

# Строительно-техническое состояние жилых кирпичных домов Эстонии и прогнозируемый срок их использования

## Отчет об исследовании

Тарго Каламезс, Теэт-Андрус Кыйв, Рооде Лииас, Карл Ыйгер, Урве  
Каллавус, Лаури Микли. Симо Илометс, Калле Кууск, Микк Майвэл, Ало  
Микола, Пауль Клышейко, Тынис Агасильд, Эндрик Арумяги, Ева Лихо,  
Танель Оянг, Танель Туйск, Лемби-Мерике Раадо, Тыну Йыэсаар

2010

Редакция: инженер-строитель Тарго Каламеэс

Главный исследователь проекта: профессор Рооде Лиис

Перевод на русский язык: Анна Куорти

Организационная поддержка перевода на русский язык: НКО Нарвский центр энергосбережения, MTÜ Narva EnergiaSäästu Keskus

Финансовая поддержка перевода на русский язык: квартирные товарищества г.г. Нарва, Силламяэ, Кохтла-Ярве, мэрия Силламяэ

Авторские права: авторы, 2010

ISBN 978-9949-23-059-4

## Предисловие

Данная работа представляет собой результаты, полученные при исследовании «Строительно-техническое состояние жилых кирпичных домов Эстонии и прогнозируемый срок их использования», проведенного Строительным факультетом ТТУ в период с сентября 2008 по октябрь 2010.

Исследование проведено по заказу и при финансировании Целевого учреждения Гарантии Кредитов и Экспорта «KredEx». Также в исследовании приняли участие представители энергетического и жилищного отделов Министерства Экономики и Коммуникации.

Представители Целевого учреждения «KredEx»: Хейкки Парве, Мирья Адлер;  
Представители Министерства: Мадис Лаанисте, Маргус Сармет, Пилле Арьякас.

Со стороны ТТУ в исследовательской работе принимали участие:

Институт строительного проектирования (кафедра строительной физики и архитектуры, кафедра строительных конструкций): Тарго Каламеэс, Карл Ыйгер, Лаури Микли, Симо Илометс, Эндик Арумяги. Им помогали: Пауль Клышейко, Тынис Агасильд, Ева Лихо, Марко Уук, Юллар Алев, Кятлин Миилберг, Лембиту Линдмяэ, Стен Туудак, Клаус Трейман, Сандра Вахи, Раин Мянникус, Лаура Лаан, Алари Компус, Сийм Кроодо, Мари Эммус, Андрес Кяес, Ксения Каеву, Кристьян Певер, Китти Саар.

Институт технической экологии (кафедра отопления и вентиляции): Теэт-Андрус Кыйв, Калле Кууск, Микк Майвэл, Ало Микола, Анти Гамбург.

Институт строительной обработки (кафедра строительной экономики и менеджмента, лаборатория исследований и испытаний строительных материалов): Роодэ Лиис, Лемби-Мерике Раадо, Маргит Розенберг, Тиина Хайн, Юрий Хмельницкий. Также работал: Танель Оянг.

Научный центр материаловедения: Урве Каллавус.

В написании различных глав исследования принимали участие следующие лица: Тарго Каламеэс: гл. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14, Теэт-Андрус Кыйв: гл. 8, 10, 11, 14, Роодэ Лиис: гл. 13, Карл Ыйгер: гл. 2, 14; Урве Каллавус: гл. 9, Лаури Микли: гл. 6, Симо Илометс: гл. 2, 3, 5, Калле Кууск: гл. 11, 14, Микк Майвэл: гл. 11, 14, Ало Микола: гл. 8, 10, 14; Пауль Клышейко: гл. 2, 14; Тынис Агасильд: гл. 2, 14; Эндрик Арумяги: гл. 4, Ева Лихо: гл. 13; Танель Оянг: гл. 12, Лемби-Мерике Раадо: гл. 2, Тыну Йыэсаар (Termopilt Tartu OÜ): гл. 12,7.

Основной исследовательский отчет был отредактирован Тарго Каламеэсом, с языковой стороны - Мари-Анн Тамме.

Благодарим за помощь в исследовании спонсоров, жителей домов, председателей квартирных товариществ. Также выражаем благодарность Союзу квартирных товариществ Эстонии за помощь в поиске объектов для исследования. За дополнительное утепление наружных стен, необходимое при исследовании, Balti Vara Fassaadid OÜ, SIA Caparol Baltica Eesti, AS Telinek ja Rockwool OÜ. Выражаем благодарность AS Clik за составление стоимости техносистем, а Институту метеорологии, гидрологии и внешних климатических данных и Eesti Energia AS – за предоставление необходимых жилищных и энергетических данных

Таллинн, ноябрь 2010

Создатели

## Оглавление

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Техническое состояние и дефекты граничных и несущих конструкций</b>	<b>9</b>
2.1	Состояние стен	9
2.1.1	Решения для стен и материалы	9
2.1.2	Основные проблемы внешних стен	11
2.2	Состояние крыши	25
2.2.1	Решения для крыши	25
2.2.2	Основные недостатки крыш	26
2.3	Состояние балконов и навесов	28
2.4	Состояние фундаментов, цоколей и подвальных этажей	29
2.5	Состояние перекрытий, лестниц и лестничных клеток	29
2.6	Состояние окон и дверей	30
2.7	Пожаробезопасность	30
<b>3</b>	<b>Мостики холода</b>	<b>31</b>
3.1	Методы	31
3.1.1	Критический уровень мостиков холода	31
3.1.2	Оценка мостиков холода при помощи термографии и инфракрасной камеры	33
3.1.3	Оценка мостиков холода при учете внешней температуры	34
3.2	Результаты	35
3.2.1	Результаты термографических измерений	35
3.2.2	Результаты расчетов	37
3.2.3	Оценка результатов	46
3.3	Расчет теплопотерь здания с учетом мостиков холода	47
<b>4</b>	<b>Воздухонепроницаемость ограждающих конструкций здания</b>	<b>50</b>
4.1	Измерение воздухонепроницаемости граничных конструкций	51
4.2	Методы оценки воздухонепроницаемости	53
4.3	Результаты	55
<b>5</b>	<b>Тепло- и влаготехническая производительность наружных стен</b>	<b>59</b>
5.1	Измерения теплопроводности стен	60
5.1.1	Методы	60
5.1.2	Результаты	62
5.1.3	Оценка результатов	64
5.2	Тепло- и влаготехническое сравнение теплоизоляционной системы из минеральной ваты и пенополистирола в домах из керамического кирпича	65
5.2.1	Методы	65
5.2.2	Результаты	68
5.2.3	Оценка результатов	73
5.3	Анализ тепла и влажности кирпичной стены с дополнительной теплоизоляцией внутри здания	74
5.3.1	Методы	75
5.3.2	Результаты	76
<b>6</b>	<b>Звукоизоляция внутренних перегородок</b>	<b>79</b>
6.1	Методы	79

6.1.1	Основы решений по качеству звукоизоляции внутренних перегородок	79
6.1.2	Методы оценки звукоизоляции внутренних перегородок	80
<b>6.2</b>	<b>Результаты</b>	<b>81</b>
6.2.1	Результаты измерения звукоизоляции в условиях эксплуатации	81
6.2.2	Результаты вычисления звукоизоляции	82
<b>7</b>	<b>Состояние тепла и влажности в квартирах</b>	<b>84</b>
<b>7.1</b>	<b>Методы</b>	<b>87</b>
7.1.1	Измерения	87
7.1.2	Внешний климат	87
7.1.3	Критерии оценивания внутренней температуры	88
7.1.4	Расчет влажностной нагрузки внутреннего воздуха	90
<b>7.2</b>	<b>Результаты</b>	<b>90</b>
7.2.1	Зависимость внутреннего климата от внешней температуры	90
7.2.2	Внутренняя температура и относительная влажность зимой	92
7.2.3	Внутренняя температура и относительная влажность летом	94
<b>7.3</b>	<b>Соответствие внутренней температуры целевым стандартам</b>	<b>95</b>
<b>7.4</b>	<b>Влажностные нагрузки в квартирах</b>	<b>98</b>
<b>8</b>	<b>Работа вентиляции и качество внутреннего воздуха</b>	<b>101</b>
<b>8.1</b>	<b>Методы</b>	<b>103</b>
8.1.1	Измерения	103
8.1.2	Критерии оценки содержания CO <sub>2</sub> в воздухе помещения	105
8.1.3	Метод вещественного обмена CO <sub>2</sub>	107
8.1.4	Критерии оценки воздухообмена в жилых помещениях	109
8.1.5	Критерии оценки воздухообмена кухни и санитарных помещений	109
<b>8.2</b>	<b>Результаты</b>	<b>110</b>
8.2.1	Измерения содержания CO <sub>2</sub> в квартирах	110
8.2.2	Воздухообмен спален	112
8.2.3	Воздухообмен на кухне и в ванной (санитарной комнате)	115
<b>9</b>	<b>Микробиологическое исследование воздуха внутри помещения и строительных материалов</b>	<b>118</b>
<b>9.1</b>	<b>Анализ проб, взятых с поверхности материалов</b>	<b>119</b>
<b>9.2</b>	<b>Анализ проб воздуха</b>	<b>120</b>
<b>9.3</b>	<b>Анализ солей, движущихся с водой по кирпичу</b>	<b>121</b>
<b>10</b>	<b>Состояние техносистем</b>	<b>124</b>
<b>10.1</b>	<b>Вентиляция</b>	<b>124</b>
10.1.1	Характеристика вентиляционной системы кирпичных домов	124
10.1.2	Техническое состояние вентиляции	125
10.1.3	Отопительная система и теплоснабжение	128
10.1.4	Система электроснабжения	130
10.1.5	Водоснабжение и канализация	131
<b>11</b>	<b>Анализ потребления энергии в кирпичных домах</b>	<b>133</b>
<b>11.1</b>	<b>Проведенный анализ энергопотребления</b>	<b>133</b>
11.1.1	Анализ электропотребления	133
11.1.2	Анализ газопотребления	134
11.1.3	Анализ потребления воды и энергии на нагрев воды	135
11.1.4	Анализ потребления теплоэнергии на отопление помещения и вентиляцию	137
11.1.5	Анализ взвешенного использования энергии	139
<b>11.2</b>	<b>Анализ энергоэффективности кирпичного дома и его строительно-экономический расчет</b>	<b>141</b>

11.2.1	Методы	141
11.2.2	Результаты энергорасчета	144
<b>12</b>	<b>Оценки собственников квартир и стратегический подход: сводка опроса</b>	<b>153</b>
12.1	Жилые условия	153
12.2	Характеристика окон	154
12.3	Повреждения от влаги	154
12.4	Проблемы отопления и вентиляции	155
12.5	Проблемы, связанные с шумом и здоровьем	156
12.6	Санитарный ремонт квартир	158
12.7	Оценка жителями микроклимата квартир на основании энергетического аудита	158
12.7.1	Температура внутреннего воздуха	158
12.7.2	Плесень в квартирах	160
<b>13</b>	<b>Заключение об основных принципах решений реновирования</b>	<b>163</b>
13.1	Ограждения и строительные конструкции	166
13.1.1	Наружные стены	166
13.1.2	Балконы, козырьки	173
13.1.3	Крыши	174
13.1.4	Мостики холода	178
13.1.5	Перекрытия	178
13.1.6	Проёмы: окна и двери	179
13.1.7	Лестницы, подъезды	181
13.1.8	Стены подвалов, цоколь	181
13.1.9	Влажные и мокрые помещения	181
13.1.10	Контроль шума и звукоизоляция	182
13.2	Техносистемы	182
13.2.1	Теплоснабжение	182
13.2.2	Отопление	182
13.2.3	Вентиляция	184
13.2.4	Водоснабжение	198
13.2.5	Канализация	198
13.3	Энергоэффективность	198
<b>14</b>	<b>Экономический анализ улучшения энергоэффективности здания</b>	<b>206</b>
14.1	Методы	206
14.2	Результаты	212
14.3	Заключение	226
<b>15</b>	<b>Выводы</b>	<b>230</b>
<b>16</b>	<b>Список литературы</b>	<b>237</b>

# 1 Введение

Цель исследования - отображение многоквартирных кирпичных домов, построенных в разных районах Эстонии и в разное время, оценка их технического состояния, а также выяснение мнения жильцов о состоянии находящихся в их собственности квартир и зданий.

В исследовании необходимо было определить строительно-техническое состояние кирпичного жилого дома, а именно:

- Отобразить строительно-технические и климатические условия 25 разных жилых зданий различного возраста и расположенных в разных регионах;
- Картографически систематизировать полученные данные, чтобы использовать их для анализа и решения проблемы;
- Проанализировать полученные данные и сделать обзор исследуемых строительно-технических решений, состояния внутреннего климата, а также дать оценку долговечности этих решений;
- На основе полученных данных о кирпичном жилом доме сделать обзор основных проблем и разработать фундаментальные решения для устранения этих проблем.

В рамках исследования упор делался на следующие работы:

- Четкое определение объекта исследования, поиск материалов и оформление;
- Исследование строительных конструкций;
- Исследование строительной физики конструкций;
- Исследование микроклимата в зданиях;
- Исследование коммуникаций здания;
- Оценка собственников квартир и исследование стратегических установок.

Для каждого объекта сделан строительно-технический анализ всего здания, и по крайней мере в одной квартире сделан упор на исследования микроклимата и строительной физики.

Так как 78% жилищного фонда сосредоточены в Хартюском, Ида-Вирусском, Тартуском и Пярнуском уездах, исследуемыми объектами являются жилые дома именно в этих местах. Распределение исследуемых жилых домов и квартир в зависимости от местоположения и года строительства приведено в Таблица 1.1.

Таблица 1.1 Распределение зданий и квартир в зависимости от их местоположения и года постройки

Место	Количество объектов в зависимости от года постройки							
	1945-1970		1971-1980		1981-1990		Всего	
	Здания	Квартиры	Здания	Квартиры	Здания	Квартиры	Здания	Квартиры
Таллинн	3	5	8	15	4	7	15	27
Вирумаа	2	2	2	2	1	1	5	5
Пярну	1	1	2	5	1	1	4	7
Тарту	2	2	2	2	2	5	6	9
Всего	8	10	14	24	8	14	30	48

Исследуемые объекты были отобраны из предложенного Союзом Квартирных товариществ Эстонии ряда многоквартирных домов. После выбора зданий можно выделить 6 наиболее распространенных типов многоквартирных домов, см. Таблица 1.2.

Таблица 1.2 Основные типы исследованных кирпичных домов.



4-5 этажные 2-4 подъездные типовые дома I-317 и I-318 (8 жилых домов)



5-9 этажные секционные дома из керамического кирпича (5 жилых домов)



Одноподъездный дом из силикатного кирпича высотой до 5 этажей (4 жилых дома)



10-этажные дома из силикатного кирпича. Арх. Р. Карп (3 жилых дома)



Жилые дома высотой до 5 этажей из нового силикатного кирпича (5 жилых домов)



Представительские здания, построенные после Второй Мировой войны (1 жилой дом)

Отчет об исследовании разделен на две части:

- отображение существующего состояния (гл. 2-14);
- краткое отображение решений для реновации (гл. 15).

## 2 Техническое состояние и дефекты граничных и несущих конструкций

### 2.1 Состояние стен

#### 2.1.1 Решения для стен и материалы

Наружные стены в кирпичных домах могут быть как многослойные, так и сплошными, см. Рисунок 2.1. Сплошные (массивные) стены, как правило, имеют толщину в 2 кирпича – 51 см.

Несущая часть многослойной конструкции обычно из силикатного кирпича, а облицовка может быть как из керамического, так и из силикатного кирпича. 6 см промежуток между фасадом и несущей конструкцией заполнен минеральной ватой. Фасадный слой соединен с несущей стеной горизонтальными или вертикальными рядами связующих кирпичей, жестким раствором со стальными креплениями или их комбинациями. Соединение спроектировано горизонтально (связующий ряд – каждый 4-6 ряд), вертикально с ~1,5–2 м шагом, стальные крепления (обычно неоцинкованные Ø4...6 мм) устанавливаются ~4 крепления/м<sup>2</sup>.

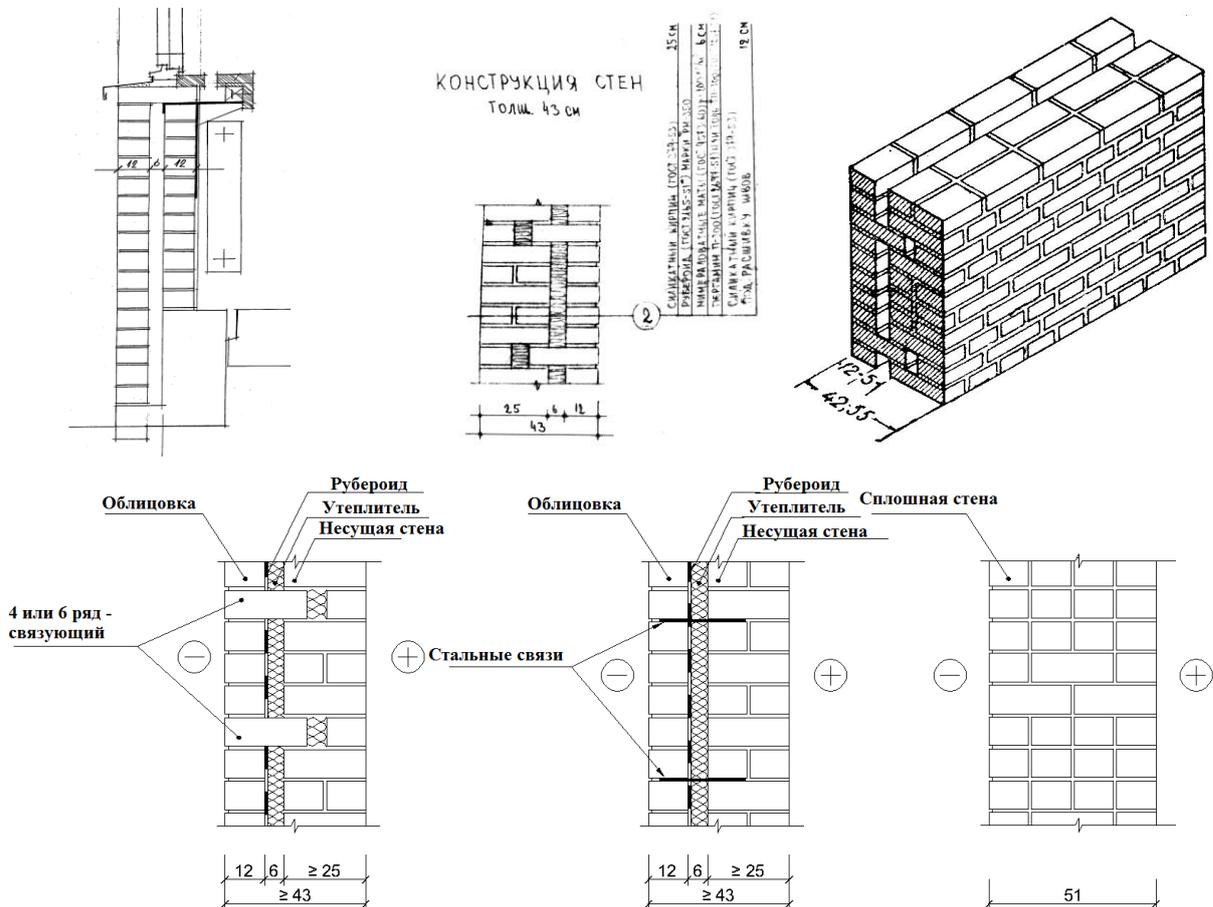


Рисунок 2.1 Основные решения для внешних стен кирпичных домов.

Внешняя облицовка из кирпича толщиной 12 см не влагостойкая. Из-за сильного дождя она намокает и вода попадает за фасадный камень. Для изоляции утеплителя от попадания воды используются в основном рубероид или толь. (см. Рисунок 2.2). Технически это не лучшее решение, так как на внешней поверхности утеплителя расположен влагонепроницаемый материал, который препятствует высыханию влаги. В проекте может быть предусмотрен также слой пергамина, рубероида или толи между утеплителем и несущим слоем. Подобное решение использовалось только однажды в

здании, построенном в 1989 году. В основном утеплитель был в прямом контакте с внешним фасадом, а сам фасад являлся не вентилируемым.



Рисунок 2.2 Между кирпичным фасадом и утеплителем может быть слой толя или рубероида.

В качестве оконных перемычек могут быть простые балки или железобетонные балки-перемычки, см. Рисунок 2.3. В старых домах также используется простые перемычки из кирпичей (как со стальным листом, так и без).

