

ПРООН/ГЭФ

Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

**Результаты мониторинга о ходе строительства трех пилотных
зданий с документированием полученного опыта и выводов**

Исполнитель,

Эксперт по вопросам энергетической
эффективности в зданиях

Л. Н. Данилевский

Минск, 2017

Содержание

стр.

Энергоэффективное здание второго поколения в г. Минске	3
Энергоэффективное здание второго поколения в г. Могилеве	11
Энергоэффективное здание второго поколения в г. Гродно	24

Энергоэффективное здание второго поколения в г. Минске

Для эксперимента в г. Минске выбран панельный девятнадцатиэтажный жилой дом серии 111-90 МАПИД. Общая площадь 10000 м². В соответствии с заданием на проектирование проектом экспериментального здания в г. Минске предусматриваются следующие мероприятия, снижающие энергопотребление здания.

- Оболочка здания с улучшенными теплозащитными свойствами (включая светопрозрачные конструкции).
- Система утилизации теплоты сточных вод здания для предварительного нагрева воды в системе горячего водоснабжения.
- Система отопления с горизонтальной разводкой и поквартирным учетом и регулированием потребления тепловой энергии
- Система принудительной приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха.

В таблице 1 представлены теплоэнергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Минске по сравнению с аналогом, построенным в соответствии с действующими нормативами. По отоплению и здание потребляет, по расчету, 55% энергии, а по горячему водоснабжению - 70% необходимой для этой цели обычному.

Для контроля за функционированием инженерного оборудования в здании предусмотрена автоматизированная система диспетчеризации с дистанционной передачей информации и информационным табло, размещенным в здании, отображающим в режиме реального времени потребление и генерацию энергии. Для оценки эффективности функционирования оборудования предусмотрена автоматизированная система технического учета тепловой и электрической энергии с дистанционной передачей информации.

Таблица 1 Энергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Минске

10 – этажное 140 квартирное жилое здание с отапливаемой площадью 10000, 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	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное
45	23,2	450	250	70	50	700	400	1150	650

Из данных, приведенных в таблице 1, можно сделать вывод, что по значению удельного потребления тепловой энергии на отопление – 23,2 кВтч/(м²год) здание соответствует классу А+ в соответствии с ТКП 45-2.04-196-2010. На наш взгляд, определенный резерв снижения удельного показателя, связанный с расположением незадымляемой лестницы, остался. В настоящее время неотапливаемая лестница расположена внутри утепленного контура здания, что влечет за собой дополнительные тепловые потери из жилых квартир. Целесообразно вынести эту конструкцию за пределы отапливаемого периметра здания.

В системе горячего водоснабжения здания используется система утилизации тепловой энергии сточных вод, обеспечивающая 30% возврата энергии на горячее водоснабжение, что дает для горячего водоснабжения цифру затрат энергии 50 кВтч/(м² год), считая, что в обычном здании потребляется 70 кВтч/(м²год). Эта величина несколько превышает значение, указанное в качестве индикатора проекта. Суммарное значение потребления тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжения, равное 65 кВтч/(м² год), больше значения 60 кВтч/(м² год), ожидаемого по Проектному документу.

Однако, эта разница не превышает 10% итоговой величины и требует уточнения на стадии эксплуатации здания.

МАПЖД уже имеет опыт строительства энергоэффективных зданий и монтажа энергоэффективных систем инженерного оборудования. В этой связи, на стадии авторского надзора не было выявлено каких-либо примеров строительного брака, приводящего к ухудшению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий или ухудшающих работу инженерного оборудования приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии вытяжного воздуха и системы утилизации тепловой энергии сточных вод.

В это же время, целесообразно дать оценки качества строительных работ, выполнить на стадии эксплуатации следующие обследования:

- степень герметичности помещений по упрощенной методике;
- тепловизионный контроль.

На рис.1 приведена фотография здания на стадии строительства.

На рис. 2 приведена фотография проема в стеновой панели для установки балконной двери. Видно равномерное заполнение внутреннего слоя панели тепловой изоляцией. На рис. 3 – отверстие в стеновой панели, предусмотренное для прокладки воздуховодов. Следует отметить тщательную проработку технологии изготовления стеновых панелей на заводе. При монтаже изделий и оборудования не возникало проблем, связанных с необходимостью создания дополнительных отверстий или штробления каналов для прокладки коммуникаций.

