 80% покрывалось работой тепловых насосов. Средняя температура воздуха в здании, с учетом расположения датчиков температуры в квартирах, составляет 22°C.

В силу слабой заселенности здания (около 30%) потребление тепловой энергии на горячее водоснабжение составляло менее 25% затрат тепловой энергии на отопление.

Для работы теплового насоса было израсходовано 65 410 кВтч электрической энергии, из них 10 581 кВтч, т.е. около 20% было покрыто работой фотоэлектрической системы.

Тепловой насос выработал при этом 180,8 Гкал (240 451 кВтч) тепловой энергии. Соотношение тепловой энергии к затраченной электрической равно 3,3 при соотношении себестоимостей выработки электрической энергии к тепловой, равной 2,5. Это показывает выгодность использования теплового насоса по сравнению с тепловым источником традиционного типа, хотя и ниже ожидаемого значения. На наш взгляд, более эффективного съема энергии с канализационного коллектора можно достигнуть при использовании более эффективной конструкции теплообменника. В марте тепловой насос был отключен и в дальнейшем энергоснабжение здания выполнялось от централизованной тепловой сети.

Отключение теплового насоса было вызвано существующими тарифами на энергию: стоимость тепловой энергии для населения в 8,5 раза меньше, чем стоимость электрической энергии, что делает невыгодным его использование.

Таблица 7 Результаты мониторинга потребления и выработки энергии в энергоэффективном здании в г. Гродно в отопительном сезоне 2017–2018 гг.

2017– 2018 гг	Потребление тепловой энергии на отопление от различных источников			Потребление тепловой энергии на горячее водоснабжение (ГВС) от различных источников			Потребление электрической энергии тепловым насосом (ТН), суммарное и от фото-электрической батареи		Значение коэффициента использования электроэнергии (COP)
	ТН	ТС	сумма	ТН	ТС	сумма	сумма	ФЭ	
	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	Гкал	кВтч	кВтч	
окт.	39,3	0		0,9	10,3	11,2	8556	8550	5,5
ноя.	50	9,62	59,6	2,5	13,34	15,84	21021	1040	2,9
дек.	50,7	25,8	76,5	4,4	16	20,4	20170	726	3,2
январь.	40,8	48,7	89,5	6,1	17,5	23,6	15663	265	3,5
фев.	32,8	57,8	90,6	6,3	15,2	21,5	14724	593	3,091
март	откл		70	откл.		22		3487	-
апр.	откл		20	откл.		8		6513	-
Сумма	213	84,1	136,1	20,2	72,3	47,44	80134	10581	3,2

ТН – тепловой насос; ТС – внешние тепловые сети; ФЭ – фотоэлектрическая батарея.

В таблице 8 представлены результаты обработки информации, представленной в таблице 7. Обработка данных по потреблению воды в здании в расчете 70 л/чел в сутки показала наличие постоянно проживающих в здании 170 человек по сравнению с расчетным количеством около 480 человек. Средняя температура воздуха в здании по результатам мониторинга составила 22°C, что на 3°C превышает расчетное значение температуры. В первом столбце показано удельное потребление тепловой энергии на отопление по показаниям счетчика в месяц.

Поэтому удельные показатели суммарного потребления тепловой энергии на человека в здании составляют за отопительный сезон 50,18 кВтч/м² в год.

В то же время, пересчет показаний счетчика на расчетные условия эксплуатации (18°C в здании, 3473 градусосуток отопительного сезона, полная заселенность) дают для расчетного удельного потребления при температуре воздуха в здании в период эксплуатации 22°C значение 21,4 кВтч/м² в год, что несколько выше проектного значения, равного 15,5 кВтч/м² в год. Тем не менее, здание можно отнести к классу А+ по показателю удельного потребления тепловой энергии на отопление.

Таким образом, предварительные данные мониторинга энергоэффективного здания Гродно подтверждают рассчитанные при выполнении проекта данные удельного

потребления тепловой энергии на отопление здания и целесообразность использования теплового насоса для его теплоснабжения.

Следует отметить, что и в данном случае коэффициент корреляции данных изменения наружной температуры и изменения потребленной для отопления энергии равен значению $K = 0,6$, что является низкой величиной. Это может быть вызвано последовательным заселением здания, что постоянно изменяет режим его эксплуатации. Это обстоятельство вызывает обеспокоенность качеством регулирования подачи теплоносителя в здание. При функционировании здания в стационарном режиме значение коэффициента корреляции этих величин составляет более 0,95.