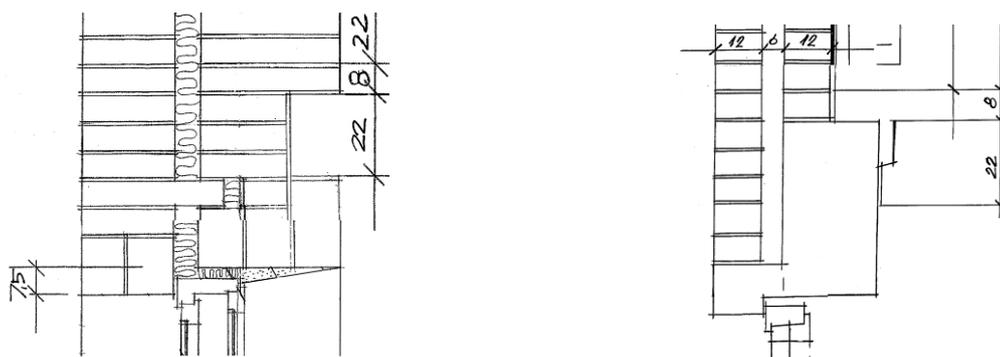


Рисунок 2.3 Решения для перемычек внешних стен: монтируемые железобетонные перемычки (слева) и железобетонная балка (справа).

Ненесущие стены в кирпичных зданиях имеют толщину 12 см. Стены между квартирами могут быть толщиной 25...38 см или другого размера в зависимости от размеров несущих стен.

В СССР производились силикатные кирпичи стандартного размера 250x120x65 мм или 250x120x88 мм; марками прочности 75, 100, 125, 150, 200 и 250, т.е. средняя прочность 5 кирпичей соответственно 7,5; 10; 12,5; 15, 20; 25 МПа. При определении прочностных свойств учитываются также минимальные показатели прочности на сжатие и на изгиб. Водопоглощение серого силикатного кирпича требовалось до 16% и морозостойкость по крайней мере 15 циклов замораживания-оттаивания (условием было то, что после 15 циклов прочность на сжатие становится 75% от изначальной).

Керамические кирпичи (плотные и пористые) стандартного размера 250x120x65 мм обладают марками прочности на сжатие 50, 75, 125, 150; 200, 250 и 300. Требуемая прочность на сжатие (средняя из 5 кирпичей) соответственно 5, 10, 12,5, 15, 20, 25 и 30 МПа. Среднее водопоглощение керамического кирпича, полученного пластическим методом, марки до 150 было по крайней мере 8%, и для более высоких марок не менее 6%. Предполагалось, что водопоглощение будет значительно ниже, а морозостойкость будет более 15 циклов. Основные свойства керамического кирпича в большей степени зависят от качества его обжига. Проще говоря, водопоглощение повышалось из-за недожога кирпича.

## 2.1.2 Основные проблемы внешних стен

### Разорванные связи, отслоившийся облицовочный слой

Во многих домах имеются серьезные проблемы со связями между фасадным слоем и несущей частью стены: наиболее важной является связь между кирпичами. Используя силикатный кирпич в несущих стенах, а керамический в качестве облицовки, кирпичи в кладке облицовки нельзя «перевязывать» из-за большой вероятности разрушения. Разрушение связующих камней может привести к отрыванию облицовки от несущей стены (Рисунок 2.4) или в худшем случае обвалу (Рисунок 2.5).

Причиной разрушения связующих кирпичей могут быть: разница теплового расширения и деформации керамического и силикатного кирпича, долгосрочное влияние ползучих деформаций на несущую стену, не должным образом закрепленная облицовка или проседание стены.

Для стальных перевязок проблемным является тот факт, что используются неоцинкованные проволочные анкеры, которые находятся во влажной (дождь, конденсат водяного пара) или агрессивной среде (фенолы стекловаты, сера и др.).



Рисунок 2.4 Разрушение перевязочного кирпича и облицовки примерно на 10 см с внешней стороны (слева). Для связи фасада со стороны несущей стены использованы анкера (справа).

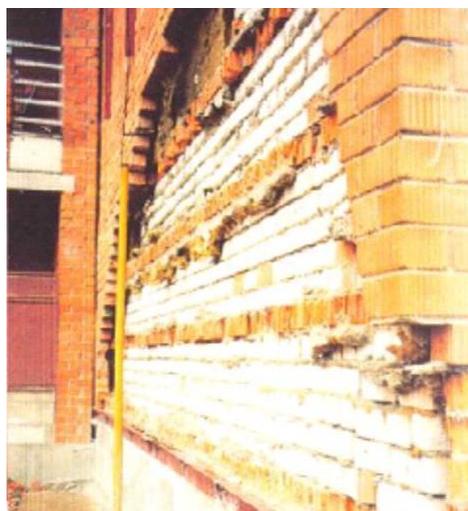


Рисунок 2.5 Разрушение связи между кирпичами (слева) может привести к разрушению облицовочной кладки (справа).

### Морозостойкость кирпичей

Морозостойкость – это свойство материала при насыщении водой выдерживать попеременные циклы замораживания-оттаивания. В эстонском климате, где температура часто бывает около нуля, и фасад должен выдерживать большое количество циклов замораживания-оттаивания, морозостойкость фасадного кирпича наиболее важна.

Морозостойкость ограничивается минимальным количеством циклов замораживания-оттаивания, после которых кирпич в состоянии выдерживать нагрузку без повреждения. Морозостойкость кирпича в среднем 15-50 циклов, это означает, что разрушение материала происходит после такого числа циклов замораживания-оттаивания. Условия, имитирующие реальные циклы попеременного замораживания-оттаивания, проводятся в соответствии со специальным стандартом.

Морозостойкость кирпича снижают открытые поры, по которым вода под действием капиллярных сил может проникать вовнутрь. В тоже время открытые поры помогают при кладке улучшить адгезию между раствором и камнем. Закрытые же поры только увеличивают морозостойкость, так как могут заполняться водой, замерзнуть и оттаивать без влияния на разрушение кирпича.

Водопоглощение и морозостойкость зависят от температуры обжига. Чем выше температура, при которой обжигается кирпич, тем меньше его открытая и закрытая пористости, а соответственно, выше морозостойкость и прочность на сжатие.

Когда намокает облицовка, циклы замораживания-оттаивания сопровождается расслаивание поверхности (см. Рисунок 2.6). Причиной повреждения может стать впитавшаяся внутрь через открытые поры вода, объем которой при замерзании создает дополнительные напряжения и время от времени нарушает структуру камня (см. Рисунок 2.7).



Рисунок 2.6 Поврежденная холодом облицовка из керамического кирпича (слева) и силикатного кирпича (справа).



Рисунок 2.7 Особенно серьезные проблемы от дождя и водяных нагрузок в районе парапета (слева) и в местах цоколя (справа).

### Лабораторные методы исследования морозостойкости кирпича

Целью исследования морозостойкости кирпича было выяснить максимальную морозостойкость и необходимость защиты фасадов. В ходе исследования были сняты показания с фасадов 12 домов (6 домов из силикатного кирпича и 6 из керамического в Таллинне, Саку, Тарту, Пярну и Силламяэ). Всего взято 69 проб (30 из керамического кирпича и 39 из силикатного). Образцы брали на различной высоте (Рисунок 2.8) и эксперименты проводили только с визуально целыми кирпичами.



Рисунок 2.8 Выбор кирпичей и их удаление из фасада.

В исследовательской лаборатории ТТУ полученные пробы кирпичей распилили и провели испытания образцов на морозостойкость. В ходе работы возникли проблемы с определением морозостойкости керамических образцов в виду отсутствия стандартизации. Таким образом, результаты получены тремя различными методами:

- На основе исследований по стандартам бетона (EVS 814) из полученных кирпичей взяты образцы размером 12х6,5х12 см. Образцы исследуются в резиновой оболочке, покрытые с пяти сторон слоем теплоизоляции (пенополистирол) так, чтобы шестая грань была открыта. (см. Рисунок 2.9). Исследуемой поверхностью кирпичей была поверхность фасада. После 7, 14, 28, 42 и 56 циклов измеряется потеря массы материала на единицы площади ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ).
- По стандарту (EVS-EN 772-18) определение морозостойкости силикатного кирпича происходило следующим образом: стандартные образцы опустили в воду температурой  $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$  (длинная грань в вертикальном направлении). Сначала образцы были утоплены на  $\frac{1}{4}$  высоты, в течение часа наполовину, ещё через час на  $\frac{3}{4}$  и в течение 24 часов утоплены полностью. В следующие 24 часа образцы были подняты из воды, и начался цикл замораживания. После цикла замораживания последовал цикл оттаивания образцов, опущенных в воду не менее чем на 2 часа. Всего провели 50 циклов. После испытаний в протокол внесли данные о повреждениях и результаты проверки на прочность.
- Керамические и силикатные кирпичи, проводя исследования по стандарту ГОСТ 7025, разрезали на образцы толщиной  $\sim 50$  мм перпендикулярно поверхности фасада. Замораживание образцов происходило под действием направленной циркуляции воздуха в термокаме при температуре  $(-18 \pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$  продолжительностью 4...16 часов и

оттаивание в обычной воде при температуре  $(+18\pm 2)$  °C продолжительностью 2 часа. В целом, продолжительность одного цикла замораживания-оттаивания была от 6 до 18 часов. В самом начале испытаний и после 25, 50, 75 и 100 циклов замораживания проводился тщательный осмотр образцов и измерение изменения его массы. Удовлетворительный результат морозостойкости фиксировался с учетом потери массы и отсутствия повреждений.

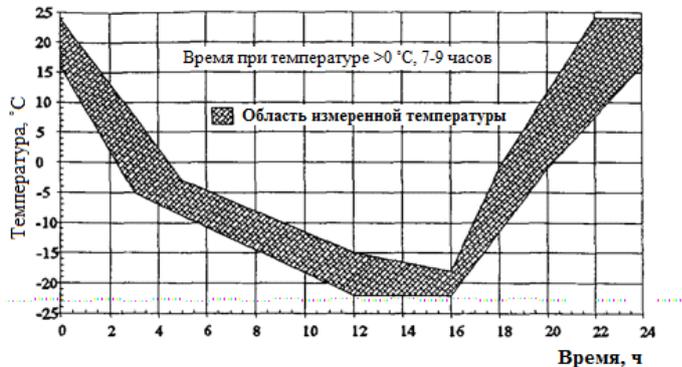


Рисунок 2.9 График зависимости температуры от времени нахождения образца в холодной среде по стандарту (EVS 814:2003) (слева). Образец из силикатного кирпича после 56 циклов замораживания-оттаивания (справа).

### Результаты лабораторных исследований морозостойкости кирпича

Сравнивая требования к срокам использования кирпичного фасада и бетонного, можно оценивать морозостойкость кирпича по стандарту бетона (EVS 814). Фасады жилых домов могут быть адаптированы к классу окружающей среде XF1, т.е. умеренно насыщены водой без противообледенительных средств. Показатель морозостойкости  $S_{56} \leq 0,50$  означает, что потеря массы материала после 56 циклов замораживания-оттаивания не должна превышать  $0,50 \text{ кг/м}^2$  или когда  $S_{56}/S_{28}$  меньше, тогда  $2S_{56} \leq 1,00$  означает, что потеря массы после 56 циклов меньше, чем  $1,00 \text{ кг/м}^2$ .

Исходя из результатов исследования можно утверждать, что в сравнении с бетонным фасадом, морозостойкость силикатного кирпича значительно ниже, независимо от времени постройки и если адаптировать методы исследования морозостойкости бетона на фасадный кирпич, то состояние дома по результатам морозостойкости можно считать прискорбным. (см. Рисунок 2.10). Однако следует учитывать, что метод испытания нормального бетона не подходит для исследования керамического кирпича. Потеря массы кирпича после 56 циклов замораживания-оттаивания в большинстве случаев равна нулю, в то время, как по всей Эстонии наблюдаются повреждения от мороза именно на керамических фасадах. Причина маленькой потери веса в ходе испытания может быть связана с предварительной подготовкой кирпичей к исследованию. Образцы складываются таким образом, чтобы вода не поступала на горизонтальную поверхность кирпича. На практике горизонтальная поверхность кирпичей частично открыта. Водопоглощение горизонтальной поверхности кирпича выше, чем вертикальной, соответственно именно через открытую горизонтальную поверхность в кирпич попадает вода. В ходе эксперимента этого не произошло, а значит, нельзя сделать выводы, что керамический кирпич более морозостоек, чем силикатный. Конечно, свою роль может сыграть то, что для опыта выбирались визуально целые кирпичи и их морозостойкость ещё не исчерпана. Сравнение керамических и силикатных кирпичей может оказаться проблематичным ещё и из-за того, что водопоглощение и скорость водопоглощения кирпичной кладки превышают во много раз показатели бетона.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

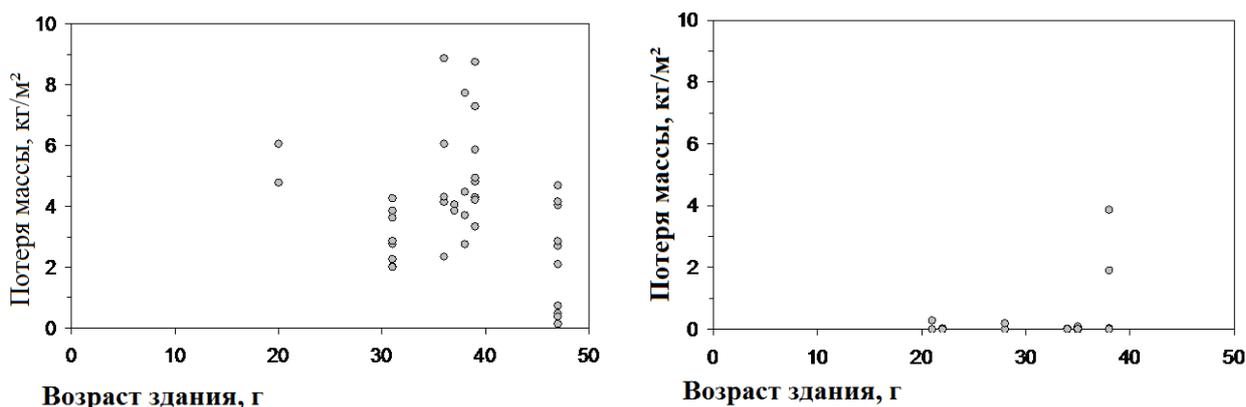


Рисунок 2.10 Потеря массы силикатного (слева) и керамического кирпича (справа) после 56 циклов замораживания-оттаивания.

Небольшая морозостойкость фасадов крупнопанельных домов была их большой проблемой. (Каламеес и др. 2009). По той же методике (EVS 814), пришли к выводу, что результаты исследования морозостойкости фасадов крупнопанельных зданий и кирпичных фасадов находятся в одном диапазоне.

Морозостойкость раствора, используемого для швов на поверхности, должна соответствовать показателям кирпича. Низкая морозостойкость раствора, растрескивание и высокое водопоглощение кирпича (особенно пустотелого) могут ускорить его разрушение.

Похожая картина с керамическим и силикатным кирпичем, морозостойкость которых определена по методике исследования бетона. Однако для кирпича было бы разумным брать результаты после 15 циклов замораживания-оттаивания, исходя из свойств этого материала.

Фасадные кирпичи двух зданий были исследованы по стандарту силикатных кирпичей (EVS-EN 772-18). В исследовании (в ходе 50 циклов на замечено видимых ошибок) прочность на сжатие была выше 28 МПа. (см. Таблица 2.1).

Таблица 2.1 Прочность на сжатие образцов из силикатного кирпича после 50-ти циклов замораживания.

Здание	Прочность на сжатие после цикла замораживания-оттаивания, МПа			
	1	2	3	4
3120	54,2	29,0	34,5	70,3
3130	50,3	28,1	52,9	48,1

Если подходящих эстонских и международных (EN, ISO) стандартов для испытания керамического кирпича нет, то испытания проводят по стандарту ГОСТ 7025, см. Таблица 2.2.

Масса образцов из керамического кирпича 1140 после 100 циклов замораживания-оттаивания не изменилась, но на образцах 1 и 2 появились трещины.

Вырезанный из керамического кирпича 1240 образец 3 после 55 и образец 1 после 62 циклов замораживания-оттаивания начали расслаиваться. Средняя потеря массы после 75 циклов была 4,6 %. После 100 циклов замораживания образцы 1 и 3 разрушились. У остальных трех образцов потери массы и трещин не наблюдалось.

Образец 5, вырезанный из керамического кирпича 2150, после 58 циклов замораживания-оттаивания разделился на 2 части. После 100 циклов потери массы ни у одного из образцов не наблюдалось, но на образцах 5 и 6 появились трещины.

Увеличение массы связано с поглощенной водой, заполнившей микротрещины, образовавшиеся в результате замораживания-оттаивания. При замерзании вода расширяется и разрушает камень.

Таблица 2.2 Изменение массы образца из керамического кирпича после циклов замораживания-оттаивания по стандарту ГОСТ 7025.

Здание и образец		Масса исследуемого образца после цикла замораживания, г					Изменение массы в % после циклов замораживания			
		0	25	50	75	100	75		100	
		Циклы замораживания					един.	сред.	един.	сред.
1140	-1	923	927	929	930	931	0,8	0,6	0,9	0,8
	-2	831	834	836	838	840	0,8		1,1	
	-3	866	871	873	875	876	1,0		1,2	
	-4	848	851	852	853	854	0,6		0,7	
	-5	807	810	809	806	806	-0,1		-0,1	
1240	-1	797	801	803	770	разрушен	-3,4	-4,6		-
	-2	823	825	826	827	831	0,5		1,0	
	-3	823	826	819	638	разрушен	-22,5			
	-4	715	720	721	723	724	1,1		1,3	
	-5	738	742	744	746	748	1,1		1,4	
2150	-5	642	645	645	645	646	0,5	0,5	0,6	0,7
	-6	864	866	867	868	872	0,5		0,9	
	-7	726	728	728	730	731	0,6		0,7	

Повреждения кладки по причине погодных условий зависят от неоднородности, наличия отверстий в ней, а также от места расположения фасада. У юго-западных фасадов повреждения от погодных условий всегда больше, чем у остальных. Также на стабильность фасада влияет наличие рядом деревьев.

Из результатов начальных исследований видно, что в домах из силикатного кирпича, построенных в разное время, морозостойкость кирпичей до третьего этажа относительно в норме и ухудшается после достижения высоты четвертого этажа. В области окна, где кладка подвержена большому потоку воды, морозостойкость силикатного кирпича значительно понизилась.

Подводя итог, на основе визуального осмотра и лабораторных исследований, можно говорить о незначительных проблемах морозостойкости кирпичей фасада. Естественные циклы замораживания-оттаивания портят в первую очередь фасад из керамического кирпича. На проблемы с морозостойкостью указывают разрушенные от дождя поверхности и отвалившиеся части кирпичей по периметру здания. Большие куски силикатных кирпичей отламываются только в случае очень больших дождевых нагрузок в тех местах, откуда вода не может вытекать быстро после попадания.

### Повреждения от воды

Фасады могут разрушаться из-за низкой морозостойкости кирпича и большой нагрузки воды на здание. Зачастую основной нагрузкой на фасад является нагрузка от воды: дождь и таяние снега. Главным образом, осадки, попадающие на фасад, являются причиной уменьшения морозостойкости, намокания стены и роста микробов.

Вода проникает в стены из-за утечек в водосточных трубах (см. Рисунок 2.11). Риски и основные причины повреждений кирпичных зданий от воды следующие:

- Отсутствуют жестяные отливы окон или защитное покрытие парапета (решение без сгибов или слишком опущенное вниз, проржавевшее) (см. Рисунок 2.12).
- На более высоких этажах нагрузка от осадков выше.
- Растительность и деревья вблизи здания.
- Детали фасада (наземные и антенные кабели, реклама на фасадах), по которым вода попадает на стену. (см. Рисунок 2.13).
- Конденсируемый водяной пар вентиляционной трубы (см. Рисунок 2.14).

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

В зимнее время высыхание фасада идет медленно из-за низкой температуры, высокой влажности и недостаточного солнечного излучения.

Разрушенные кирпичи поглощают больше воды, из-за чего слой кладки разрушается быстрее. Вода попадает на утеплитель, расположенный за облицовочным слоем, влага распространяется ещё и на несущий слой. При разрушении происходит инфильтрация, и часть теплоизоляции теряет свои свойства. В дополнение к этому, внешний вид здания теряет свою эстетичность. Если не устранить причины, разрушаются как оштукатуренные стены, так и стены с замененными кирпичами.



Рисунок 2.11 Большой вред стене может нанести утечка в водосточной трубе. Потерявший морозостойкость кирпич, который обновлен несколько лет назад (внизу справа).

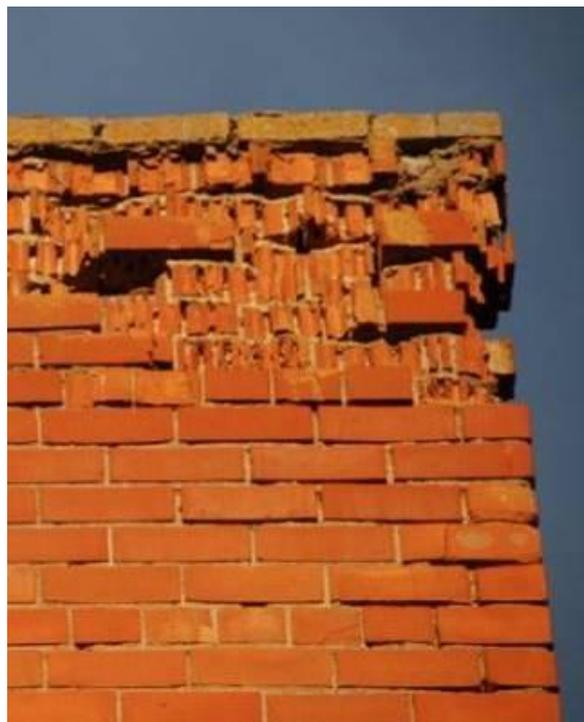


Рисунок 2.12 Отсутствующий жестяной отлив и незащищенный парапет могут стать причиной разрушения кирпича.