На рис. 4 представлена фотография системы. утилизации тепловой энергии сточных вод из здания. Система удобно расположена. Вход в помещение системы – непосредственно из улицы, без транзита через подвальные помещения, что облегчит обслуживание системы.

На рис. 5 - Энергоэффективное здание в г. Минске при торжественной сдаче в эксплуатацию.



Рисунок 1 Энергоэффективное здание в г. Минске на стадии строительства



Рисунок 2 – Проемная часть стеновой панели энергоэффективного здания в г. Минске



Рисунок 3 Отверстие в стеновой панели для прокладки воздуховодов



Рисунок 4 система утилизации тепловой энергии сточных вод



Рисунок 5 Энергоэффективное здание в г. Минске при торжественной сдаче в эксплуатацию

Энергоэффективное здание второго поколения в г. Могилеве

"Энергоэффективный 10 – этажный 180 - квартирный жилой дом №1 на территории прилегающей к областной больнице в районе микрорайона «Спутник» с благоустройством прилегающей территории в г. Могилеве» проектируется на базе блок-секций домов нового поколения ОАО "Могилевский домостроительный комбинат".

В энергоэффективном здании г. Могилева предусматриваются следующие мероприятия, снижающие энергопотребление здания.

- Оболочка здания с улучшенными теплозащитными свойствами (включая светопрозрачные конструкции).
- Система утилизации теплоты сточных вод здания для предварительного нагрева воды в системе горячего водоснабжения.
- Система отопления с горизонтальной разводкой и поквартирным учетом и регулированием потребления тепловой энергии
- Система принудительной приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха.
- Система солнечных коллекторов в системе горячего водоснабжения здания;
- Водяной тепловой аккумулятор объемом 14 м³.

В таблице 2 представлены теплоэнергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Могилеве по сравнению с аналогом, построенным в соответствии с действующими нормативами. По отоплению и здание потребляет, по расчету, 55% энергии, а по горячему водоснабжению - 40% необходимой для этой цели обычному. Общее потребление тепловой энергии по расчету более, чем в два раза ниже аналога.

Для контроля за функционированием инженерного оборудования в здании предусмотрена автоматизированная система диспетчеризации с дистанционной передачей информации и информационным табло, размещен-

ным в здании, отображающим в режиме реального времени потребление и генерацию энергии. Для оценки эффективности функционирования оборудования предусмотрена автоматизированная система технического учета тепловой и электрической энергии с дистанционной передачей информации.

Таблица 2 Энергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Могилеве

10 – этажное 160 квартирное жилое здание с отапливаемой площадью 13251, 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	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное
45	25	596	331	70	30	927	397	1523	728

В Могилеве при изготовлении изделий и монтаже здания возникли проблемы, не устранив которые можно получить увеличение до 25% тепловых потерь через оболочку здания. На стадии авторского надзора за строительством здания, уже с самого начала работ возникли проблемы качества и полноты изготовления строительных изделий и выполнения работ на стройке. Качество стеновых панелей на начальной стадии работ не удовлетворяло необходимым требованиям обеспечения теплотехнических характеристик изделий.

На рис. 6 приведен общий вид строящегося энергоэффективного здания в г. Могилеве.



Рис. 6 Энергоэффективное панельное здание в г. Могилеве на стадии строительства

На рис. 7 представлена стеновая панель этого здания с оконным проемом. В отличие от аналогичной панели здания в г. Минске поверх теплоизоляции виден слой бетона, который создает тепловой мост. Это может привести к увеличению тепловых потерь через наружные стены на 10 - 15 % и к увеличению общего потребления тепловой энергии на отопление на 2 – 3 кВтч/м² в год.

На рисунке 8 представлены торцевые части наружных стеновых панелей. В отличие от оконных проемов, наплывы бетона отсутствуют, что позволяет сохранить высокие теплотехнические характеристики на стыках панелей при монтаже.