Таблица 8 Коэффициент удельных теплотерь f_1 и удельное потребление тепловой энергии для расчетных условий q_0

2017– 2018 гг	Фактическое потребление $Q_{\text{факт}}$ кВтч/м ²	Кол-во жителей (расчет)	f_1 , Вт/(м ² К) для различных значений температуры воздуха при эксплуатации здания				q_0 кВтч/м ² для различных значений температуры воздуха при эксплуатации здания			
			18°C	20°C	22°C	23°C	18°C	20°C	22°C	23°C
окт.	4,43	131	0,85	0,71	0,61	0,57	37,9	26,6	18,5	15,3
ноя.	6,71	167	0,84	0,80	0,71	0,67	37,2	33,9	26,7	23,6
дек.	8,62	208	0,83	0,84	0,76	0,72	36,92	37,11	30,72	27,96
январь.	10,08	241	0,83	0,76	0,69	0,67	36,7	30,6	25,5	23,3
фев.	10,20	244	0,79	0,73	0,67	0,65	33,2	28,2	23,9	22,0
март	7,88	225	0,70	0,63	0,58	0,55	26,0	20,7	16,3	14,4
апр.	2,25	282	0,72	0,63	0,53	0,49	27,9	20,1	12,5	9,54
сумма	50,18									
среднее		214,45	0,78	0,71	0,64	0,61	32,8	26,5	21,3	19,2

6.2 Здание в г. Могилеве

В настоящее время здание полностью не заселено. Поэтому система солнечных коллекторов, обеспечивающих в основном горячее водоснабжение, не используется в полной мере. Систему утилизации тепловой энергии сточных вод предполагается подключить для подогрева холодной воды в системе горячего водоснабжения при заселенности здания на 60-70%. В настоящее время из 180 квартир заселено 57 квартир.

В таблице 9 представлены результаты измерения потребления тепловой энергии зданием в отопительных сезонах 2016-2017г и 2017-2018г. Отопление в здании было включено в ноябре 2016 г. В таблице 10 представлены расчеты теплоэнергетических характеристик здания.

Таблица 9 Результаты измерения потребления тепловой энергии на отопление и ГВС энергоэффективного здания в г. Могилеве

Месяц, год	Qsum	Vgvs=	Qgvs	Qh	Кол-во дней отопления
	Гкал	q/0,05м ³	Гкал	Гкал	
ноя. 2016	140,4			140,4	30
дек. 2016	110			110	31
январь. 2017	145,3			145,3	31
февр. 2017	113,7			113,7	28
мар. 2017	43,6			43,6	31
апр. 2017	40,8			40,8	30
окт. 2017	111,1	536	26,8	84,2	23
ноя. 2017	139,5	574	28,7	110,8	30
дек. 2017	155,5	596	29,8	125,7	31
январь. 2018	174,73	604	30,2	144,5	31
февр. 2018	154,3	420	21	134	28
мар. 2018	143,3	380	19	129,55	31
апр. 2018				15,7	9
2016-2017	593,8			593,8	
2017-2018	878,4269	3110	155,5	744,4769	183

В отопительном сезоне 2016–2017гг. расчетные результаты значений коэффициента удельных тепловых потерь и удельного потребления тепловой энергии на отопление были неустойчивы, что объясняется ремонтными работами, проводимыми в здании.

В отопительном сезоне 2017–2018 гг. значения коэффициента удельных тепловых потерь и удельного потребления тепловой энергии на отопление более стабильны. Потребление тепловой энергии для расчетных условий составляет в среднем около 40 кВтч/м² в год. Выход на расчетное потребление тепловой энергии ожидается при заселенности здания не менее, чем на 70% от проектной, т. е., не менее 110 квартир.

Среднее значение удельного потребления для расчетных условий по двум отопительным сезонам составляет около 30 кВтч/м² в год при проектном значении 23,8 кВтч/м² в год.

Коэффициент корреляции данных изменения наружной температуры и изменения потребленной для отопления энергии равен 0,58, что является низкой величиной и вызывает обеспокоенность качеством регулирования подачи теплоносителя в здание. При функционировании здания в стационарном режиме целесообразно выполнить повторную наладку работы регулятора.

Таблица 10 Расчеты теплоэнергетических характеристик энергоэффективного здания в г. Могилеве

Месяц, год	Наружная температура T_{out}	Удельное потребление тепловой энергии на отопление Q_{ho}	n	$Q_{быт}$	f_1 Вт/(м ² К)	f_1 Вт/(м ² К)	$Q_{расч}$, кВтч/м ² в ГОД	$Q_{расч}$, кВтч/м ² в ГОД
		кВтч/(м ² мес)	чел.	кВтч	22°C	20°C	22°C	20°C
Отопительный сезон 2016 – 2017 гг								
ноя.	-1,30	11,77			0,70	0,77	37,21	43,52
дек.	-2,59	9,22			0,52	0,55	19,89	22,56
январь.	-6,74	12,19			0,59	0,61	26,39	28,65
фев.	-3,99	9,54			0,51	0,55	18,79	22,86
март	3,59	3,66			0,28	0,31	-3,59	-0,37
апр.	5,36	3,42			0,29	0,32	-2,65	1,08
Отопительный сезон 2017-2018 гг.								
окт.	6,35	7,06	247	1,77	0,76	0,87	42,61	53,24
ноя.	2,20	9,29	264	1,89	0,78	0,87	45,13	53,57
дек.	-0,16	10,54	274	1,96	0,76	0,83	42,64	49,84
январь.	-3,30	12,12	278	1,99	0,75	0,81	41,79	47,95
фев.	-5,90	11,24	214	1,38	0,67	0,73	34,47	39,45
март	-3,00	10,86	194	1,25	0,72	0,78	39,07	45,07
апр.	7,30	1,32	278	0,58	0,60	0,69	27,14	36,14
2016-2017г	-0,95	49,80			0,60	0,66	27,35	32,82
2017-2018г	-0,30	62,43	255	9,00	0,77	0,85	44,13	51,43
Итого 2016-2018	-0,79	112,23		10,83	0,62	0,68	29,19	34,88