Рисунок 2.13 Вода, стекающая по кабелям на фасад – причина разрушения кирпичей.



Рисунок 2.14 К разрушению фасадного кирпича может привести конденсируемый в верхней части вентиляционной трубы водяной пар и отсутствующие жестяные покрытия на трубе.

### Несущая способность и качество кладки

Несущая способность кирпичной кладки зависит от свойств кирпича и раствора, а также от качества и условий кладки. Из-за того, что раньше уровень качества работы каменщиков не был высоким, в старых домах каменные работы выполнены не качественно (Рисунок 2.15, Рисунок 2.16). Сброс кирпичей в хаотичном порядке особенно большая проблема в забутовочных рядах кладки. В забутке могут присутствовать кирпичи различного качества, поэтому слой раствора может быть очень толстым.

Из-за неодинаковости размеров и неоднородности толщины швов, кирпичи могут изгибаться и трескаться. Под действием сжатия на кирпичах и растворе из-за продольных и поперечных деформаций в кирпиче могут возникать растягивающие напряжения. Если кирпичи опираются на раствор не всей поверхностью, а только отдельными частями, то помимо сжимающих напряжений в них будут возникать ещё изгибающие и касательные напряжения. Если в процессе производства кирпичей был произведен контроль качества и надзор (тестирование кирпича на начальном уровне осуществить проще), тогда качество раствора для кладки может варьироваться в большом диапазоне. Однако чем меньше прочность раствора, тем быстрее в кладке могут образоваться трещины и произойти обвал. Если в кладке не заполнены вертикальные швы, это может нарушать монолитность стены. В дополнение к этому, в местах вертикальных швов происходят растягивающие и касательные напряжения (кладка разрушается быстрее), нарушается воздухо- и звукопроницаемость стен, а также их влаготехнические свойства.



Рисунок 2.15 В старых домах качество кладки оставляет желать лучшего.



Рисунок 2.16 Небрежно сложенная несущая стена: не заполненные раствором вертикальные швы, хаотическое соединение, одиночные камни и пр.

Из-за оседания здания, «ползучей деформации», плохого качества связующего раствора или неправильно сложенных перемычек во многих исследованных домах кирпичные перемычки на пару сантиметров смещены или даже отвалились от стены (см. Рисунок 2.17). Хотя разрушение перемычек не сильно влияет на прочность здания, отвалившиеся кирпичи могут повредить нижние этажи или даже нанести повреждения прохожим.



Рисунок 2.17 Развалившиеся перемычки, щели и кирпичи, поврежденные из-за отсутствия жестяного отлива стены.

Появление трещин на кирпичной стене (см. Рисунок 2.18) может быть связано с несколькими факторами: качество кладки, просадка фундамента, несоответствующие нагрузки, вибрации от движения вокруг здания, различные нагрузки и деформации в разных частях кладки, недостаточное количество деформационных швов и т.д. Длина трещины в разных частях здания может варьироваться от пары десятков сантиметров до практически всей высоты сооружения.

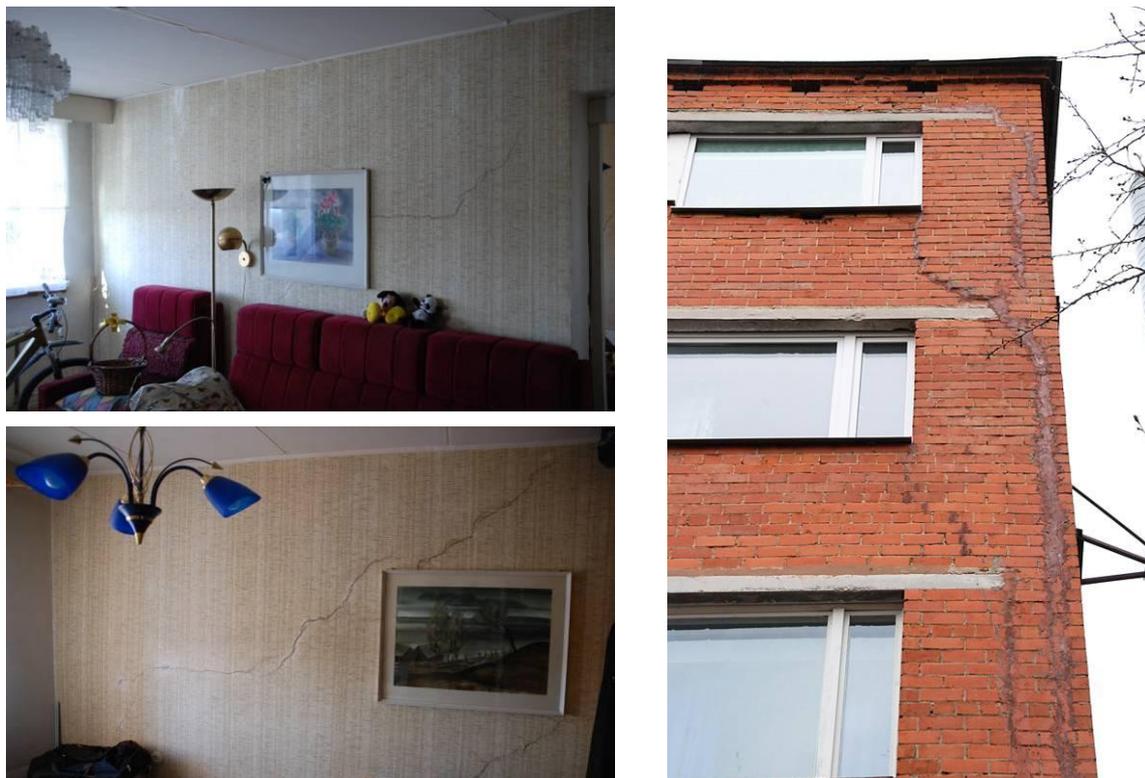


Рисунок 2.18 Поперечная трещина на несущей стене здания (слева) и трещина на торцевой стене (справа), которые вызваны просадкой фундамента и плохим качеством кладки.

### Прочность на сжатие кирпича

Прочность на сжатие – одно из основных свойств кирпича, как конструктивного материала. Определялась прочность на сжатие по стандарту EVS-EN 771 в ТТУ, в лаборатории исследования строительных материалов. В ходе исследования были изъяты образцы кирпичей из фасадов 12 жилых домов (6 из силикатного кирпича и 5 из керамического кирпича домов Таллина, Саку, Тарту, Пярну и Силламяэ). Всего взято 39 образцов (13 из керамического кирпича и 26 из силикатного). Для исследования выбирались кирпичи без внешних повреждений. До проведения измерений силикатные кирпичи разделили напополам (на одной половине кирпича проверяли прочность на сжатие, со второй частью проводили опыты по определению морозостойкости), затем отрезали сломанную часть. Небольшие неровности на поверхности сжатия выравниваются шлифованием или большим количеством цементного раствора. Площади сжатия керамического кирпича выравниваются резкой. Прочность на сжатие измеряют перпендикулярно положенной поверхности и для получения сравнимых результатов все кирпичи находятся в состоянии воздушной сушки.

Поскольку для проведения теста не были предоставлены образцы одинаковой формы и размера, и методы измерения отличаются от стандартных, результаты измерений прочности на сжатие проведены с образцами следующих форм:

- Высота и диаметр основания цилиндра 100x100 мм: коэффициент, зависящий от формы, в данном случае равен 1,12. Отсюда, редуцированная прочность на сжатие цилиндрического образца равна  $12,7 \times 1,12 = 14,2$  МПа.
- У прямоугольных образцов размеры длины и высоты отличаются примерно в 2 раза, поэтому расчеты коэффициента следует делать более точно и по методике ГОСТа. Таким образом получаются результаты, существенно отличающиеся (выше) от тех, которые получены путем стандартных испытаний.

Исследуемые дома относятся к периоду, когда требуемая прочность на сжатие фасадного кирпича должна была достигать  $25 \text{ Н/мм}^2$ . Необходимая прочность на сжатие была  $15 \text{ Н/мм}^2$ . Прочность на сжатие всех исследованных образцов была выше  $15 \text{ Н/мм}^2$  (см.

Рисунок 2.19). Несмотря на долговременное влияние погодных условий в период эксплуатации, в фасаде практически нет неповрежденных силикатных кирпичей, из-за чего их прочность значительно снижена. Хотя в ходе опытов фасадные кирпичи показывают достаточную прочность, следует принимать во внимание тот факт, что исследуемые образцы были без внешних повреждений.

При оценке прочности кладки следует учитывать прочность раствора на сжатие и прочность сцепления раствора с кирпичем. Пока кирпичи извлекают из стены, можно дать субъективную и относительную оценку прочности раствора. В исследуемых зданиях разница прочности колеблется от раствора, который можно выковыривать даже без рабочих инструментов, до материалов, благодаря которым затупились или даже сломались буровые сверла.

Трещины в несущих стенах следует рассматривать со всей серьезностью, так как их наличие может означать проблемы в фундаменте или всей несущей способности. Трещины в остальных стенах несущей способности здания не угрожают. Однако проблема перегородок в недостаточной звуко- и воздухопроницаемости (в последнем случае, проникновение запахов, уменьшение пожарной безопасности и др.) и опасности небольшого обрушения.

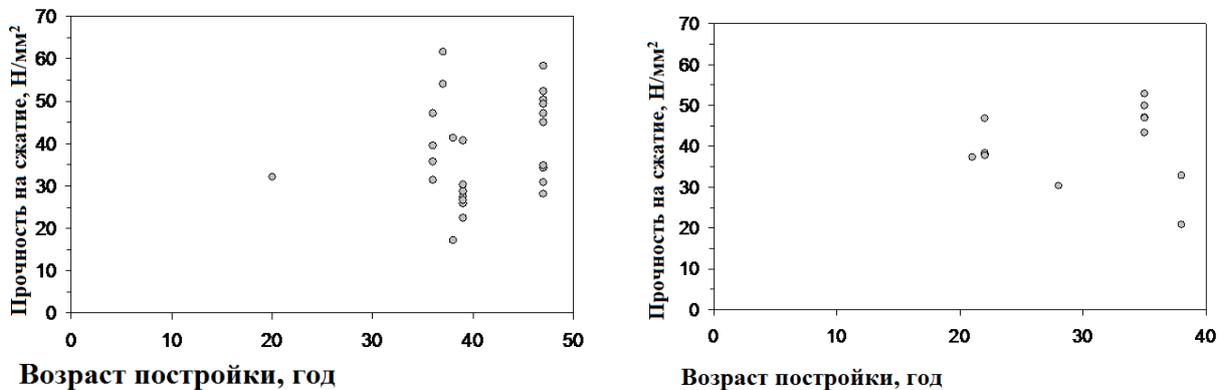


Рисунок 2.19 Прочность на сжатие силикатного (слева) и керамического кирпича (справа).

### Теплопроводность внешних стен

При обычном вскрытии стены, в дополнение к связующему ряду кирпичей, был найден 10-сантиметровый слой из раствора и прочего строительного мусора, использованный в качестве утеплителя и создающий дополнительные мостики холода. Раствор бывает даже там, где нет связующего ряда кирпичей. Проседания ваты, которое часто и является причиной мостиков холода, в исследуемых домах не замечено, однако местами вата отсутствовала полностью, см. Рисунок 2.20.

Хотя во многих конструкциях присутствует слой дополнительного утепления, из примеров видно, что выполнен он не правильно. Во время проектирования не были указаны места соединений и ограничения разрешения на строительство. По этой причине у строителя нет конкретного решения, по которому необходимо строить, а у технадзора нет решения, по каким критериям оценивать. Строительный процесс на площадке идет быстро, времени проектировать на месте не хватит. В проекте реновации дополнительной теплоизоляции должны быть представлены все важнейшие решения узлов и деталей (например, на уровне рабочего проекта в масштабе 1:10...1:25). В дополнение к типовым конструкциям в проекте должны присутствовать решения различных других конструкций и проемов. Расчет внешней температуры показал, что дополнительная теплопроводность мостиков холода на внешних границах не превышает теплопроводности из энергорасчетов, а температурный индекс находится в допустимых пределах ( $\leq 0,8$ ). Даны инструкции по достижению воздухопроницаемости граничных поверхностей.



Рисунок 2.20 Отсутствующая теплоизоляция в кирпичном доме.

Следующие фотографии (см. Рисунок 2.21) хорошо отреставрированных, на первый взгляд, домов, с серьезным строительным браком. Из-за решения утеплителя, нет возможности высокой экономии энергии, из-за чего рентабельность инвестиций снижается. Дополнительные работы по утеплению стоит проводить очень осторожно.

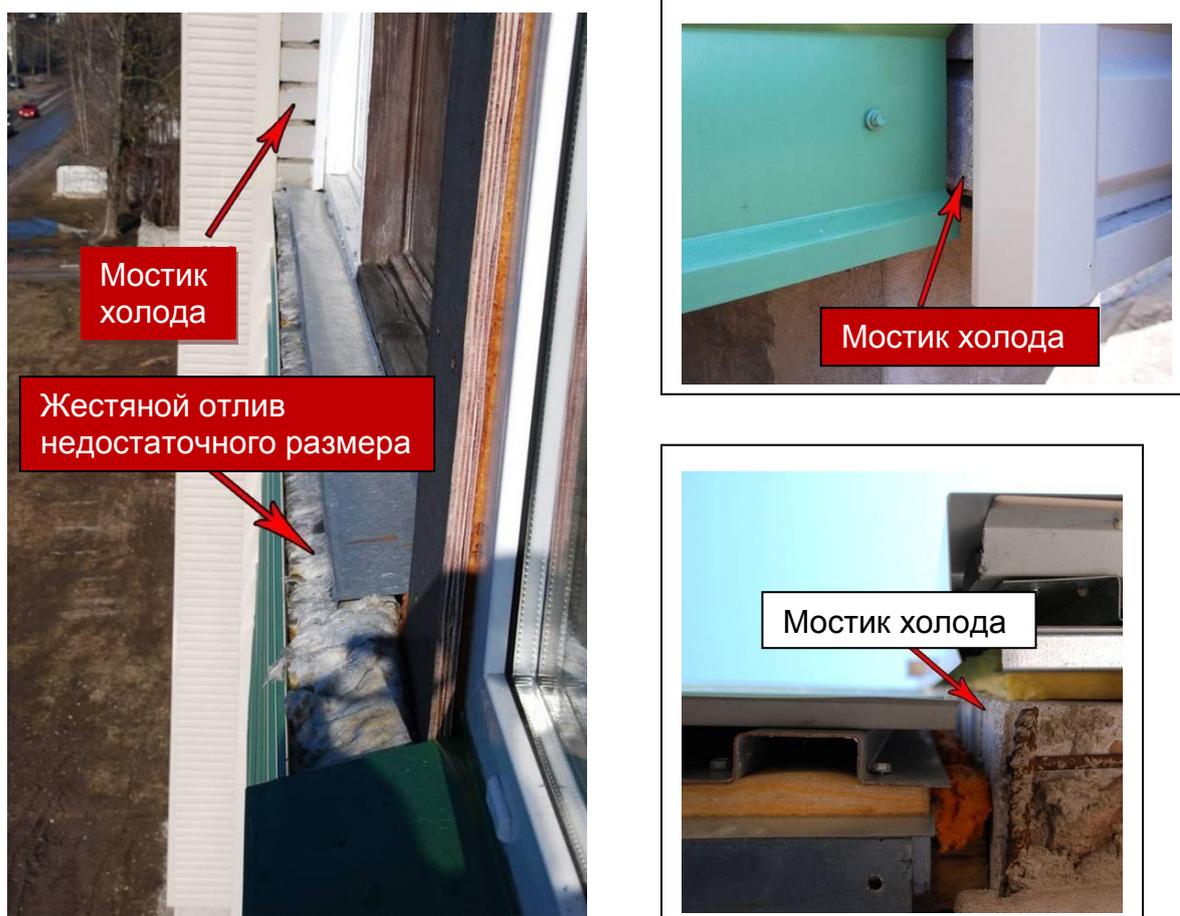


Рисунок 2.21 Конструктивные решения при пристальном рассмотрении подвержены серьезному строительному браку: из-за неустановленного карниза утеплитель не защищен (слева), из-за неправильного решения соединения стены образовался мостик холода (справа).

Ещё одной серьезной проблемой, в дополнение к ненадлежащему качеству строительства, стала дополнительная внутренняя теплоизоляция кирпичных стен. С ее помощью внутренняя температура кирпичной стены снижается, что приводит к увеличению относительной влажности, создавая благоприятные условия для роста плесени (см. Рисунок 2.22). Подобный рост плесени является большой проблемой, так как люди не замечают его и не принимают никаких мер по его устранению.

**В кирпичных домах внутренняя дополнительная теплоизоляция неприемлема.**



Рисунок 2.22 Дополнительная внутренняя изоляция стала причиной роста плесени внутри стены.



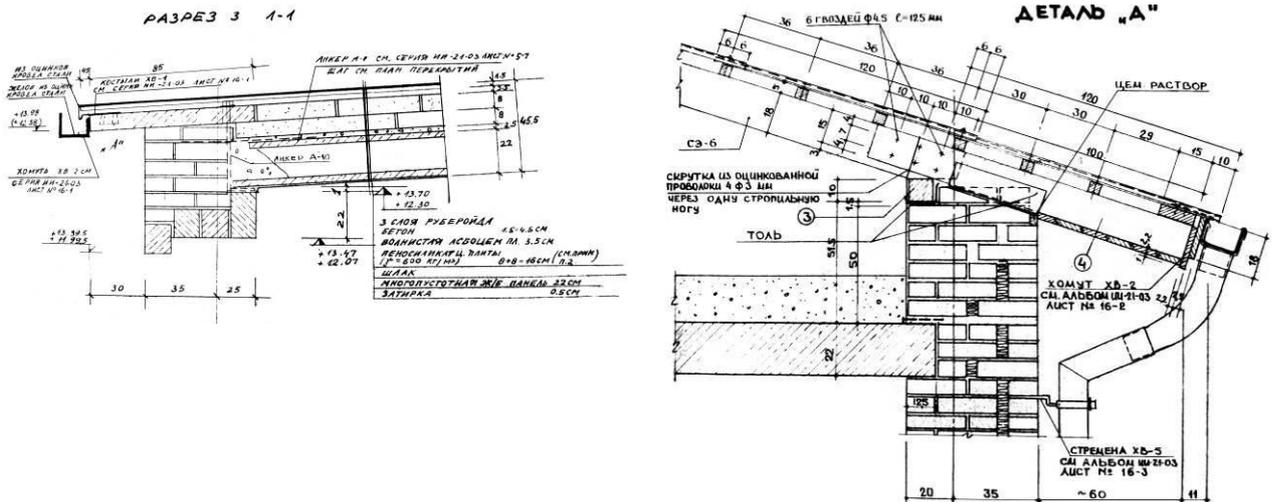


Рисунок 2.24 Решения карнизов скатной крыши.

## 2.2.2 Основные недостатки крыш

В общем случае, крыши с этернитным покрытием (скатные) и крыши, покрытые рубероидом (плоские) в течение 20-30 лет достигли стадии, на которой необходимо заменить кровлю. В данных домах с плоской крышей в течение 15 лет эти крыши были обновлены или отремонтированы. Крыши с покрытием из этернита заменены на профилированную жезь с уложенным под нее нижним покрытием. Плоские крыши обычно реновируют, устанавливая рулонное покрытие СБС. Также в ~1/3 домов в ходе обновления плоской крыши была установлена дополнительная изоляция.

Утечки происходят как на скатных крышах, так и на плоских. Основные места утечек находятся возле труб, в местах соединения крыши и внешних стен, местах входов на крышу и люков (см. Рисунок 2.25). В последствии, из-за течи разрушается крыша, вода попадает на нижние части конструкции или стены (см. Рисунок 2.26).



Рисунок 2.25 Типичные места утечек на скатных крышах в районе труб, люков и других отверстий в крыше (слева).



Рисунок 2.26 Течь крыши (слева) и стекшая с крыши вода могут повредить часть стены верхних этажей.



Рисунок 2.27 Конструкции крыши, поврежденные водой (слева). Растительность на крыше задерживает поток воды и повреждает покрытие (справа).

Холодная зима 2010 года выявила дома с отсутствующей теплоизоляцией крыши. Сосульки на карнизе являются ее верным признаком (см. Рисунок 2.28). Сосульки, образовавшиеся из-за отсутствия теплоизоляции, вызывают не только энергетические проблемы, но и опасны для жизни людей.



Рисунок 2.28 Сосульки на карнизе – верный признак отсутствия теплоизоляции на крыше.