Рисунок7 Энергоэффективное панельное здание в г. Могилеве. Оконный проем



Рисунок 8. Энергоэффективное панельное здание в г. Могилеве. Стеновая панель

Этот брак был обнаружен при изготовлении изделий для первого и второго подъезда здания. По нашему требованию в дальнейшем, изделия изготавливались по технологии, исключая появление таких тепловых мо-

стов. По нашему требованию Застройщик до установки окон провел осмотр оконных проемов первых двух подъездов и ликвидировал перемычки.

Качество монтажа стеновых панелей также оставляло желать лучшего. На фотографии рис. 8.1 приведена фотография стыка панелей здания с некачественным выполнением. В вентиляционных шахтах обнаружен мусор, рис.8.2.



Рис. 8.1 Фотография стыка панелей здания с некачественным выполнением.

Для обеспечения проектного уровня потребления тепловой энергии на отопление было предложено устранить отмеченные недостатки в изготовлении панелей и при их монтаже. С руководством Могилевского ДСК была достигнута договоренность о выполнении работ по устранению наплывов бетона в панелях. Работа была выполнена перед монтажом оконных конструкций.



Рисунок 8.2 В вентиляционных шахтах – мусор,

При ведении авторского надзора было обнаружено отсутствие закрепления общих приточных и вытяжных вентиляционных шахт на первом этаже здания, что могла привести к аварийной ситуации на стадии эксплуатации.

По нашему требованию, шахты были закреплены на первом этаже подпоркой дополнительных уголков (фотография 9).



Рисунок 9 Конструкция крепления вентиляционных шахт на первом этаже здания

Было обнаружено, что при монтаже наружных стеновых панелей остался слишком маленький зазор между НСТ, не обеспечивающий выполнение технологии работ по заделке стыков панелей, на что было обращено внимание строителей (фотография 10).



Рисунок 10 Проблемы стыков наружных стеновых панелей

При монтаже и пусконаладке системы вентиляции в здании проблем не возникало.

Монтаж системы утилизации сточных вод был выполнен без утепления, как показано на рис 11, на что обратили внимание подрядчика. В настоящее время система утеплена. В отличие от г. Минска, система выполнена в глубине подвального помещения, что затрудняет доступ к системе и ее обслуживание.



Рисунок 11 Система утилизации тепловой энергии сточных вод из здания

Основные замечания были сделаны при монтаже системы гелиоколлектора.

Энергоэффективное здание в г. Могилеве имеет юго-западную ориентацию, при которой оптимальным углом наклона гелиоколлектора, при котором снижение теплопоступлений относительно южной ориентации не превышает 5%, составляет 40 град. На кровле здания представлено оптимальное местоположение из гелиоколлекторов, имеющих размеры 1040мм x 2040мм, группами по 6 и 8шт. под углом 40град. к горизонту.

Количество групп по 6 коллекторов -12, количество групп по 8 коллекторов – 19. Общее количество коллекторов $6 \times 12 + 8 \times 19 = 224$.

Площадь коллекторов по наружному обмеру $(1,040 \times 2,040) \times 224 = 475 \text{ м}^2$.

Так как здание в плане представляет собой четырехсекционное здание с габаритами $27 \times 12,6$ м, общая площадь крыши здания составляет $12,6 \times 27 \times 4 = 1380 \text{ м}^2$.

Технологические схемы, основные расчётные параметры и некоторые технические характеристики, могут быть приняты на основании следующих ориентировочных исходных данных:

- Удельная площадь гелиоколлектора, приходящаяся на одну квартиру – $2,0 - 3,0 \text{ м}^2$;
- Минимальный удельный расход этиленгликоля в контуре гелиоколлектора – $20-30 \text{ кг/ч}$ на 1 м^2 гелиоколлектора;
- Максимальный удельный расход этиленгликоля в контуре гелиоколлектора – $60-100 \text{ кг/ч}$ на 1 м^2 гелиоколлектора;
- Расчётный удельный расход теплоносителя в контуре между баком-аккумулятором и теплообменником гелиоколлектора – не менее 35 кг/ч на 1 м^2 гелиоколлектора;
- Удельный объём теплоносителя в баке-аккумуляторе для суточного накопления теплоты – не менее 40 л на 1 м^2 гелиоколлектора.