7 Выводы

С учетом опыта проектирования и эксплуатации первых энергоэффективных зданий были выполнены проекты и построены три энергоэффективных здания второго поколения, соответствующих по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию классу А+, для строительства в городах Минске, Гродно и Могилеве.

Уже строительство первых домов с рекуперацией и теплозащитой по ныне действующим нормативам показало, что дальнейшее наращивание теплозащиты ограждающих конструкций уже не имеет смысла, так как более половины теплопотерь падает на систему вентиляции.

Важным фактором создания конструктивной системы современного энергоэффективного здания является выполнение экспериментальных объектов с апробацией на них технических решений с дальнейшим расширением использования следующих перспективных видов инженерного оборудования:

- систем утилизации тепловой энергии стоков здания;
- тепловых насосов;
- солнечных батарей в системах отопления и горячего водоснабжения;
- фотоэлектрических батарей;
- аккумуляторов тепловой энергии.

Целью проектирования и строительства энергоэффективных зданий 2-го поколения было отработка перспективных инженерных решений, снижающих потребление топлива при эксплуатации зданий. В проектах новых зданий решены вопросы:

- выработка энергии с использованием нетрадиционных источников;
- утилизация всех тепловых выбросов из здания;
- снижение тепловой нагрузки ГВС.

В проектах энергоэффективных жилых домов нового поколения предусмотрено применение в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий вторичных и возобновляемых источников энергии.

В процессе мониторинга энергоэффективных зданий был выполнен анализ потребления и выработки энергии энергоэффективным инженерным оборудованием экспериментальных зданий, а также выполнены расчеты энергетических характеристик зданий для расчетных условий эксплуатации.

Здания спроектированы, построены и успешно эксплуатируются. Для обеспечения широкого тиражирования аналогичных проектов энергоэффективных зданий созданы технические и социальные предпосылки:

- имеется положительный опыт проектирования, прохождения экспертизы энергоэффективных зданий с использованием в системах энергообеспечения вторичных и возобновляемых источников энергии;
- решены задача минимизации потребления тепловой энергии не только для целей отопления, но и в системах ГВС;
- обеспечено обучение широкой аудитории проектных инженеров, работников Госэкспертизы и Госстройнадзора приемам проектирования и наблюдения за качеством проектов и строительства энергоэффективных зданий второго поколения;
- наблюдения за эксплуатацией зданий подтвердило качество строительства зданий и монтажа инженерных систем, достаточное для возможности достижения проектных показателей;
- подготовлены учебные материалы и проведено обучение эксплуатации всех систем здания как жителей зданий, так и работников эксплуатационных служб;
- подготовлены предложения и внесены изменения в действующую нормативную базу.

Для широкого внедрения строительства энергоэффективных зданий осталось создать экономические предпосылки, в первую очередь, формирование грамотной тарифной политики, обеспечивающей заинтересованность жителей в строительстве аналогичных зданий.

Перечень используемых источников

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%>
2. ТКП 45.196 2009 Тепловая защита зданий Минск, 2010
3. В.М. Пилипенко, Л.Н. Данилевский «Опыт строительства энергоэффективных зданий в Республике Беларусь и экспериментальное исследование эксплуатационных характеристик энергоэффективного панельного жилого дома в г. Минске» Budownictwo o zoptymalizo-wanym potencjale energetycznym. Politechnika Czenstjchowska, Czenstjchowa 2009 с. 60-73
4. Пилипенко В. М. Данилевский Л. Н., Терехов С. В., Кацынель Р.Б., Гребеньков А.Ж Энергоэффективные жилые здания второго поколения в проекте ПРООН-ГЭФ в Республике Беларусь СОК, Москва, №11, 2017 г. с. 61-67
5. Данилевский Л. Н., Данилевский С. Л., Дмитриев Г. М. Упрощенная методика определения удельного потребления тепловой энергии на отопление для расчетных условий эксплуатации зданий Энергоэффективность, Минск, №5, 2017, с.26 - 29
6. Данилевский Л. Н., Данилевский С. Л., Алгоритм и точность определения теплотехнических показателей зданий. - Инженерно-строительный журнал, Санкт-Петербург, №5, 2017, с. 49-61