Основные проблемы крыш кирпичных домов:

- неплотное покрытие крыши;
- мостики холода, особенно в местах соединения внешней стены и крыши, а также в районах лоджий, шахт и труб;

- высокая теплопроводность;
- конденсирование водяного пара посредством конвекции и диффузии из внутреннего помещения на проветриваемое пространство или чердак;
- недостаточная вентиляция чердака и крыши;
- течи на поверхности крыши;
- лужи на крыше, недостаточные скаты (особенно в области труб), засорение дождевых стоков;
- обветшалые и требующие ремонта трубы.

### 2.3 Состояние балконов и навесов

Общее состояние балконов и лоджий было удовлетворительным и проблемы были меньше, чем у железобетонных панельных домов. Однако встречаются на железобетонных навесах над подъездами и в районе пола балкона/лоджии значительные разрушения бетона и обнажение арматурных стержней (см. Рисунок 2.29). В этом случае требуется полностью убедиться, что после перестройки навеса он не будет угрожать жизни людей. Другая возможность заключается в том, чтобы построить на месте ветхого козырька новый.

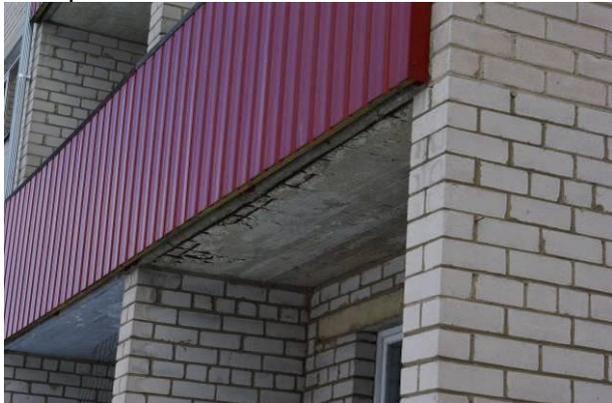


Рисунок 2.29 Расслаивающийся пол лоджии (слева) и навес у входа в подъезд (справа).

Сейчас реновированы покрытия многих лоджий. К сожалению, ремонт и остекление лоджий и балконов происходит хаотично и без единого решения. Такой подход существенно портит общий городской вид (см. Рисунок 2.30).



Рисунок 2.30 Произвольно остекленные лоджии и балконы.

Другой важной проблемой остекления балконов и лоджий является улучшение среды для роста плесени.



Рисунок 2.31 Рост плесени на внутренней стене лоджии.

Обычное дело, когда на балконе или лоджии сушат белье, или через балкон проветривают все помещение квартиры. Если же застеклить балкон или лоджию, то внешние стены остаются без дополнительного утепления и температура поверхности очень низкая. При остеклении не обращают внимания и на вентиляцию. Поскольку после остекления балкона или лоджии частота их использования увеличивается (сушка белья), содержание водяного пара там увеличивается также. Из-за низкой температуры и высокого содержания водяного пара относительная влажность внутренней поверхности конструкций очень высокая, может образовываться плесень (см. Рисунок 2.31). Если в многоквартирном доме планируется остекление балконов или лоджий, необходимо, чтобы происходило это в рамках единого решения. В случае лоджий, ее можно сделать даже частью комнаты. В этом случае, исчезают проблемы мостиков холода, и уменьшается площадь внешних стен в доме. Это снижает количество энергии, потребляемой на отопление. Но на балконах/лоджиях, и во всех неотапливаемых помещениях, следует следить за воздухообменом. На остекленных лоджиях и балконах не желательна сушка белья.

## 2.4 Состояние фундаментов, цоколей и подвальных этажей

В наблюдаемых домах был либо ленточный фундамент из железобетонных блоков или известняка, либо железобетонный столбчатый фундамент (старые типовые дома 1-317 и 1-317).

Существенные недостатки фундамента и цоколя были следующими:

- неравномерное проседание фундамента и причиненный этим ущерб;
- повреждения цоколя (в основном, повреждения штукатурки из-за потока дождевой воды);
- поврежденное покрытие цоколя;
- неправильные скаты покрытия цоколя.

Основной проблемой подземных этажей можно считать высокую теплопроводность пола. Многие жители квартир на первых этажах жаловались на холодный пол.

## 2.5 Состояние перекрытий, лестниц и лестничных клеток

В кирпичных жилых домах перекрытия выполнены в основном из железобетонных панелей. В старых домах можно наблюдать также перекрытия по деревянным балкам.

Общее положение перекрытий удовлетворительное. Однако серьезной проблемой перекрытий можно считать низкую звукоизоляцию, а также повреждения или полное отсутствие гидроизоляции.

При реконструкции несущих элементов деревянных перекрытий следует обратить внимание на огнестойкость.

Лестницы и лестничные клетки находятся в хорошем состоянии, однако требуют санитарного ремонта.

### 2.6 Состояние окон и дверей

В кирпичных зданиях решение окон и балконов примерно одинаковое: две рамы с двумя стеклами (старые дома) или одна рама с двумя-тремя стеклами.

Тепло-, воздухо- и звукоизоляция окон и дверей низкая. Теплопроводность окна можно оценить  $U \approx 3...2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . В настоящее время теплопроводность в три раза меньше. Утечки воздуха через окно были необходимы для естественной вентиляции: окно было одним из основных источников свежего воздуха в доме. Но проблема состоит в том, что из-за неконтролируемой утечки воздуха, его частый обмен приводит к большим расходам энергии.

В дополнение к плохой тепло-, воздухо- и звукопроницаемости окон и дверей, существуют следующие проблемы:

- Нет возможности разом открыть все окна для проветривания жилого помещения (защелки не в порядке или отсутствуют),
- Краска может отслаиваться, а древесина подвержена опасностям от влаги (окна подвалов, расположенные близко к земле).

### 2.7 Пожаробезопасность

Исходя из требований пожарной безопасности в кирпичных домах есть следующие проблемы:

- В зданиях отсутствует разделение по противопожарным секциям. Учитывая, что сейчас проектируемая квартира должна быть отдельной противопожарной секцией, можно исходить из этого же при восстановлении старых домов. Входные двери в квартирах меняют в основном из желания обезопасить имущество от воров, однако двери должны отвечать сертификатам противопожарной безопасности (на противопожарной двери должны быть указаны: класс огнестойкости, буква эксплуатационного руководства (или номер сертификата), имя производителя, год производства);
- Проходы коммуникаций через строительные конструкции не обладают требуемой огнестойкостью;
- Стеснена безопасная эвакуация и затруднена возможность осуществления спасательных работ. Если главная дверь подъезда является ещё и запасным выходом, эвакуация и спасательные работы ещё более усложняются;
- Складирование горючего материала в подвалах, подъездах и коридорах;
- Недостаточное количество установок обнаружения пожара для скорейшего предотвращения распространения огня и дыма и безопасной эвакуации. Во многих случаях отсутствуют в квартирах дымовые датчики, хотя в жилых домах должны быть автономные детекторы пожарной безопасности (советуют иметь их в каждой комнате).

### 3 Мостики холода

Мостики холода – это конструктивные участки здания, где высокая теплопроводность. Мостики холода могут быть геометрическими (внешний угол стены, соединение пола и наружной стены, стык наружной стены и крыши и т.д.) или строительно-техническими (соединение облицовки, внутренние конструкции и др.). К локальному уменьшению внутренней температуры могут привести ошибки в установке теплоизоляции, полное отсутствие утеплителя, промокшая изоляция, воздушные течи в условиях пониженного давления и действия отопительной и вентиляционной систем. В эстонском климате учитывать мостики холода необходимо по следующим причинам:

- Высокая теплопроводность мостиков холода связана с низкой температурой внутренней поверхности и вытекающее из этого увеличение относительной влажности может привести к росту микроорганизмов на конструкции, намоканию внутренней поверхности или попаданию конденсируемого водяного пара внутрь. Водяной пар конденсируется, если температура опускается ниже температуры насыщения и относительная влажность составляет 100%. Для роста плесени подходят относительная влажность 75...80% и комнатная температура;
- Мостики холода увеличивают расход энергии здания. Из-за общего снижения теплопроводности внешних ограждений рост теплотерь здания увеличивается.;
- Низкие температуры на больших площадях уменьшают тепловой комфорт из-за большой конвекции воздуха и неравномерного его распространения.

Поскольку тепловые потери внешних конструкций (внешние стены, пол, крыша) рассчитываются с помощью теплопроводности внешних конструкций и измеренной внутренней площади, при нахождении теплотерь мостика холода дополнительного утепления необходимо брать в учет линейные  $\Psi$ , Вт/(м·К) и точечные  $\chi$ , Вт/(шт·К) мостики холода. Дополнительная проводимость – это теплотери в ваттах через мостик холода, когда разница температур составляет один градус. При необходимости, суммарная дополнительная проводимость преобразуется в среднюю теплопроводность внешних конструкций делением на площадь внешних конструкций.

#### 3.1 Методы

##### 3.1.1 Критический уровень мостиков холода

Температурный индекс или критичный уровень низкой температуры внутренней поверхности, связанной с мостиком холода, определяется при помощи отношения температуры внутренней поверхности, температуры внешнего и внутреннего воздуха.

$f_{Rsi}$ : (Hens 1990, EVS-EN ISO 13788):

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (3.1)$$

kus:

$f_{Rsi}$	температурный индекс, -;
$t_{si}$	температура внутренней поверхности, °C;
$t_i$	температура воздуха внутри, °C;
$t_e$	температура воздуха снаружи, °C;
$R_T$	общее теплосопротивление ограждений, м <sup>2</sup> ·К/Вт;
$R_{si}$	теплосопротивление внутренней поверхности ограждений, м <sup>2</sup> ·К/Вт.

При проведении термографии или во время измерения температуры снаружи есть возможность вычислить все три значения температур, поэтому таким образом можно определить критичность мостиков холода.

Границы критичности температурного индекса определяют:

- критерии работы внешних ограждений;
- условия использования здания;
- внешний климат;
- микроклимат;
- нагрузки от влажности;
- используемые строительные материалы.

В Эстонии значения температурного индекса определяются исходя из нагрузок от влаги, а также из критериев уменьшения роста плесени и критериев избегания водяного пара (см. Таблица 3.1). Преимущественно следует учитывать критерий по снижению роста плесени. Например, если на окне предполагается короткий период конденсации водяного пара, то можно использовать критерий водяного пара. Если в помещении высокая нагрузка от влаги (отсутствует вентиляция, большая выработка влаги), внешние границы и места их скрепления должны быть лучше утеплены.

Предельные значения температурного индекса необходимо сравнить с результатами термографии в нормальных условиях, а не в условиях пониженного давления. Проводить измерения следует при работающей вентиляции. Если в здании пониженное давление (например, вытяжная вентиляция + недостаточная подача свежего воздуха), тогда видно влияние воздушных течей на температуру поверхности без создания дополнительного пониженного давления.

Таблица 3.1 Предельные значения температурного индекса в Эстонии.

Нагрузка от влаги	Предельные значения температурного индекса $f_{Rsi}$ (измеренные или рассчитанные результаты должны быть больше предельного значения)	
	Избежание плесени	Избежание конденсации
Содержание влаги зимой +6 г/м <sup>3</sup> и летом +2,5 г/м <sup>3</sup> (здания с высокой населенностью и плохой вентиляцией)	0,8	0,7
Содержание влаги зимой +4 г/м <sup>3</sup> и летом +1,5 г/м <sup>3</sup> (здания с низкой населенностью и хорошей вентиляцией)	0,65	0,55

Температурный индекс мостиков холода и ограждающих конструкций определяет ещё и то, насколько высоко может подняться относительная влажность воздуха внутри, без конденсации водного пара и образования плесени (см. Рисунок 3.1). Из рисунка видно, что необходимо использовать значение температурного индекса 0,8, если среднее значение нагрузки от влаги не четко зафиксировано или если относительная влажность воздуха внутри может подниматься зимой до 45%.

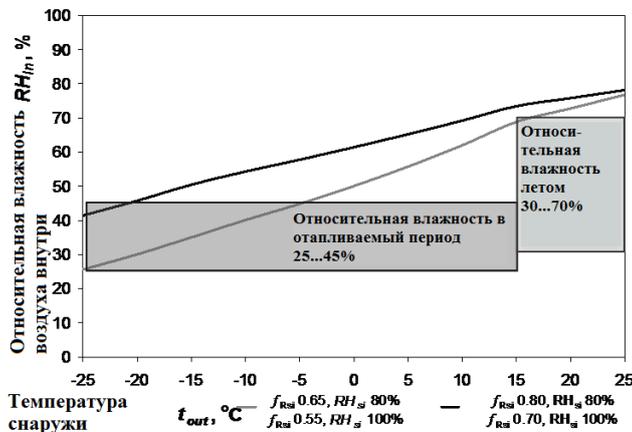


Рисунок 3.1 Зависимость относительной влажности воздуха внутри и температурного индекса от температуры воздуха снаружи.

### 3.1.2 Оценка мостиков холода при помощи термографии и инфракрасной камеры

Тело, температура которого выше абсолютного нуля, т.е.  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выделяет тепловую энергию. С помощью термографии можно определить излучающуюся или отражающуюся энергию, а также условия окружающей среды и свойства поверхности излучения, или рассчитать температуру поверхности.

С помощью термографии в строительстве можно проводить различные исследования без вскрытия конструкций. В первую очередь с ее помощью можно:

- определить перепады температур на ограждениях здания, которая приводит к неоднородности теплопроводности и влагосодержания;
- оценить по температуре внешних границ, на сколько отличается их теплопроводность;
- найти места утечек воздуха и оценить их размеры, проведя термографию при нормальных условиях и в условиях повышенного или пониженного давления;
- оценить качество строительства: мостики холода, места утечек воздуха и отсутствующий слой утепления связаны в первую очередь с плохим качеством строительства;
- найти водопроводные трубы в стенах и полу, а также перегретые электропровода.

**С помощью термографии нельзя измерить теплопроводность ограждений здания**

Влияние условий окружающей среды на результаты измерений и неточность оценки сопротивляемости внутренней поверхности очень велики, чтобы термографией можно было определять теплопроводность внешних конструкций здания. Термокамера используется для измерения мгновенной температуры поверхности. Предпосылки для успешных результатов термографии: качественные измерительные приборы, опытный измеритель, правильное толкование термофотографий.

В исследовании использовались термокамеры FLIR Systems E320 (диапазон измерений –  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , чувствительность:  $0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , точность измерений:  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+2\%$  (при повторном измерении:  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+1\%$ ), сенсор:  $320 \times 240$  пикселей). Измерения проводились в обычных условиях квартиры (чтобы определить мостики холода и воздушные течи в нормальных условиях). В выбранных квартирах измерения делали 2 раза: чтобы после нахождения воздушных течей заново провести измерения через полчаса в условиях пониженного давления. Через места воздушных течей воздух снаружи попадает внутрь, охлаждая внутреннюю поверхность, и разница температур на двух термоснимках указывает на места этих течей. При измерении разница внешней и внутренней температур была  $>20\text{ K}$ . Также во время измерения внешней и внутренней температур чрезвычайно важно, чтобы относительно предыдущих данных изменения происходили равномерно.

Температура внутренней поверхности хорошо утепленной стены выше, а соответственно, температурный индекс больше. В районе мостика холода температура внутренней поверхности ниже, поэтому относительная влажность там больше. Высокая относительная влажность может стать причиной быстрого роста плесени (см. Рисунок 3.2).

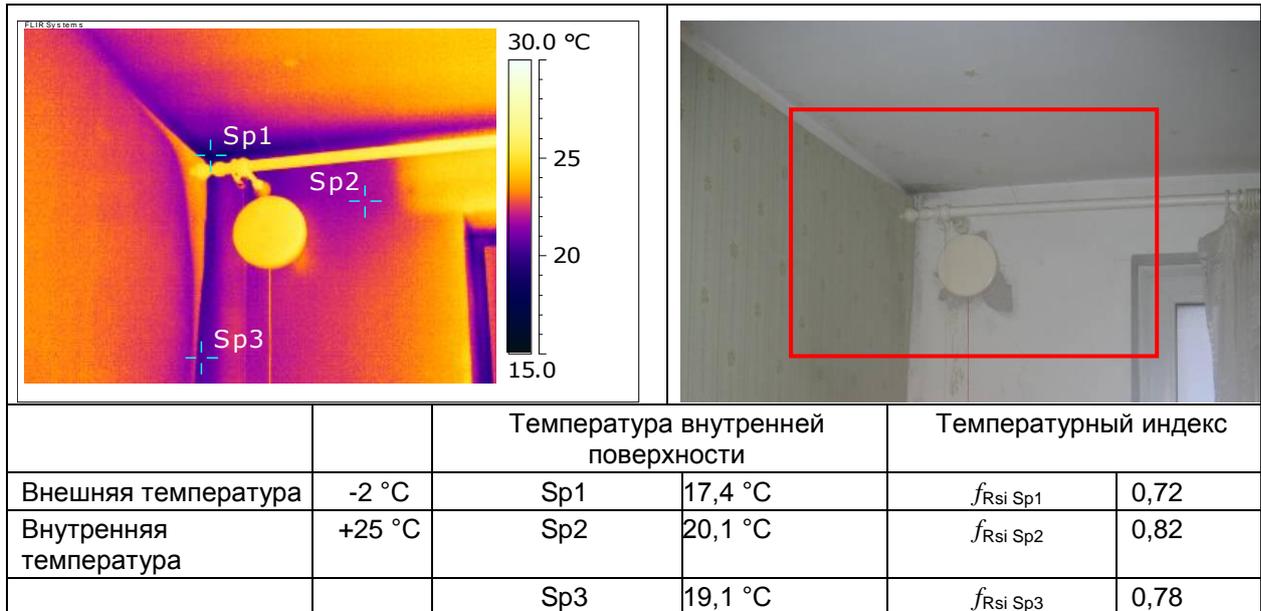


Рисунок 3.2 Использование термографии при измерении температуры поверхности и оценке критичности мостиков холода.

### 3.1.3 Оценка мостиков холода при учете внешней температуры

При расчете мостиков холода через внешнюю температуру можно:

- оценить критичность мостиков холода;
- определить величину дополнительной проводимости тепла мостика холода.

Оценить критичность мостиков холода можно при помощи температурного индекса. В оценке потери тепла проводимость тепла через мостики холода очень важна. Поскольку потери тепла рассчитываются исходя из ширины внешних стен, нельзя обойтись без учета угла (см. Рисунок 3.3).

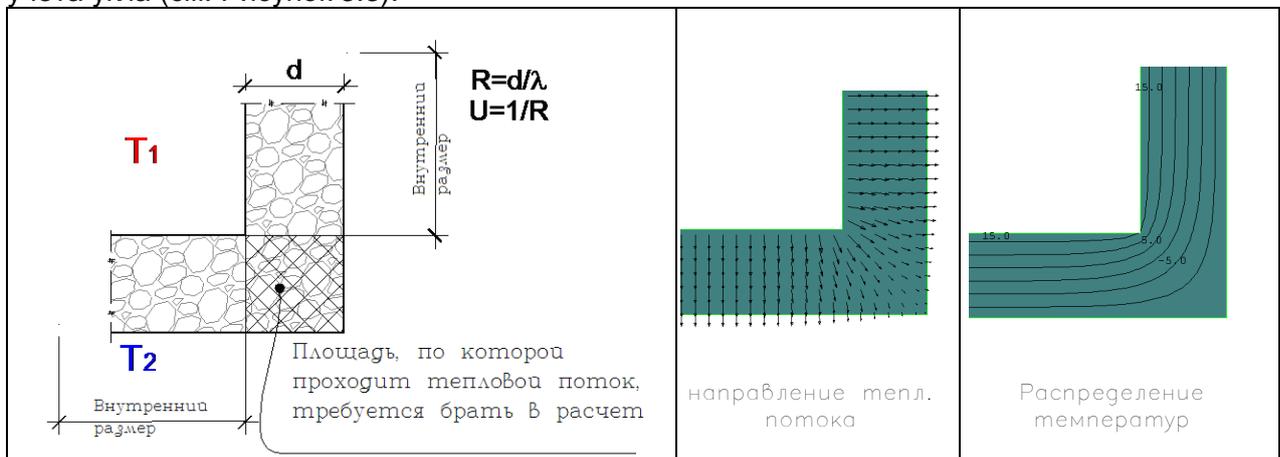


Рисунок 3.3 Геометрический мостик холода на углу внешней стены.

В проведенном исследовании использовались данные о температуре по программе THERM 6.1. В расчет брались как температуры и тепловые сопротивления (см. таблицу 3.2), так и теплоемкости материалов (см. Таблица 3.3). Рассчитана теплопотеря через места стыков конструкции, учитывая свойства различных материалов и их толщины в местах стыков.

При расчете дополнительной теплопроводности и температурного индекса мостика холода используются различные величины теплового сопротивления внутренней поверхности, поэтому в энергорасчете (дополнительная проводимость мостиков холода) используется среднее значение сопротивляемости. Влажно-технический расчет (температурный индекс мостиков холода) делают на основе предельных величин, где

90% случаев не превышают положенного уровня, а 10% все-таки превышают). Стандарт EVS-EN ISO 10211-1:2000 советует использовать следующие значения теплового сопротивления для определения критичности мостиков холода:

- оконное стекло  $R_{si} = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;
- верхняя часть комнаты  $R_{si} = 0,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;
- нижняя часть комнаты  $R_{si} = 0,35 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;
- площадь за шкафами  $R_{si} = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

По стандарту EVS-EN ISO 13788:2001 рекомендуется делать расчет мостиков холода, применяя следующие тепловые сопротивления:

- оконное стекло  $R_{si} = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;
- остальное пространство  $R_{si} = 0,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Таблица 3.2 Значения теплового сопротивления для расчетов.