Годовая теплопроизводительность гелиосистемы составляет (площадь 388 м^2 апертурная):

$$192200 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (\text{летний период}) + 79000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (\text{зимний период}) \\ = 271200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Годовая потребность тепловой энергии на нужды горячего водоснабжения при наличии примерно 640 жильцов и нормы воды горячего водоснабжения 70л/человека в сутки составляет:

$$420000 \text{ кВт}\cdot\text{ч (летний период)} + 520000 \text{ кВт}\cdot\text{ч (зимний период)} = 940000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Таким образом, расчётная экономия энергоресурсов составляет 15% в зимний период и 46% в летний, а годовая экономия составит 30%. В приведенных расчётах площадь гелиоколлектора 388м^2 (что составляет примерно $2,5\text{м}^2$ на одну квартиру и $0,65\text{м}^2$ гелиоколлектора на человека).

Проблемные вопросы были выявлены при монтаже гелиосистемы и сопутствующего оборудования выявленные в процессе авторского надзора с участием специалистов ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.» и эксперта по гелиосистемам Покотилова В. В. Был определен перечень работ, обеспечивающий безаварийную эксплуатацию системы.

На рисунках 12, 13 приведены фотографии гелиосистемы и бака-аккумулятора.



Рисунок 12- Фотография гелиосистемы



Рисунок 13- Фотография бака-аккумулятора

Замечания к настоящему времени учтены и строители устранили все замеченные недостатки в конструкции здания и гелиосистемы. На фотографии 14 – законченное строительство здания.



Рисунок 14– Законченное строительство энергоэффективное здание в г. Могилеве

Энергоэффективное здание второго поколения в г. Гродно

Построено 120 квартирное здание с тремя подъездами. Общая площадь 9 800м². В соответствии с заданием на проектирование проектом предусматриваются следующие мероприятия, снижающие энергопотребление здания.

- Оболочка здания с улучшенными теплозащитными свойствами (включая светопрозрачные конструкции).
- Система теплоснабжения здания с использованием тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения.
- Система утилизации теплоты сточных вод здания для предварительного нагрева воды в системе горячего водоснабжения.
- Система отопления с горизонтальной разводкой и поквартирным учетом и регулированием потребления тепловой энергии
- Система принудительной приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха.
- Система фотоэлектрических батарей для генерации электрической энергии с продажей излишков электрической энергии в энергосистему города.

Для контроля за функционированием инженерного оборудования в здании предусмотрена автоматизированная система диспетчеризации с дистанционной передачей информации и информационным табло, размещенным в здании, отображающим в режиме реального времени потребление и генерацию энергии.

Для оценки эффективности функционирования оборудования предусмотрена автоматизированная система технического учета тепловой и электрической энергии с дистанционной передачей информации.

В таблице 3 представлены теплоэнергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Могилеве по сравнению с аналогом, построен-

ным в соответствии с действующими нормативами. По отоплению и здание потребляет, по расчету, 37% энергии, а по горячему водоснабжению - 50% необходимой для этой цели обычному. Общее потребление тепловой энергии по расчету почти в два раза ниже аналога.

Основным источником энергоснабжения здания является система тепловых насосов, один из которых работает на низкопотенциальной энергии, извлекаемой из стоков канализационного коллектора, а второй – из фундаментных свай здания.

На стадии строительства первого этажа здания обнаружился недостаток в монтаже перемычек над окнами. На фотографии рис. 15 видно, что перед уложенными ж/б перемычками отсутствует утеплитель. Это создает мостик теплоты в оконном проеме и приводит к дополнительному расходу энергии в размере 1 – 2 кВтч/(м²год). На недостаток было указано, в дальнейшем этот брак в работе не повторялся.



Рисунок 15- Перед уложенными ж/б перемычками отсутствует утеплитель

Работы по монтажу фотоэлектрической системы выполнялись в плановом режиме, без замечаний.

Таблица 3 Энергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Гродно

10 – этажное 120 квартирное жилое здание с отапливаемой площадью 9800, 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	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное	Обычное	Энергоэф- фективное
42	15,5	434	160	70	35	397	278	831	438

В целом строительство здания и монтаж инженерных систем велся грамотно, без замечаний. На рис. 16 приведена фотография здания на стадии строительства и на фотографии рис.17 монтаж воздуховодов в квартирах.



Рисунок 16- Фотография здания на стадии строительства



Рисунок 17- Фотография монтажа воздуховодов в квартирах.