	Тепловое сопротивление в зависимости от направления теплового потока		
	Вверх (потолок)	Горизонтально (стена)	Вниз (пол)
$R_{si}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (при расчете дополнительной проводимости мостиков холода)	0,10	0,13	0,17
$R_{si}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (при расчете температурного индекса)	0,17	0,25 (в нижней части стены) 0,20 (в верхней части стены)	0,25
$R_{se}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	0,04	0,04	0,04

Таблица 3.3 Свойства материалов для расчетов.

Материал	Теплопроводность $\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
Кладка из силикатного кирпича	0,9
Кладка из полого силикатного кирпича	0,7
Кладка из керамического кирпича	0,7
Ж/б панель или плита	2,0
Древесина	0,14
Опилки	0,09
Стекловата	0,07
Ветрозащитные панели	0,16
Кукермит	0,16
Силикальцит	0,2

## 3.2 Результаты

### 3.2.1 Результаты термографических измерений

Термографические измерения были проведены в 15 домах. Тесты были сделаны как внутри здания, так и снаружи. Таким образом, они позволяют конкретнее оценить критичность мостиков холода. Термография наружной стены может дать более точное представление о размерах мостиков холода и основных местах их расположения. Результаты термография показывают, что основными местами утечки тепла являются:

- место соединения внешней стены (как боковая, так и торцевая) и кровли (см. Рисунок 3.4);
- место соединения лоджии или балкона с внешней стеной (см. Рисунок 3.5);
- места вокруг проемов (см. Рисунок 3.6);
- место соединения цоколя и внешней стены (см. Рисунок 3.7);

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

- связующие ряды внешней стены (см. Рисунок 3.8).

При термографии здания на термоснимках места с высокой теплопроводностью (мостики холода) отмечены темными/сине-черными цветами.

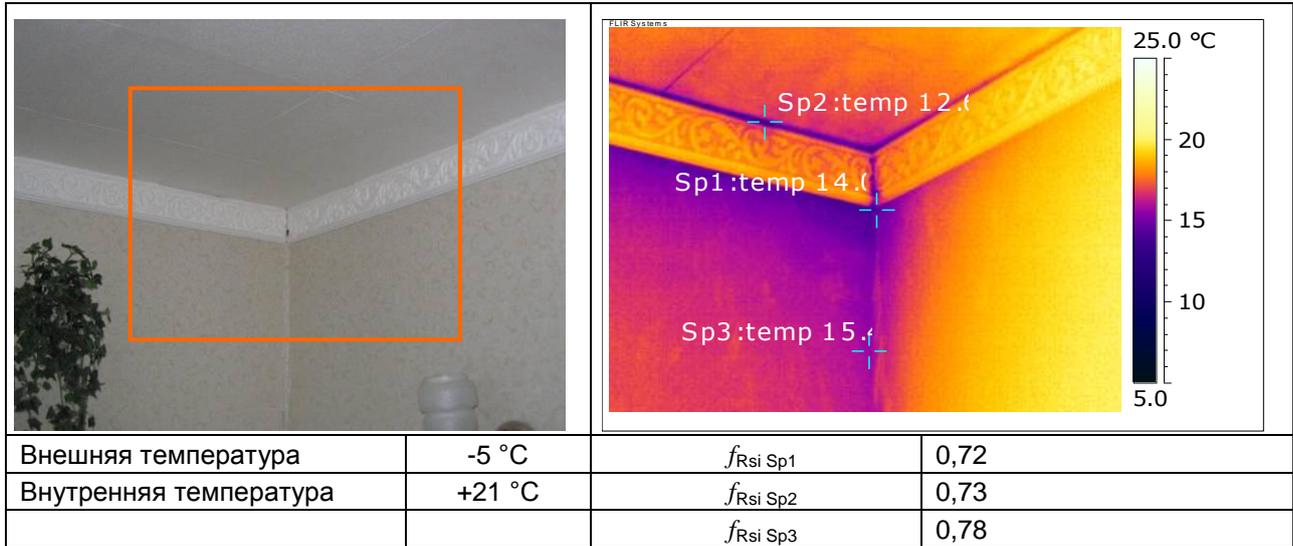


Рисунок 3.4 Стык стены и кровли.

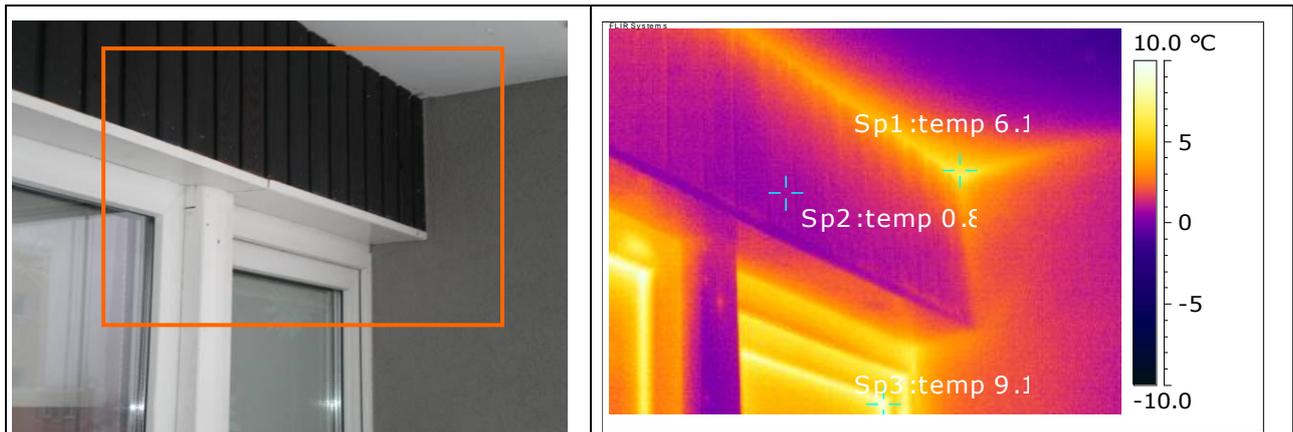


Рисунок 3.5 Соединение лоджии и внешней стены.

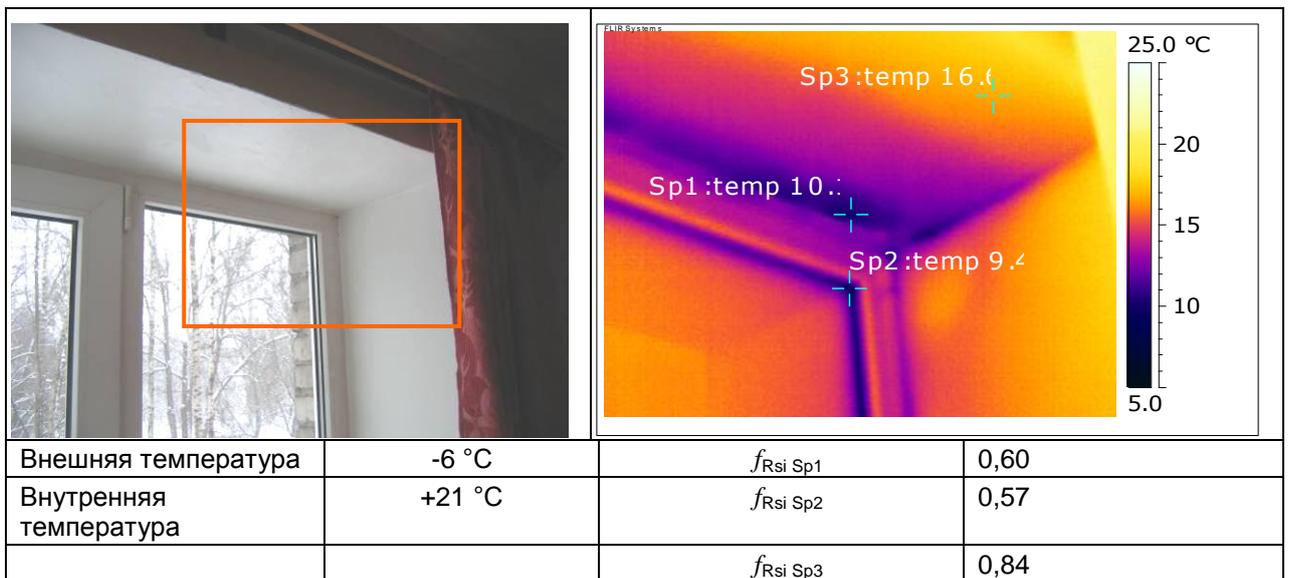


Рисунок 3.6 Вокруг окна.

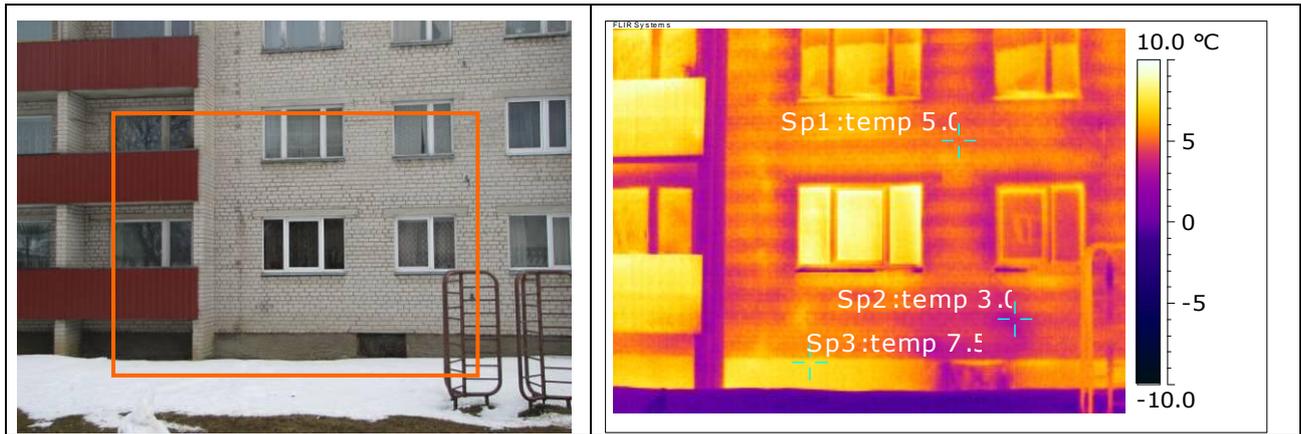


Рисунок 3.7 Верхушка цоколя.

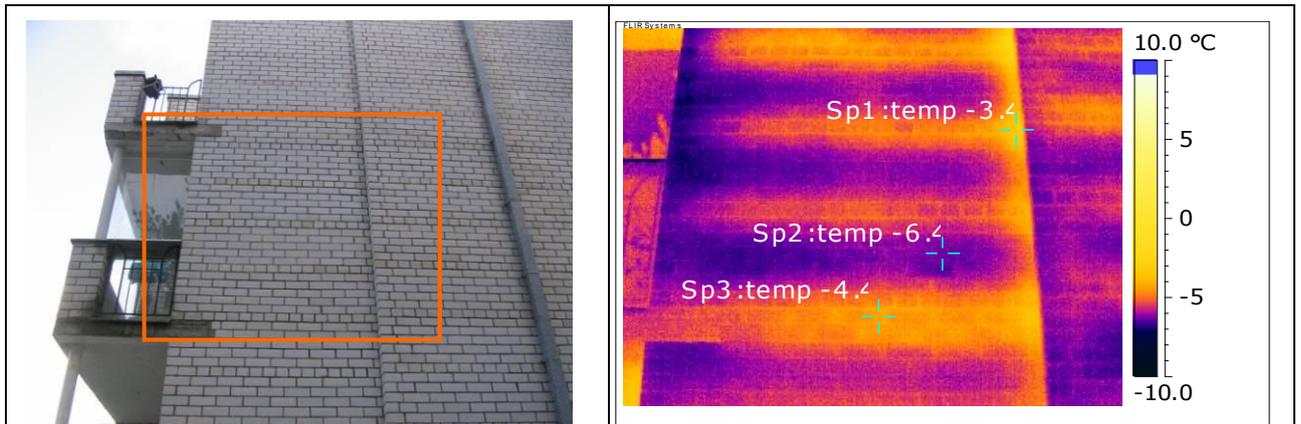


Рисунок 3.8 Ряды соединения кирпичей на внешней стене.

### 3.2.2 Результаты расчетов

Помимо сосредоточения на термографии, это исследование также уделяет внимание расчетному анализу мостиков холода, так как:

- В энергетических расчетах старых кирпичных домов нет величин дополнительной теплопроводности;
- При использовании инфракрасной термографии влияние внешних условий на точность измеренных результатов черезчур высокое.

Проводился анализ в стедующих местах:

- внешний угол внешней стены;
- соединение стены и перекрытия;
- соединение внешней и внутренней стены;
- парапет;
- соединение окна и стены.

Заранее проверяется сходимость измеренных и рассчитанных результатов с помощью температурного индекса, см. Рисунок 3.9. Расчетные величины найдены по различным типам конструкций или с помощью мест их соединений. Для упрощения сравнения результатов при сходимости используют среднее арифметическое, а при больших отличиях - интервал значений.

Разница между рассчитанными и измеренными температурными индексами маленькая за счет хорошего строительного и проектного решения, а также свойств материала (при расчете берут среднее значение или значение с небольшим запасом). Также следует принимать во внимание разницу температур поверхности и воздуха с предыдущими значениями и учитывать погрешности. На рисунке двумя горизонтальными линиями указаны границы роста плесени: при маленькой нагрузке от влаги  $f_{Rsi} > 0,65$ , при большой

нагрузке от влаги  $f_{Rsi} > 0,8$ . Две этих линии указывают на то, что в существующем микроклимате кирпичных домов появление плесени неизбежно. В целях улучшения микроклимата (улучшенная вентиляция, надлежащее отопление) можно воспользоваться знакомыми методами. Комплексное решение состоит в дополнительном утеплении граничных конструкций, улучшении вентиляции и отопления.

Чтобы рассчитать теплопотери здания необходимо знать, сколько тепла уходит из комнаты посредством мостиков холода. Оценить это можно с помощью величины дополнительной проводимости мостика холода. В конкретном узле дополнительная проводимость зависит от свойств материала и расположения материала. В рамках этого проекта были рассчитаны проводимости выбранных мостиков холода. Влияние свойств материала и расположения на мостики холода было различным. На следующем рисунке приведены некоторые примеры различного влияния мостиков холода.

На Рисунок 3.10 представлено решение, где в кирпичной связке присутствуют ещё и полые панели, и опилки. В дополнение к этому, между опилками и полую панелью присутствует 25 мм слой раствора. Таким образом тепло уходит не только из места соединения потолка и стены, но и с верхней части стены. Важно также то, что опилки не покрывают всю поверхность панели. На Рисунок 3.11 приведено решение с меньшим мостиком холода, которое связано с непрерывной теплоизоляцией, расположенной на 140 мм над слоем опилок. Для различных вариантов соединений двускатной крыши и внешней стены дополнительная проводимость получилась в пределах  $\Psi = 0,41 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) \dots 0,58 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и температурный индекс  $f_{Rsi} = 0,70 \dots 0,74$ .

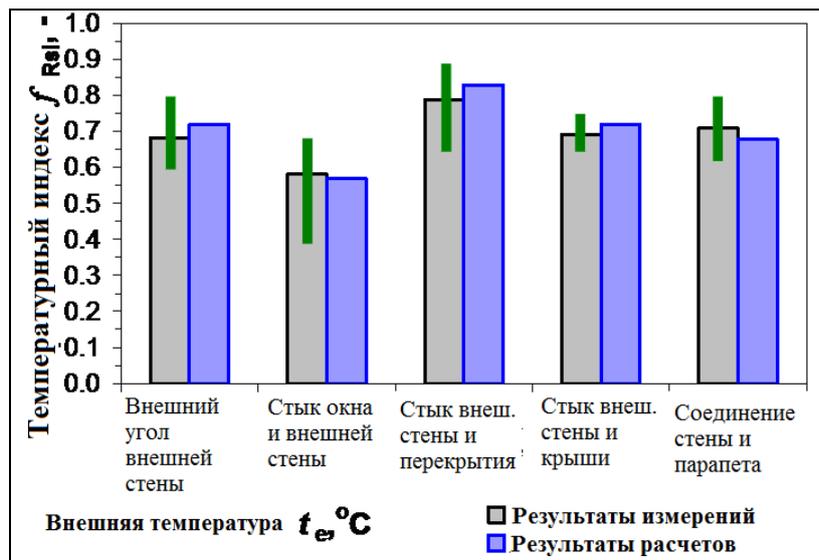


Рисунок 3.9 Сравнение измеренного и рассчитанного значений температурного индекса.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

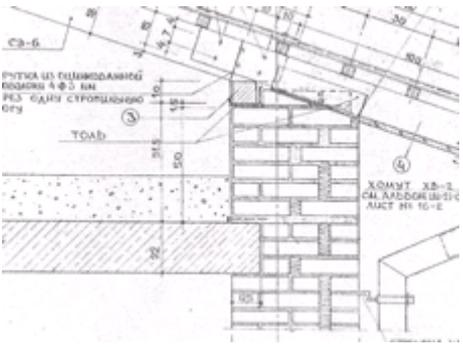
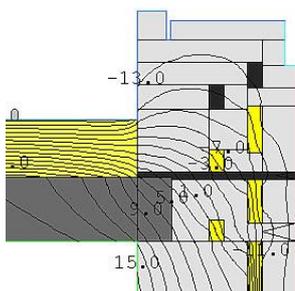
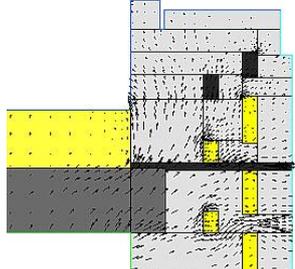
Внешняя стена:	38 см силикатный кирпич + 5 см минеральная вата/связующее для кирпича + 12 см силикатный кирпич		
Потолок:	22 см пустотная панель + 20 см опилки		
			
Температурный индекс $f_{Rsi}$	0,70		
Дополнительная теплопроводность $\Psi$ , Вт/(м·К)	0,58		

Рисунок 3.10 Вертикальный разрез места соединения 55 см кирпичной стены и двускатной крыши (слева, проект 1Е-318-32), распределение температуры (в центре) и направления тепловых потоков (справа).

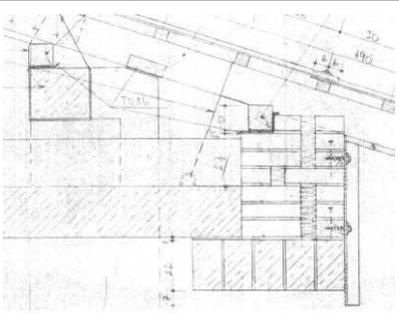
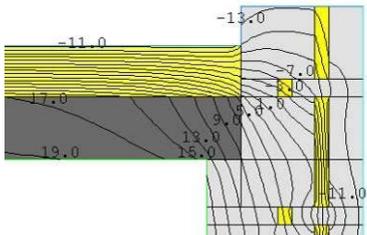
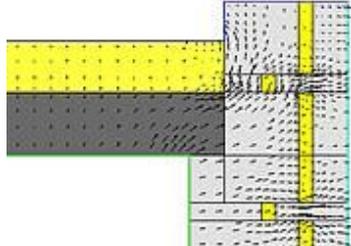
Внешняя стена:	38 см силикатный кирпич+ 5 см мин. вата + 12 см силикатный кирпич		
Потолок:	22 см пустотная панель + 18 см опилки		
			
Температурный индекс $f_{Rsi}$	0,74		
Дополнительная теплопроводность $\Psi$ , Вт/(м·К)	0,41		

Рисунок 3.11 Вертикальный разрез места соединения 55 см кирпичной стены и двускатной крыши (слева, проект 1Е-318-32), распределение температуры (в центре) и направления тепловых потоков (справа).

Узел внешней стены и парапета крыши анализировали в ходе рассмотрения пяти различных решений. На следующем рисунке приведены примеры расчетов двух различных узлов. В итоге дополнительная проводимость получилась в диапазоне  $\Psi = 0,33 \text{ Вт/(м·К)} \dots 0,45 \text{ Вт/(м·К)}$  и температурный индекс  $f_{Rsi} = 0,62 \dots 0,74$ . При применении полученных результатов на практике необходимо помнить о том, что потери в местах мостиков холода могут быть выше, а температурный индекс ниже представленных в исследовании.

Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Внешняя стена:	38 см силикатный кирпич – 5 см мин. вата/связующее для кирпича + 12 см силикатный кирпич	
Потолок:	22 см пустотная панель + 6 см мин. вата (в месте соединения стены и потолка толщина слоя минеральной ваты 12 см)	
Температурный индекс $f_{Rsi}$	0.74	
Дополнительная теплопроводность $\Psi$ , Вт/(м·К)	0,45	

Рисунок 3.12 Вертикальный разрез места соединения 55 см кирпичной стены и парапета крыши (слева, проект DV/N-57-3), распределение температуры (в центре) и направления тепловых потоков (справа).

Внешняя стена:	25 см силикатный кирпич + 5 см мин. вата + 12 см силикатный кирпич	
Потолок:	22 см пустотная панель + 20 см пенокукермит.	
Температурный индекс $f_{Rsi}$	0.77	
Дополнительная теплопроводность $\Psi$ , Вт/(м·К)	0,33	

Рисунок 3.13 Вертикальный разрез места соединения 42 см кирпичной стены и двускатной крыши (слева, проект ТК-94-VI), распределение температуры (в центре) и направления тепловых потоков (справа).

В домах типа 317 и 318 в выпирающих частях стен и месте соединения крыши дополнительная проводимость  $\Psi = 0,17$  Вт/(м·К) и температурный индекс  $f_{Rsi} = 0,76$ , см. Рисунок 3.14. Таким образом, тут положение лучше, чем в узле крыши и парапета. Связано это с тем, что теплопроводность древесины в углу крыши в 6 раз меньше, чем силикатного кирпича.

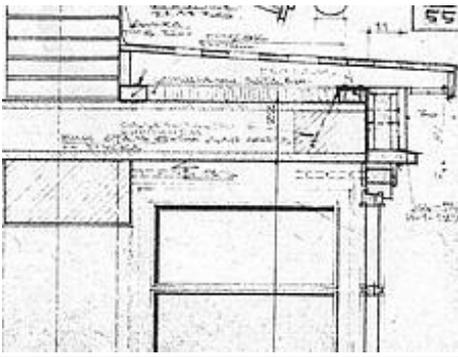
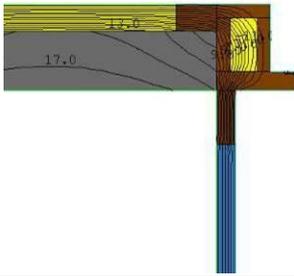
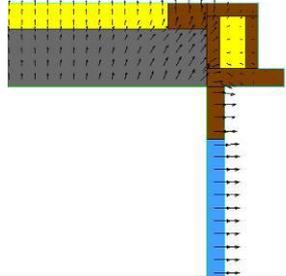
Внешняя стена:	Окно	
Крыша:	22 см пустотная панель + 10 см мин. вата	
		
Температурный индекс $f_{Rsi}$	0,76	
Дополнительная теплопроводность $\Psi$ , Вт/(м·К)	0,17	

Рисунок 3.14 Вертикальный разрез места соединения эркера внешней стены и крыши (слева, проект 1-317А-143), распределение температуры (в центре) и направления тепловых потоков (справа).

Термографические измерения показали, что помимо места соединения крыши и внешней стены, существует и другое место в кирпичном доме, где мостик холода критичен - это место соединения окна со стеной. Ниже представлено решение с железобетонной балкой над окном, см. Рисунок 3.15.

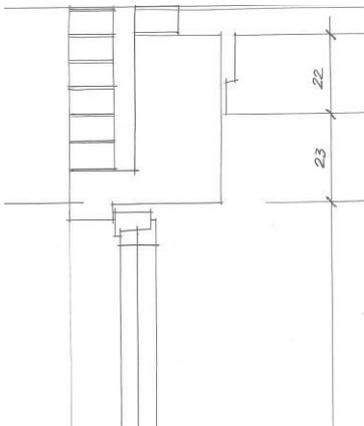
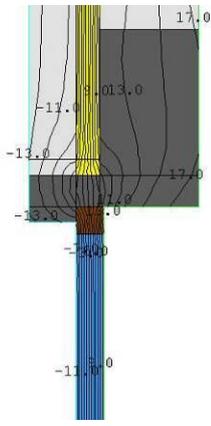
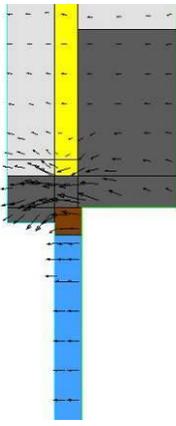
Внешняя стена:	25 см силикатный кирпич + 5 см мин. вата + 12 см силикатный кирпич	
Перемышка:	Железобетонная балка-перемышка	
		
Температурный индекс $f_{Rsi}$	0,58	
Дополнительная теплопроводность $\Psi$ , Вт/(м·К)	0,49	

Рисунок 3.15 Вертикальный разрез места соединения балки-перемышки и окна (слева, ТК-94-VI), распределение температуры (в центре) и направления тепловых потоков (справа).

Боковые и нижние части окна обычно располагаются на кирпичных рядах без утепления. Из-за маленькой теплоемкости кирпича, дополнительная проводимость мостика холода в районе окна тоже маленькая:  $\Psi = 0,35...0,49$  Вт/(м·К) и температурный индекс  $f_{Rsi} = 0,57$ . Если предположить, что боковые стороны окна в 1,5 раза длиннее, чем верхняя и нижняя стороны, тогда средняя дополнительная проводимость по периметру 0,41 Вт/(м·К). Это упрощает расчеты.

Связи между несущей стеной и слоем фасада «формируют» мостики холода. Рисунок 3.16 демонстрирует кирпичные стены: с разной толщиной слоя теплоизоляции и

невентилируемую. Стена слева с прокладным рядом кирпичей, стена справа без. Если при кладке кирпичей используется стальная проволока, тогда она покрывается цементным раствором для избежания коррозии, что часто приводит к возникновению линейного мостика холода. Различные теплоемкости кирпича и утеплителя увеличивают теплопроводность стены. Прокладные ряды кирпичей увеличивают теплопроводность стены на ~20...25%. Поэтому нельзя рассчитывать теплопроводность стены с прокладными краями по той же методике, что и однородные стены.

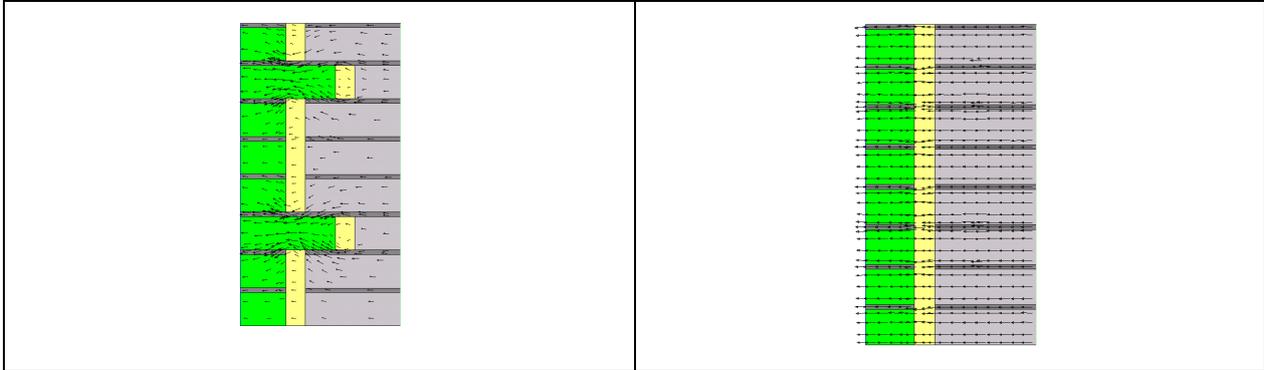


Рисунок 3.16 Невентилируемая утепленная кирпичная стена с прокладными рядами кирпичей (слева) и со стальными узлами.

Значения дополнительной теплопроводности мостиков холода см. Таблица 3.4. В таблице для сравнения приведены расчеты исследования ТТУ панельных домов (Kalamees и др. 2009), минимальные требования энергоэффективности, представленные в постановлении для новых домов и соответствующие стандарту EVS-EN ISO14683. Эти значения дополнительной проводимости мостиков холода действуют также для нахождения значения теплотерь там, где здание рассматривается как одна зона. Если по конструктивным причинам в местах соединений внешних и внутренних стен нет мостиков холода, то значение дополнительной проводимости равно нулю, а расчет ведется по размерам внешней стены. В случае, когда в энергорасчетах используются внутренние размеры помещения (от перегородки до перегородки), тогда нужно вести расчет, зная толщину перегородки (внутренняя стена) и теплопроводность внешней стены:

$$\Psi = U_{\text{välissein}} \cdot b_{\text{vahesein}} \quad (3.2)$$

$\Psi$  дополнительная теплопроводность мостика холода, Вт/(м·К);  
 $U_{\text{välissein}}$  теплопроводность внешней стены, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $b_{\text{vahesein}}$  толщина перегородки, м.

Тот же принцип действует при соединении перекрытия и внешней стены с дополнительной теплоизоляцией.

Таблица 3.4 Размеры дополнительной изоляции мостиков холода в кирпичных и панельных домах и их сравнение с минимальными требованиями энергоэффективности и стандартными размерами.

Местоположение мостика холода	Толщина дополнительной теплоизоляции, мм	Дополнительная изоляция линии мостика холода $\Psi$ , Вт/(м·К)			
		Кирпичный жилой дом	Панельный дом*	Пост. номер 258 (новые дома)	EVS-EN ISO14683
Внешний угол стены	Без доп. утепления	0,23–0,29	1,17		0,10
	100	0,17	0,34		-
	150–200	0,15	0,26	0,08	-
Стык внешней и внутренней стены (констр. мостик холода отсутствует)	Без доп. утепления	0,00	1,03		0,05
	100	0,00	0,13		-
	150–200	0,00	0,08	-	-
Стык перекрытия (вкл. перекрытие подвала) и внешней стены	Без доп. утепления	0,01	0,77		0,05
	100	0,00	0,10		-
	150–200	0,00	0,05	-	-

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Стык фронтона и внешней стены	Без доп. утепления	0,41...0,58	-		0,55
	100	0,41...0,49	-		-
	150–200	0,42...0,49	-	0,09	-
Парапет	Без доп. утепления	0,33...0,48	0,49		0,55
	100	0,26	0,40		-
	150–200	0,21	0,40	0,09	-
Эркерная крыша	Без доп. утепления	0,17	-		-
	100	0,10	-		-
	150–200	0,09	-	0,09	-
Стык окна с внешней стеной, без утепления	Без доп. утепления	0,35...0,49	0,07		0,60
	100	0,35...0,49	0,12		-
	150–200	0,36...0,51	0,14	0,03	-
Стык окна с внешней стеной, с утеплением	Без доп. утепления	0,35...0,49	0,07		0,20
	100	0,11	0,07		-
	150–200	0,11	0,07	-	-
Стык балкона с внешней стеной	Без доп. утепления	0,01	0,77		-
	100*2	0,11	0,48		-
	150–200*2	0,13	0,43	-	-

\* – Для панельных домов рассматривались варианты, где утеплителем является 100 мм слой пенополистирола.

\*2 – Балкон не утеплен.

Значения температурных индексов мостиков холода в кирпичных домах и сравнение с результатами панельных см. Таблица 3.5. Критичность мостиков холода ( $f_{Rsi} \leq 0,8$ ) в кирпичных домах гораздо меньше, чем в панельных.

Таблица 3.5 Величины температурных индексов мостиков холода в кирпичных и панельных домах.

Местоположение мостика холода	Толщина дополнительной изоляции, мм	Температурный индекс мостиков холода $f_{Rsi}$ , -	
		Кирпичные дома	Панельные дома*
Внешний угол внешней стены	Без доп. утепления	0,72	0,70
	100	0,88	0,90
	150–200	0,91	0,90
Стык внешней и внутренней стен	Без доп. утепления	0,85	0,70
	100	0,94	0,90
	150–200	0,96	0,95
Стык внешней стены и перекрытия (вкл. перекрытие подвала)	Без доп. утепления	0,83	0,65
	100	0,95	0,90
	150–200	0,96	0,90
Стык фронтона и внешней стены	Без доп. утепления	0,72	-
	100	0,83	-
	150–200	0,83	-
Парапет	Без доп. утепления	0,62...0,74	0,60
	100	0,88	0,65
	150–200	0,90	0,65
Эркерный этаж	Без доп. утепления	0,76	-
	100	0,89	-
	150–200	0,92	-
Стык окна с внешней стеной, без утепления	Без доп. утепления	0,57	0,70
	100	0,65	0,75
	150–200	0,66	0,75
Стык окна с внешней стеной, с утеплением	Без доп. утепления	0,57	0,70
	100	0,83	0,85
	150–200	0,85	0,85

Стык балкона с внешней стеной	Без доп. утепления	0,85	0,65
	100	0,90	0,80
	150–200	0,91	0,80

\* – Для панельных домов рассматривались варианты, где утеплителем является 100 мм слой пенополистирола.

### Анализ влияния мостика холода при дополнительном утеплении перекрытия крыши

Часто из-за конструктивного решения большие мостики холода образуются в районе парапета. Мостики холода на ограждениях приводят к дополнительным тепловым потерям и могут вызывать рост плесени и конденсацию водяного пара. Чтобы избавиться от мостиков холода и излишних тепловых потерь необходима дополнительная теплоизоляция. При утеплении внешних конструкций нужно комплексно ликвидировать мостики холода и обеспечить низкую теплопроводность стен, обращая особое внимание на стыки во внешних конструкциях.

К сожалению, часто делают дополнительную теплоизоляцию (150 мм толщины) либо стен (особенно плохо только торцевые стены), либо только крыши. Ниже проанализировано, как влияет утепление отдельных частей конструкции на общее состояние здания, см. Рисунок 3.17.

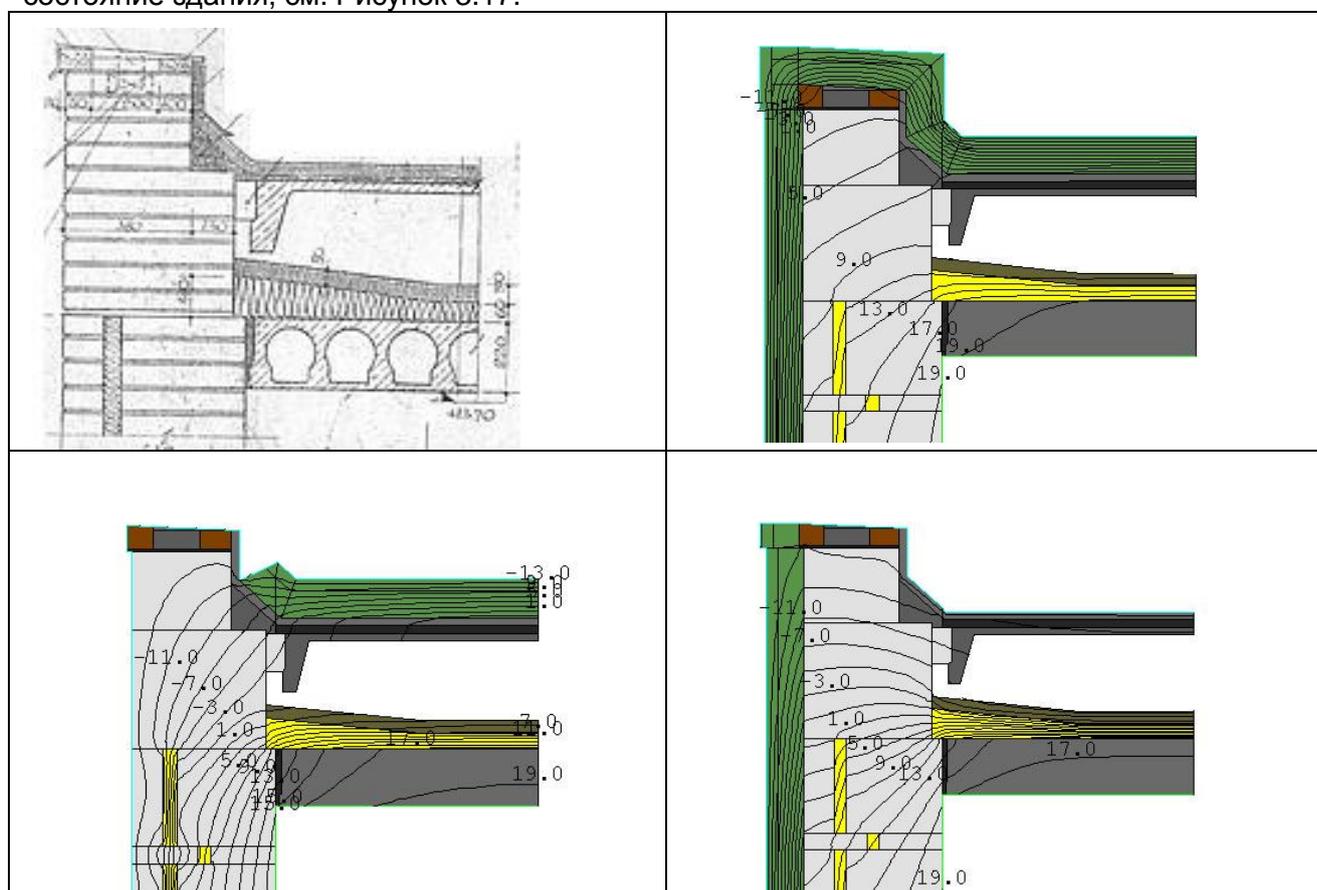


Рисунок 3.17 Анализируемая крыша (слева сверху), комплексно утепленный парапет (справа сверху). На нижних рисунках утеплены отдельно крыша (слева) или стена (справа).

Из результатов расчетов (

Таблица 3.6) следует, что лучшим решением является комплексная установка дополнительной теплоизоляции: как стены, так и крыши. Утепление элементов по отдельности не устраняет мостики холода, а значит остаются воздушные течи, вероятность появления плесени и конденсации водяного пара.

Таблица 3.6 Варианты влияния дополнительного утепления стены и крыши на влаготехнические характеристики.

	Без доп. теплоизоляции	Доп. теплоизоляция на стене и крыше	Доп. теплоизоляция только на стене	Доп. теплоизоляция только на крыше
Температурный индекс $f_{Rsi}$	0,74	0,90	0,83	0,77
Дополнительная теплопроводность $\Psi$ , Вт/(м·К)	0,45	0,24	0,34	0,53

### Анализ мостика холода при дополнительном утеплении окна

В кирпичных домах окно устанавливают на расстоянии 12 см от внешней стороны стены и оконная рама «прячется» за кирпичом и перемычкой. Часто она настолько углублена, что дополнительная теплоизоляция с внешней стороны затруднена. Если окно утеплено неудачно и в месте соединения его с внешней стеной мостик холода сохраняется, можно уменьшить его с увеличением теплопоглощающей поверхности, см. Рисунок 3.18.

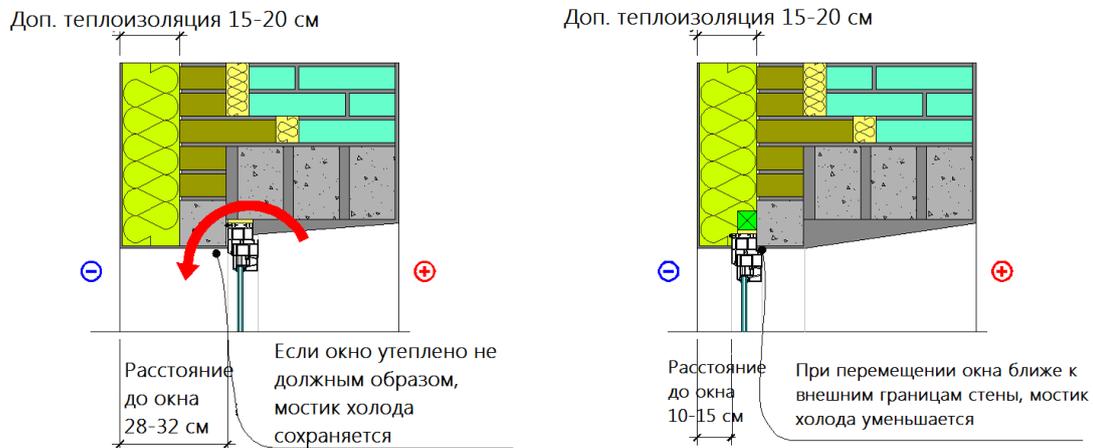


Рисунок 3.18 Мостик холода между окном и стеной (слева) можно устранить увеличением теплопоглощающей поверхности (справа).

Ниже проанализировано влияние перемещения окна и установления 15 см дополнительной теплоизоляции на критичность мостика холода (температурный индекс) и теплотери поверхности (дополнительная проводимость мостиков холода) (см. Рисунок 3.19) при различных соединениях окна с внешней стеной:

- без утепления,
- 25 мм дополнительной теплоизоляции,
- перемещение окна к дополнительной теплоизоляции.

Из результатов расчетов (Таблица 3.7) следует, что для хорошего тепло- и влаготехнического состояния наилучшим решением является перемещение окна ближе к внешним границам стены. Без дополнительной теплоизоляции от мостиков холода не избавиться, риск роста плесени и конденсации водяного пара остается высоким.