Новыми инженерными системами здания, уникальными для Республики Беларусь являются тепловой насос, снимающий низкопотенциальную энергию с фундаментных свай и тепловой насос, снимающий низкопотенциальную энергию из канализационных стоков сборной трубы канализационного коллектора.

На рис.18 приведена принципиальная схема теплового насоса, снимающего низкопотенциальную энергию с фундаментных свай здания. На рис. 19 – фотография с места монтажа свай. Работы выполнялись в плановом режиме, замечаний по авторскому надзору не возникало

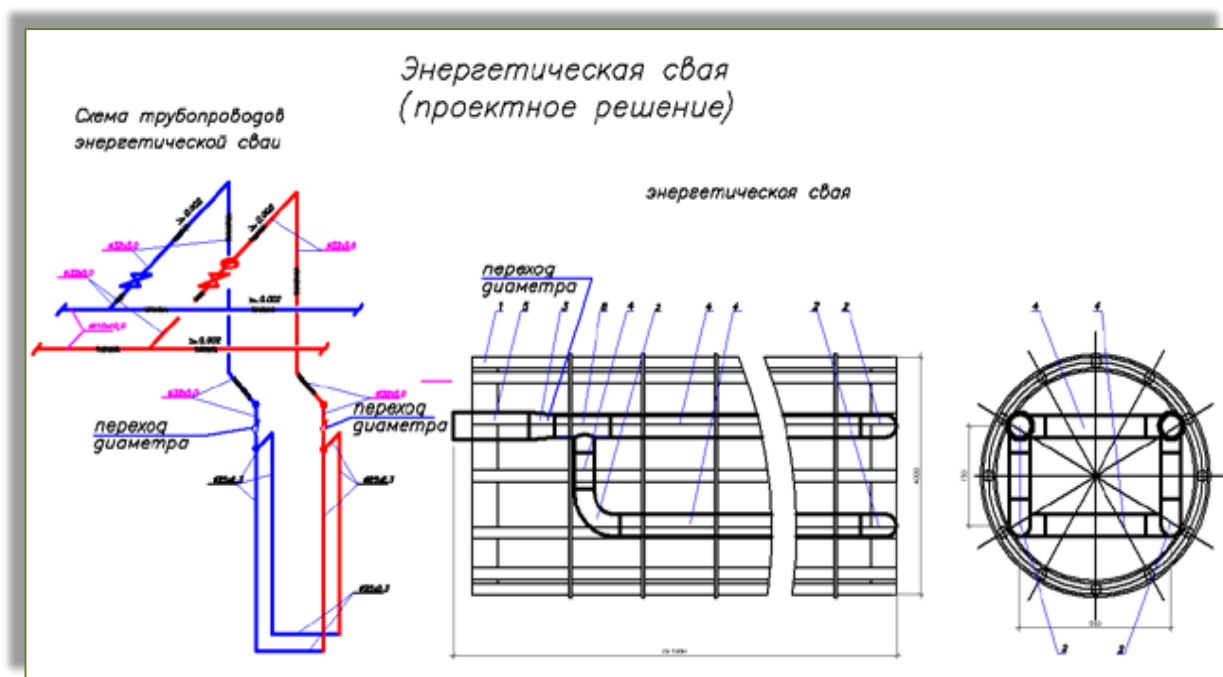


Рисунок 18- Принципиальная схема теплового насоса, снимающего низкопотенциальную энергию с фундаментных свай здания



Рисунок 19- Фотография с места монтажа свай для теплового насоса, снимающего низкопотенциальную энергию с фундаментных свай здания

На рис. 20 приведена схема съема теплоты с канализационных стоков сборной трубы канализационного коллектора.