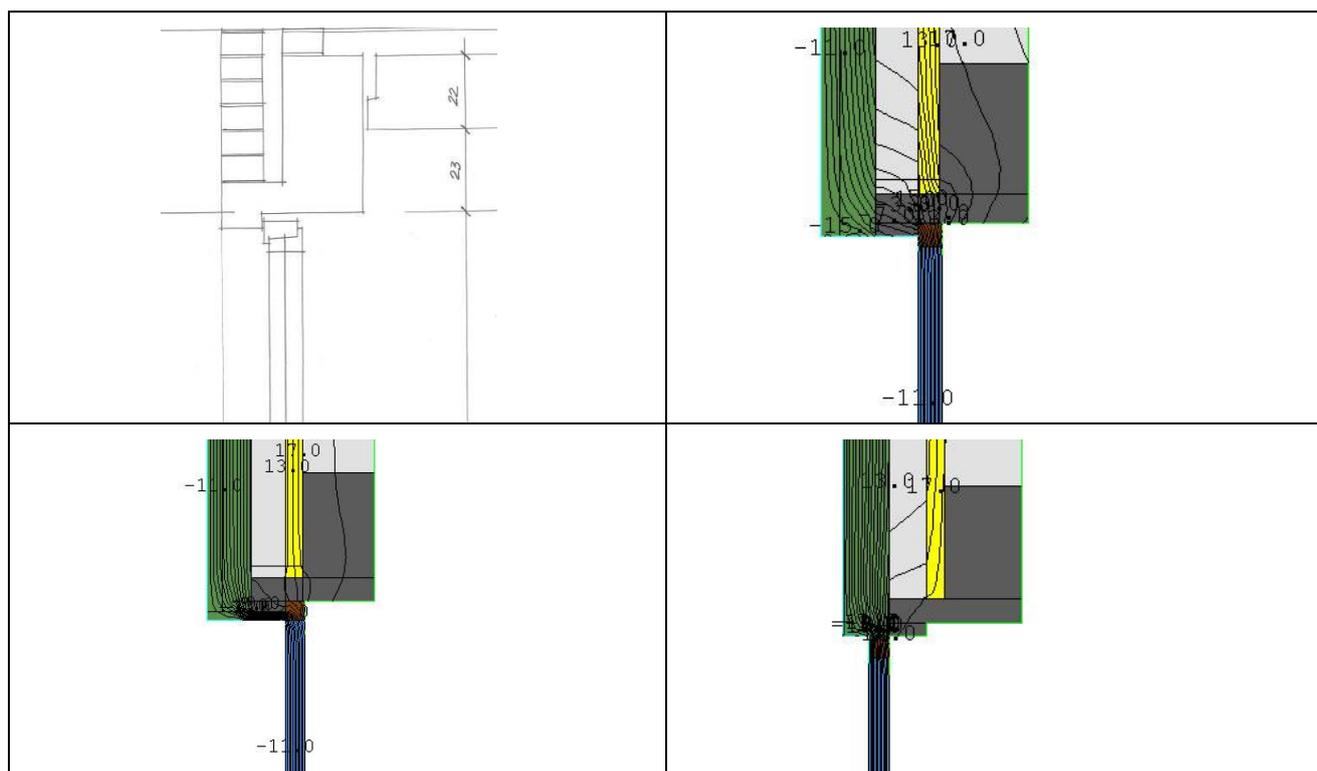


Рисунок 3.19 Проанализированный узел оконной перемычки (слева сверху), 15 см доп. теплоизоляции без утепления верхнего откоса (справа сверху), с утеплением верхнего откоса (слева внизу) и окно, перемещенное ближе к дополнительной теплоизоляции (справа внизу).

Таблица 3.7 Влияние различных вариантов дополнительной теплоизоляции окна на тепло- и влажно-техническое состояние (в районе перемычки).

	Без доп. теплоизоляции	15 см доп. теплоизоляции без утепления откоса	15 см доп. теплоизоляции и изолированный откос	15 см доп. теплоизоляции и утепленная плоскость окна
Температурный индекс $f_{Rsi}$	0,57	0,66	0,85	0,90
Доп. теплопроводность мостиков холода $\Psi$ , Вт/(м·К)	0,49	0,51	0,11	0,03

### 3.2.3 Оценка результатов

Мостики холода являются конструктивной особенностью кирпичных домов, где теплоизоляция внутри стен и местах соединений не является непрерывной. Критичность мостиков холода ( $f_{Rsi} < 0,8$ ) встречается в 92 % мест. В каждой шестой квартире замечен рост плесени, в первую очередь, в месте соединения крыши и перекрытия. При реновации вентиляции так, что воздушные потоки приносят в помещение меньшую нагрузку от влаги, критичность мостиков холода в половине квартир не снижается ( $f_{Rsi} < 0,65$ ). Поэтому для устранения проблемы мостиков холода на ограждающих конструкциях дополнительная теплоизоляция необходима.

В сравнении с панельными домами, кирпичные дома в местах мостиков холода находятся в более хорошем состоянии. Теплопроводность в их области меньше, соответственно их наличие менее критично. Однако в кирпичных домах следует обращать внимание на мостики холода вокруг окна и даже в районе перемычек. А также критично их наличие в месте соединения внешней стены и крыши.

Дополнительное утепление толщиной 15–20 см снижает теплопотери в местах мостиков холода лучше всего. При реновировании вентиляции 10 см слоя теплоизоляции достаточно, чтобы предотвратить проблемы, связанные с ростом плесени и конденсацией водяного пара. Зная, что стоимость дополнительной изоляции от цены всей теплоизоляции (отделка, леса, работа и пр.) довольно маленькая, по сравнению с полученной экономией энергии, слой теплоизоляции должен быть толстым. В итоге, толщина изоляции выбирается исходя из компактности здания и решения отопительной и вентиляционной систем.

Для устранения мостиков холода необходимо утеплять ограждающие конструкции комплексно: внешнюю стену и крышу вместе с перемещением окна ближе к внешней части стены.

В квартирах, где проводили термографию и где в районе мостиков холода был замечен рост плесени, определена связь между нагрузками от влаги и критичностью мостиков холода, см. Рисунок 3.20. Сравнение температурного индекса мостика холода и влажности в зимний период показывает, что использование предельного значения температурного индекса (см. Таблица 3.1) в домах помогает снизить возникновение плесени. Чем больше нагрузки от влаги, тем меньших мостик холода вызывает рост плесени.

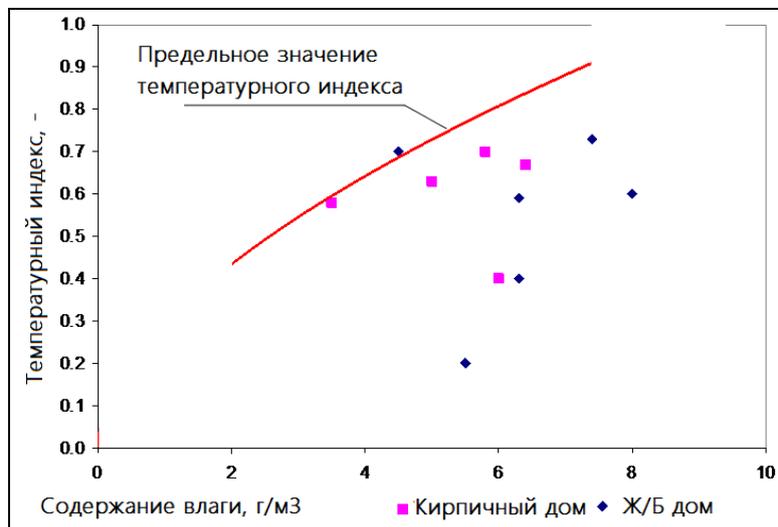


Рисунок 3.20 Сравнение температурного индекса мостика холода и влажности в квартире в зимний период.

### 3.3 Расчет теплопотерь здания с учетом мостиков холода

Поскольку ограждающие конструкции здания содержат мостики холода, необходимо учитывать их при нахождении теплопотерь. Можно учитывать отдельные «граничные компоненты» или принимать во внимание редуцированную теплопроводность внешних ограждений,  $U_i^{red}$ :

$$U_{v\ddot{a}lisp\ddot{a}ire}^{red} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{A_{v\ddot{a}lisp\ddot{a}ire}} + \frac{\sum \Psi \cdot l + \sum \chi \cdot n}{A_{v\ddot{a}lisp\ddot{a}ire}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

где:

- $U_i$  теплопроводность внешних ограждений, Вт/(м<sup>2</sup>·К);
- $A_i$  площадь внешних ограждений, м<sup>2</sup>;
- $\Psi$  дополнительная проводимость линейного мостика холода, Вт/(м·К);
- $l$  ширина линейного мостика холода, м;
- $\chi$  дополнительная проводимость точечного мостика холода, Вт/(м·К)
- $n$  количество точечных мостиков холода, шт
- $A_{v\ddot{a}lisp\ddot{a}ire}$  общая площадь внешних ограждений, м<sup>2</sup>.

Пример того, как найти редуцированную теплопроводность внешних стен 4-этажного дома с 4 подъездами при учете мостиков холода. Длина здания 68,4 м, ширина 13 м и высота 12,7 м.

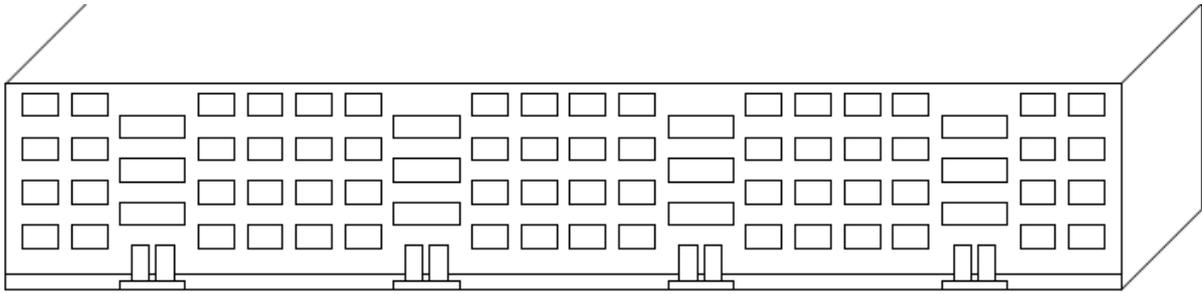


Рисунок 3.21 Схематичный общий вид здания.

Учитываем, что толщина стены 42 см (25 см силикатный кирпич + 5 см минеральная вата + 12 см силикатный кирпич). Принимаем во внимание, что в связях между рядами дополнительные теплотери, берем теплопроводность стены  $U_{стена}=0,93$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Ширина окна 2,2 м и высота 1,4 м.

Рассматривать мостики холода следует в местах внешнего угла наружной стены, в районе парапета и в месте стыка окна и внешней стены. Возможно найти сумму дополнительной проводимости мостиков холода всей стены (см. Таблица 3.8):

Таблица 3.8 Мостики холода стены 4-этажного кирпичного дома без дополнительной изоляции.

Местоположение мостика холода	Мостик холода и т.д.	$\Psi$ , Вт(м·К)	$\Psi \cdot l$ , Вт/К
Внешний угол наружной стены	51	0,26	13
Место примыкания наружной стены и перекрытия крыши	163	0,39/2 (на половину перекрытия)	64/2
Окно	1166	0,41	478
Всего:			515

Делением дополнительной проводимости внешних стен на площадь стен (с вычетом проемов: 1557 м<sup>2</sup>) можно получить среднее значение теплотери:

$$U_{\Psi} = \frac{515 \text{ Вт} \cdot \text{К}}{1557 \text{ м}^2} = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$U_{\text{välispiire}}^{\text{red}} = 0,93 + 0,33 = 1,26 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Видно, что теплопроводность внешних стен может значительно вырасти из-за мостиков холода. Их доля в редуцированной теплопроводности стены ~26%.

Рассмотрим вариант, зная значения редуцированной теплопроводности, когда внешние стены утеплены и их нынешняя теплопроводность 0,20 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (~20 см утеплителя). Сравним два варианта: в первом случае окна остаются на прежнем месте, во втором – перемещаются ближе к наружной части стены.

Таблица 3.9 Мостики холода стены 4-этажного дома с дополнительным утеплением.

Местоположение мостика холода	Ширина мостика холода и т.д.	$\Psi$ , Вт(м·К)	$\Psi \cdot l$ , Вт/К
Внешний угол наружной стены	51	0,15	8
Место примыкания наружной стены и крыши	163	0,21/2 (на пол крыши)	34/2
Окно на прежнем месте / Окно с дополнительной теплоизоляцией	1166	0,11 / 0,03	128 / 35
Всего:			153 / 60

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Делением дополнительной проводимости внешних стен на площадь стен (с вычетом проемов: 1557 м<sup>2</sup>) можно получить следующие значения теплотери: когда окна остаются на прежнем месте  $U_{\Psi} = \frac{153 \text{ Bm} / \text{K}}{1557 \text{ м}^2} = 0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , и когда окна приобрели

новое местоположение  $U_{\Psi} = \frac{60 \text{ Bm} / \text{K}}{1557 \text{ м}^2} = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Редуцированные

теплопроводности стены с дополнительной теплоизоляцией соответственно  $U_{\text{väälispiire}}^{\text{red}} = 0,20 + 0,10 = 0,30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  или  $U_{\text{väälispiire}}^{\text{red}} = 0,20 + 0,04 = 0,24 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

С перемещением окон к дополнительной теплоизоляции значительно снижается влияние мостиков холода. Если в существующем здании большинство окон не заменено, то целесообразнее заменить их с подобным перемещением, чтобы увеличить теплопоглощающую поверхность внешних стен.

## 4 Воздухонепроницаемость ограждающих конструкций здания

Недостаточная воздухонепроницаемость ограждающих конструкций здания отражает планируемый и контролируемый поток воздуха через щели и неплотные границы конструкции. Воздухонепроницаемость ограждающих конструкций здания влияет на следующие показатели:

- энергоэффективность здания,
- проблемы с влажностью, образованием плесени и конденсацией водяного пара,
- попадание плесени, загрязненного воздуха и радона во внутренние помещения, перемещение нежелательных запахов между квартирами,
- переохлаждение ограждающих площадей,
- качество микроклимата, ветровая вытяжка,
- производительность вентиляционной системы,
- проблемы шума,
- пожарная безопасность.

Воздухонепроницаемость ограждающих конструкций здания играет важную роль в анализе энергоэффективности, а также влияет на расходы за отопление и охлаждение здания. С уменьшением теплопроводности ограждающих конструкций растет расход на воздухообмен (вентиляция и инфильтрация). В домах с большим количеством воздушных утечек в ограждающих конструкциях воздухообмен может происходить с той же интенсивностью или даже быстрее, чем в домах с хорошим вентиляционным оборудованием. Энергопотребление обычного здания может быть гораздо выше, чем у здания с очень маленьким количеством воздушных утечек. Изменение количества воздушных утечек на одну единицу изменяет расход на отопление на 7% и общий расход энергии на 4% (Jokisalo & Kurnitski 2002, Binamu 2002).

В неплотных ограждающих конструкциях конвекция водяного пара может проводить большую долю влаги, чем диффузия (Hagentoft & Harderup 1995). Хотя внешние границы здания могут быть правильно спроектированы в соответствии с влаго-техническим состоянием на основании диффузии водяного пара, конвекция водяного пара все равно может вызывать высокий уровень содержания влаги (Janssens & Hens 2003).

Исследования показали, что путем воздушных утечек в помещения попадают плесень, радон (Airaksinen jt. 2004, Mattson jt. 2002, Backman jt. 2000, Wang & Ward 2003) или выхлопные газы из гаража (Emmerich jt. 2003, Batterman jt. 2007).

В Эстонии проведенное исследование (Kalamees 2007) показало, что там, где граничные конструкции «протекали» больше допустимой по стандарту нормы (EPN 11.1 1995, 2003, EVS 837-1:2003) в  $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , жители жаловались на холодный пол.

Неудовлетворительная воздухонепроницаемость не может рассматриваться, как естественная вентиляция. Через неплотные стены проходит неконтролируемый поток воздуха, который трудно фильтровать. Например, в случае вреда от влаги, когда на внешних границах образуется плесень и гниль, а споры по воздуху попадают внутрь помещения. Однако границы здания с хорошей естественной вентиляцией могут быть воздухонепроницаемыми. В таком случае, свежий воздух попадает внутрь помещения через специальные воздушные клапаны (следует обеспечивать также предварительный подогрев воздуха). Тогда вентиляция становится регулируемой, контролируемой и воздух по необходимости можно фильтровать. При обеспечении качественного микроклимата главную роль играют системы отопления и вентиляции, а также хорошие ограждающие конструкции с точки зрения строительной физики.

В случае пожара распространение огня и дыма в здании должно быть стеснено (RT I 2004, 75, 525). Воздухонепроницаемость граничных конструкций влияет на пожарную безопасность в основном на начальной стадии распространения дыма через границы (Marchant 2000). Для противопожарных конструкций уровень огнеупорности обозначается

буквой E и определяет время, в течение которого конструкция может сохранять свою целостность. Пожарная безопасность определяется исходя из данных воздухопроницаемости. В частности, на пределы проникновения дыма указывает буква S.

Требования жильцов относительно микроклимата растут. Думая ещё и о расходах на отопление, целесообразно использовать вентиляционный агрегат с рекуперацией тепла, с помощью которого попадающий в помещение воздух нагревается за счет воздуха, выкачиваемого из комнаты. Если граничные конструкции не воздухопроницаемы, тогда большая часть воздуха заменяется до попадания в механизм тепловозврата. Это приводит к большим тратам энергии и снижает положительное воздействие воздухообмена. Поскольку расход энергии в здании с воздухопроницаемыми ограждающими конструкциями ниже, это позволяет получить высокую производительность энергии в здании. Таким образом, воздухопроницаемые конструкции снижают расход энергии.

**Стоит подчеркнуть то, что воздухопроницаемые ограждающие конструкции должны сопровождаться эффективной и сбалансированной системой вентиляции.** Если вентиляционная система не функционирует должным образом, то воздух в помещении не меняется и внутренний климат нарушен. Вентиляция должна обеспечивать достаточный воздухообмен и не вредить тепловому комфорту здания (ветровая тяга, свежий воздух из клапанов) и качеству акустики (шум от приборов, скорость движения воздуха, ненадлежащее звукопоглощение), которые и заставляют жителей изменять вентиляционную систему или просто не использовать ее. Вентиляционные системы не влияют на результаты измерений воздухопроницаемости конструкций, так как клапаны свежего воздуха, воздухозаборник и вытяжка во время измерений закрыты.

Воздушный поток через конструкцию, или инфильтрация, зависит от:

- воздухопроницаемости граничных конструкций,
- разницы давления воздуха с двух сторон конструкции,
- свойств используемых материалов,
- сбалансированности вентиляции,
- условий окружающей среды.

На общую воздухопроницаемость дома влияют воздухопроницаемости всех его конструкций отдельно: стен, стыков, окон, дверей и т.д. Гарантия воздухопроницаемости часто требует сложных, вдумчивых, комплексных решений. Детали конструкций стоит тщательно продумать во время проектирования, воздушный барьер должен быть правильно установлен и места соединений выполнены по всем требованиям.

### **4.1 Измерение воздухопроницаемости граничных конструкций**

Измеряется воздухопроницаемость граничных конструкций по стандарту EN 13829:2001 “Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method”.

В дверной проем квартиры устанавливается измерительное оборудование, которое состоит из переменного размера рамы, герметичной ткани, вентилятора и контрольно-измерительного оборудования (см. Рисунок 4.1).

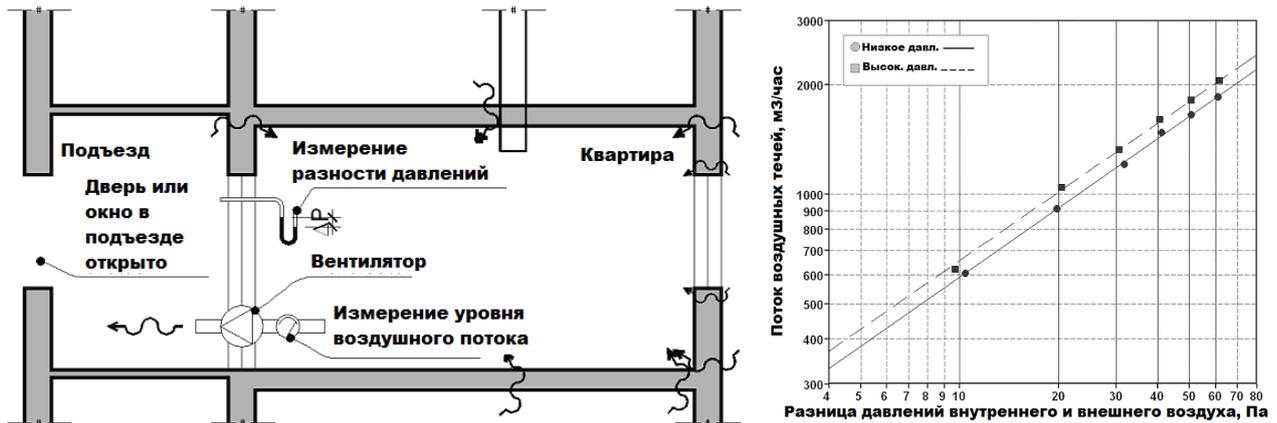


Рисунок 4.1 Принцип измерения воздухопроницаемости граничных конструкций квартиры (слева). График воздушных течей: зависимость потока от разницы давлений (справа).