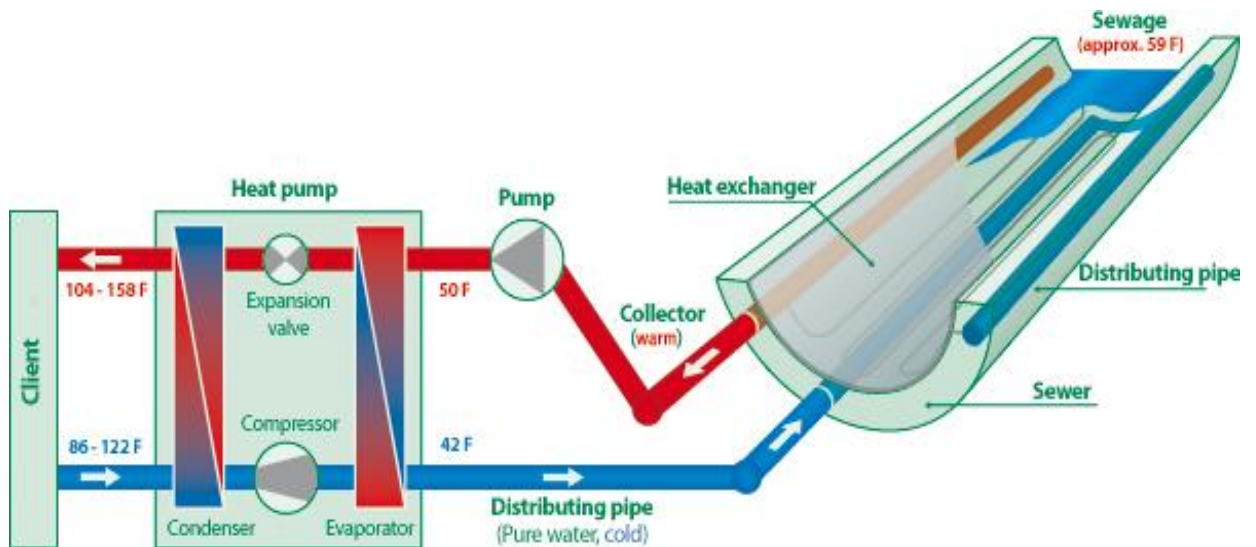


Рисунок 20 - Схема съема теплоты с канализационных стоков сборной трубы канализационного коллектора.

С целью отбора низкопотенциальной энергии в канализационном коллекторе между двумя колодцами была сделана вставка из нержавеющей стали, в нижней части которой был смонтирован теплообменник. На рис. 21 приведена Фотография трубы-вставки с теплообменной полостью в нижней части.



Рисунок 21 - Фотография трубы-вставки с теплообменной полостью в нижней части.

На фотографиях рис. 22, 23 представлены работы по монтажу вставки.



Рисунок 22- Работы по монтажу вставки



Рисунок 23- Работы по монтажу вставки

Теплообменная вставка была уложена в железобетонный лоток и утеплена. К настоящему времени работы по монтажу и предварительному запуску системы окончены.

В таблице 4 приведены параметры теплового на стадии первичной отладки. Суммарная мощность системы составила 102 кВт при мощности электроснабжения 33,3 кВт. Т.е., значение COP составило 3,1.

На рис.24 представлена фотография теплового насоса в тепловом пункте здания. На рис. 25 – законченное строительством здание.



Рисунок 24 Фотография теплового насоса в тепловом пункте здания.



Рисунок 25 – Законченное строительством здание в г. Гродно

Продолжение таблицы

Количество компрессоров в работе		шт	3	3	3	3, ТН свай
	время	11:16	12:44	13:07	13:26	15:18
вход рассола	BT10	2,1	2	2	1,9	1,8
выход рассола	BT11	-2,8	-3	-3	-3	-3
буферная ёмкость	BT25	28,1	27,7	27,7	27,6	30,4
выход теплоносителя	BT12	33,6	33,1	33,1	33,1	35,8
вход теплоносителя	BT3	26,5	25,9	25,7	25,9	28,1
Насос рассола (ТН коллектора)	P1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	P2	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
	ΔP	7	7	7	7	7
	расход (общий)	30	30	30	30	30
	F	2190	2190	2190	2190	2190
	режим работы	50	50	50	50	50
Электросчётчик (ТН коллектора)	P	19,65	19,42	19,34	19,333	20,14
ТЭМ-104 (ТН свай + ТН коллектора)	Q	0,0665	0,0643	0,0674	0,0656	0,0755
	Q	77,3395	74,7809	78,3862	76,2928	87,8065
	G	15,5	15,5	15,45	15,4	14,6
	tn	23,4	22,8	22,91	22,96	25,05
	to	18,89	18,58	18,55	18,57	19,84
t вых.коллектора						