Вентилятор создает подходящую разницу воздушного давления между внешней и внутренней средой. В ходе испытания измеряется воздушный поток, который необходим для поддержания созданной разницы давлений. Такой же поток воздуха, который прошел из вентилятора, идет в квартиру через ограждения и щели. Утечка воздуха измерена при различных значениях давления, от низкого до высокого, с шагом в 10 Па, 10...±60 Па. Среднее значение из результатов измерений находили по воздушному потоку при 50 Па (см. Рисунок 4.1, справа).

До и после измерений воздушного потока были замерены разница давлений и температур внутренней и внешней среды. На их основании скорректированы результаты измерений.

При измерении воздухопроницаемости граничных конструкций квартиры были закрыты все возможные проемы: двери и окна заперты, закрыты клапаны свежего воздуха, заклеена вентиляция. Отрытыми оставлены только внутренние двери. Дополнительно закрыты краны с водой.

Воздухопроницаемость границ здания характеризует номинальный воздушный поток  $q_{50}$  (единица измерения  $\text{м}^3/(\text{час}\cdot\text{м}^2)$ ), который показывает воздушный поток ( $\text{м}^3/\text{час}$ ), проходящий через  $1 \text{ м}^2$  ограждения, при разнице давлений с двух сторон ограждения в 50 Па. Поскольку измерить воздухопроницаемость в каждой отдельной комнате нет возможности, измерение проходит во всей квартире и выражается среднее значение воздушного потока. Также воздухопроницаемость можно охарактеризовать с помощью значения  $n_{50}$ . Единица измерения  $n_{50}$  1/час отражает кратность воздухообмена, если разница между внутренним и внешним давлением 50 Па. Метод измерения воздухопроницаемости в этом случае такой же. Если результат представляется номинальным воздушным потоком (единица измерения  $\text{м}^3/(\text{час}\cdot\text{м}^2)$ ), то значение воздушного потока при разнице давлений в 50 Па делится на площадь внешних ограждений (включая перекрытия и перегородки между квартирами). Если воздухопроницаемость выражена кратности воздухообмена  $n_{50}$  (единица измерения 1/час), то измеренный воздушный поток делится на объем помещения.

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций квартиры можно охарактеризовать ещё и с помощью площади утечек, через которую воздух проходит при известной разнице давлений. Это помогает лучше представить, насколько велики щели в фасаде. Используются два вида площадей утечек:

- EqLA (Equivalent Leakage Area);
- ELA (Effective Leakage Area).

EqLA определена Канадским Национальным Исследовательским Советом (Canadian National Research Council) и показывает площадь округлого отверстия, через которое проходит столько же воздуха, как и через все ограждения при разнице давлений в 10 Па. ELA определена Национальной лабораторией Лоренса Бренкли в США и показывает

площадь трубчатого отверстия, через которое проходит столько же воздуха, сколько и через все ограждения при разнице давлений 4 Па. В результате, полученные площади утечки  $E_{qLA}$  и  $ELA$  делятся на площадь внешних границ здания и показывают среднюю площадь утечки через 1 квадратный метр площади внешних конструкций.

## 4.2 Методы оценки воздухопроницаемости

Начиная с 1995 года в Эстонии действуют требования к воздухопроницаемости граничных конструкций, указанные в стандарте "EPN 11.1 Piirdetarindid", который в 2003 году заменен стандартом EVS 837-1:2003. Предел воздушного потока в жилых домах  $3 \text{ м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$  и в остальных типах домов  $6 \text{ м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ .

В Швеции давно действует требование (BBR BFS 1998:38), что внешние границы здания должны быть настолько воздухопроницаемыми, чтобы при разнице давлений в 50 Па среднее значение воздушного потока в жилых домах было  $0,8 \text{ л}/(\text{сек} \cdot \text{м}^2)$  ( $2,9 \text{ м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ ) и в остальных типах домов  $1,6 \text{ л}/(\text{сек} \cdot \text{м}^2)$  ( $5,8 \text{ м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ ). С введением минимальных требований энергоэффективности теряют свое действие специальные требования к ограждениям, если соблюдая требования энергоэффективности, ограждения строятся более воздухопроницаемыми. Жилой фонд Канады по программе улучшения энергоэффективности R-2000 (NRCan 2004) должен гарантировать воздухопроницаемость ограждений  $n_{50} < 1,5 \text{ л}/\text{час}$  и площадь воздушных течей в районе 10 Па не должна превышать  $0,7 \text{ см}^2/\text{м}^2$ . В Германии (DIN 4108-7:2001-08) есть требование, что в домах с естественной вентиляцией кратность воздухообмена  $n_{50}$  должна быть  $< 3 \text{ л}/\text{час}$ , и в домах с механической вентиляцией  $n_{50} < 1,5 \text{ л}/\text{час}$ ; для пассивного дома (Passivhaus, Minenergie®) требование воздухопроницаемости  $n_{50} < 0,6 \text{ л}/\text{час}$ . В Норвегии (REN TEKNISK 1997) к воздухопроницаемости ограждений дома представлены следующие требования: маленькие дома и рядовые дома  $n_{50} < 4 \text{ л}/\text{час}$ , дома с высотой до двух этажей  $n_{50} < 3 \text{ л}/\text{час}$ , дома выше двух этажей  $n_{50} < 1,5 \text{ л}/\text{час}$ . В Швейцарии требования к воздухопроницаемости ограждений семейных домов с естественной вентиляцией  $n_{50} < 2 \dots 4,5 \text{ л}/\text{час}$ , и домов для многих семей  $n_{50} < 2,5 \dots 3,5 \text{ л}/\text{час}$ ; для домов с механической вентиляцией требование воздухопроницаемости  $n_{50} < 1 \text{ л}/\text{час}$  (SIA 180). В Финляндии требования к воздухопроницаемости ограждений не установлены. Строительное постановление Финляндии (C3 2007) гласит о том, что уровень воздухопроницаемости ограждений  $n_{50} < 1 \text{ л}/\text{час}$ , и в энергорасчетах (D5 2007) используется базовое значение воздухопроницаемости  $n_{50} = 4 \text{ л}/\text{час}$ . В Англии и Уэльсе предельное значение номинального воздушного потока  $10 \text{ м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$  (для соблюдения минимальных требований энергоэффективности необходимо использовать меньшее значение номинального воздушного потока) (L1A 2006, L2A 2006).

Воздухопроницаемость граничных конструкций дома зависит от используемых строительных материалов, строительной технологии и качества работы. Для характеристики различных величин номинального воздушного потока существуют несколько стандартов: prEN 15242 (см.

Таблица 4.1), ISO/FDIS 13789 (см. Таблица 4.2) и руководство D5 (см. Таблица 4.3).

Таблица 4.1 Характерные величины номинального воздушного потока граничных конструкций согласно стандарту prEN 15242.

Тип жилья	Уровень воздушного потока	Номинальный воздушный поток, м <sup>3</sup> /(ч·м <sup>2</sup> )		
		q <sub>4</sub> , Па	q <sub>10</sub> , Па	q <sub>50</sub> , Па
Частный дом	низкий	0,5	1	2,5
	средний	1	2	5
	высокий	2	3,5	10
Квартирные дома, бюро	низкий	0,5	1	2,5
	средний	1	2	5
	высокий	2	3,5	10
Промышленные здания	низкий	1	2	5
	средний	2	3,5	10
	высокий	4	7	20

Таблица 4.2 Характерные величины номинального воздушного потока граничных конструкций согласно стандарту ISO/FDIS 13789.

Тип жилья	Уровень воздушного потока	Кратность воздухообмена при 50 Па n <sub>50</sub> , 1/час
Частный дом	низкий	<4
	средний	4...10
	высокий	>10
Квартирные дома	низкий	<2
	средний	2...5
	высокий	>5

Таблица 4.3 Характерные величины номинального воздушного потока граничных конструкций согласно финскому постановлению D5.

Воздухонепроницаемость	Детальное решение	Кратность воздухообмена при 50 Па n <sub>50</sub> , 1/час
Воздухонепроницаемый дом	Особое внимание обращено на воздухонепроницаемость швов и мест соединений при проектировании, строительстве и надзоре	Маленькие дома: 1...3, Квартирные дома и бюро: 0,5...1,5
Средняя воздухонепроницаемость	При определении воздухонепроницаемости швов и стыков при проектировании, строительстве и надзоре исходят из обычной строительной практики	Маленькие дома: 3...5, Квартирные дома и бюро: 1,5...3
Границы не воздухонепроницаемы	На воздухонепроницаемость не обращено внимание ни при проектировании, ни при	Маленькие дома: 5...10,

	строительстве, ни даже при надзоре	Квартирные дома и бюро: 3...7
--	------------------------------------	-------------------------------

### 4.3 Результаты

Воздухонепроницаемость ограждений была измерена в 30 квартирах и результаты записаны двумя способами:

- Номинальный воздушный поток  $q_{50}$  м<sup>3</sup>/(час·м<sup>2</sup>), который характеризует размер утечки воздуха на площадь граничных конструкций квартиры при разнице внешнего и внутреннего давлений в 50 Па. ,
- Кратность воздушного потока при 50 Па  $n_{50}$  час<sup>-1</sup>, которая характеризует размер утечки воздуха на общую площадь квартиры.

Средний номинальный воздушный поток  $q_{50} = 4,0$  м<sup>3</sup>/(час·м<sup>2</sup>) и кратность воздушного потока при 50 Па  $n_{50} = 5,7$  час<sup>-1</sup> (см. Таблица 4.4). Поскольку измерения проводились в квартирах, то на результаты влияли ещё и воздушные течи от стен между квартирами (перегородки, перекрытия). Существует слабая связь того, что новые дома более воздухонепроницаемы (см. Рисунок 4.2).

Таблица 4.4 Результаты измерений воздухонепроницаемости квартир.

Код квартиры	Номинальный воздушный поток $q_{50}$ , м <sup>3</sup> /(час·м <sup>2</sup> )	Кратность воздушного потока при 50 Па, $n_{50}$ , 1/час	EqLA @ 10Па, мм <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	LBL ELA @ 4Па, мм <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>
1111	6,5	10,3	382	212
1121	4,1	6,4	229	113
1131	4,2	6,0	238	118
1141	2,4	3,2	143	71
1151	2,8	4,1	334	174
1161	3,5	4,9	288	145
1171	4,9	7,3	428	223
1181	4,8	6,4	546	299
1191	5,7	8,5	443	229
1201	4,3	5,7	461	239
1211	4,2	5,2	471	242
1222	2,0	2,6	202	101
1231	2,0	2,9	141	69
1241	1,9	3,3	177	90
1251	7,5	10,4	568	305
2111	5,6	7,5	532	282
2121	5,5	6,6	603	311
2131	2,0	3,8	162	85
2141	2,0	2,6	177	86
2151	4,7	8,8	339	167
3111	3,5	5,0	231	118
3121	3,1	4,5	213	107
3131	6,0	8,9	427	231
3141	3,4	4,6	226	103
4111	3,7	5,1	270	142
4121	3,2	4,9	173	91
4131	3,2	4,6	208	103
4141	3,6	6,0	122	63
4151	3,8	5,6	175	88

4161	4,7	6,2	476	130
------	-----	-----	-----	-----

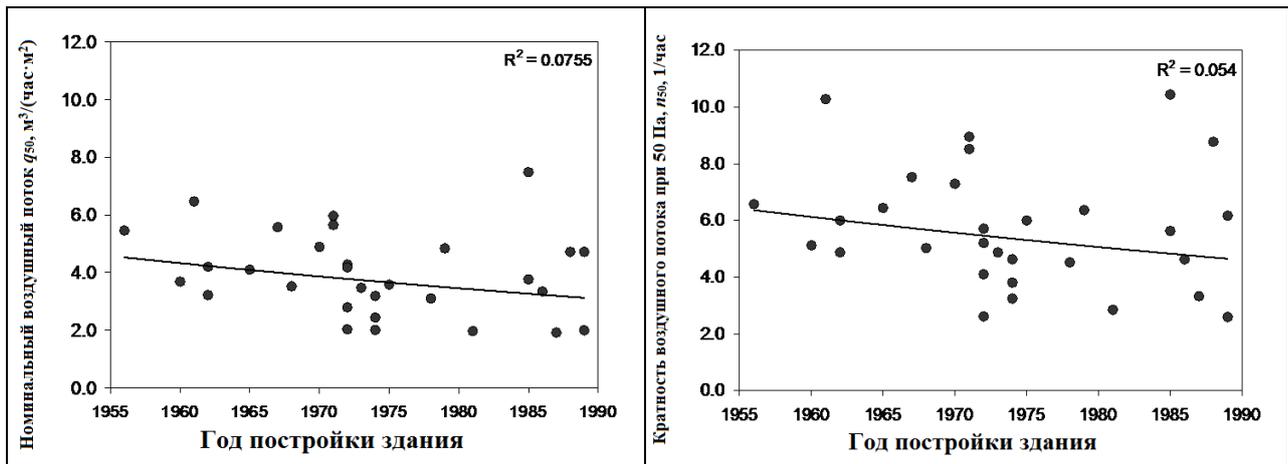


Рисунок 4.2 Влияние возраста здания на воздухопроницаемость.

Между квартирами с замененными и не замененными окнами статически значимых различий нет (см. Рисунок 4.3 слева). Величины номинального воздушного потока  $q_{50}$  и кратности воздушного потока квартир  $n_{50}$  не равны, поскольку средняя площадь внешних границ на 30% больше, номинальный воздушный поток  $q_{50}$  меньше (см. Рисунок 4.3 справа). Отношение площади граничных конструкций и внутреннего объема зависит от компактности, которая влияет на сложность решений и высоту этажа.

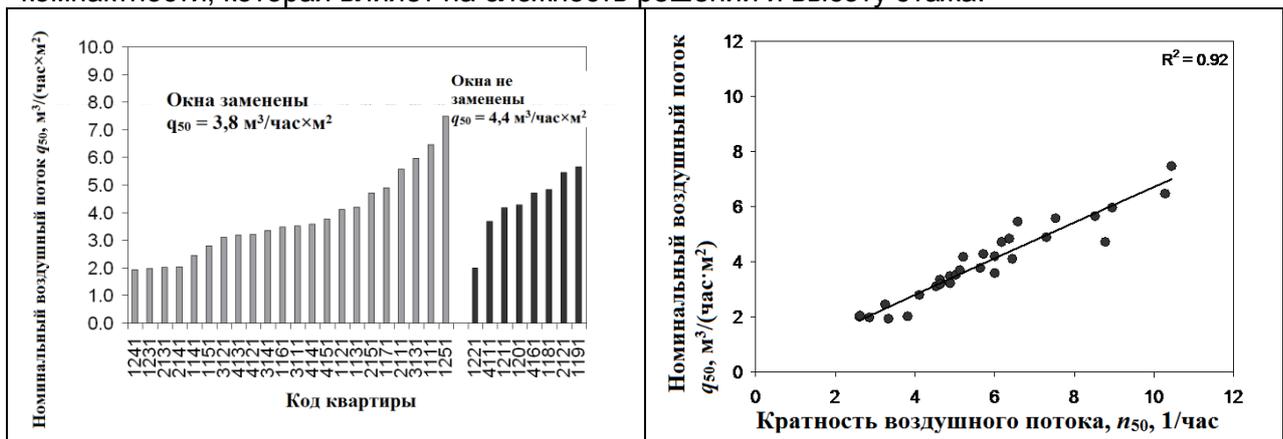


Рисунок 4.3 Результаты измерения воздухопроницаемости в зависимости от типа окна (слева) и отношение измеренного номинального воздушного потока  $q_{50}$  и кратности воздушного потока  $n_{50}$  (справа).

В ходе энергорасчета для составления баланса энергоиспользования необходимо знать поток воздушных течей, который зависит от воздухопроницаемости ограждений. При реконструкции старых зданий важно продемонстрировать соответствие дома минимальным требованиям. Для их расчета необходимо знать воздухопроницаемость граничных конструкций: номинальный воздушный поток  $q_{50}$ ,  $\text{м}^3/(\text{час}\cdot\text{м}^2)$ . Оценивает воздухопроницаемость граничных конструкций здания проектировщик или энергоаудитор. Если воздухопроницаемость здания не измерена или не зафиксирована, энергорасчет делается по базовому значению воздушного потока  $6 \text{ м}^3/(\text{час}\cdot\text{м}^2)$ . Результаты нынешних исследований показали, что это базовое значение  $6 \text{ м}^3/(\text{час}\cdot\text{м}^2)$  не превышает значительно значения, полученные в ходе измерения воздухопроницаемости кирпичных домов.

При расчете номинального воздушного потока можно опираться, например, на результаты измерений аналогичного дома. В этом случае, при нахождении заявленного номинального потока  $q_{50, \text{dekl}}$  следует учитывать количество результатов измерений и расходимость. Для расчета используется формула 4.1:

$$q_{50, dekl} = \overline{q_{50}} + k \cdot \sigma_{q_{50}}, \text{ м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2) \quad (4.1)$$

$\overline{q_{50}}$  среднее значение номинального воздушного потока для данного типа жилья (получается путем измерений),  $\text{м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ ;  
 $k$  коэффициент, зависит от количества измеренных домов, вычисляется по формуле 4.2 и основывается на выборе при нормальном распределении 50%-ой фрактили и 95% вероятности (для новых домов и обеспечения качества используются следующие коэффициенты, см. RT 80-10974.);  
 $\sigma_{q_{50}}$  стандартное отклонение, данное из измеренных результатов номинального воздушного потока,  $\text{м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ , которое рассчитывается по формуле 4.3.

$$k = \frac{1,645}{\sqrt{n}}, - \quad (4.2)$$

$n$  количество измеренных домов.

$$\sigma_{q_{50}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{50,i} - \overline{q_{50}})^2}{n-1}}, \text{ м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2) \quad (4.3)$$

$q_{50,i}$  измеренный номинальный воздушный поток  $\text{м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$ .

В исследовательской работе «Строительно-техническое состояние панельных домов эстонского жилищно-строительного фонда и прогнозируемый срок их использования» представлены результаты измерений воздухопроницаемости панельных домов. Особых различий в воздухопроницаемости кирпичных и панельных домов нет (см. Таблица 4.5). Основные места воздушных утечек – это проемы и места соединения со стенами других конструкций. Различием в ходе двух исследовательских работ может быть только то, что в панельных домах воздушные утечки замечены в местах соединений панелей, а в кирпичных домах они распределены относительно равномерно по всей площади стены.

Таблица 4.5 Сравнение результатов значений воздухопроницаемости кирпичных и панельных домов.

	Кирпичные квартирные дома (настоящее исследование)		Панельные дома (Kalamees и др. 2009)	
	$q_{50},$ $\text{м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$	$n_{50}, \text{ час}^{-1}$	$q_{50},$ $\text{м}^3/(\text{час} \cdot \text{м}^2)$	$n_{50}, \text{ час}^{-1}$
Среднее значение	4,0	5,7	4,0	6,0
Базовая величина	4,4	6,4	4,7	6,8

Воздухопроницаемость граничных конструкций здания играет важную роль в энергоэффективности здания и непосредственно влияет на расходы на отопление. Следует иметь в виду, что границы здания, система отопления и вентиляция составляют единое целое. Для обеспечения хорошей энергоэффективности здания недостаточно только исправной отопительной и вентиляционной системы, должны быть соблюдены требования к тепло- и воздухопроницаемости граничных конструкций здания. Если хоть одна из составляющих не отвечает нормам, то не может идти и речи о хорошей энергоэффективности. При улучшении энергоэффективности здания стоит помнить и о необходимом воздухообмене. В доме с воздухопроницаемыми стенами правильного воздухообмена можно добиться только при наличии хорошо работающей вентиляционной системы. Если таковой нет, то воздухообмена в доме с воздухопроницаемыми границами не происходит и микроклимат нарушен.

По меньшей мере половину своего времени жильцы проводят дома, а известно, что существует четкая связь между плохим микроклиматом и слабым здоровьем. Дом можно сделать воздухонепроницаемым только вместе с заменой или ремонтом вентиляционной системы. Вентиляционная система функционирует нормально, если соблюдены следующие пункты:

- достаточный приток свежего воздуха и хорошая вентиляция,
- возможность регулирования воздушного потока,
- система уравновешена, чтобы избежать большой разницы давлений,
- допустимый уровень шума не превышен,
- тепловой комфорт для людей,
- энергоэффективность здания.

**Энергосберегаемость не должна отрицательно влиять на микроклимат**

## 5 Тепло- и влаготехническая производительность наружных стен

В ходе эксплуатации здания влага может перемещаться изнутри наружу внешних стен водяным паром (путем диффузии или конвекции) или водой (по капиллярам или за счет силы тяжести), см. Рисунок 5.1. Фасад многослойных стен непрветриваемый. Из-за наклонного дождя осадки могут проникать внутрь стены. Также стена и изоляция внутри нее могут намокать путем диффузии или конвекции водяного пара.

Количество влаги, полученное за счет диффузии водяного пара значительно меньше, чем полученное при конвекции или из-за осадков. Проблемы промокшей теплоизоляции связаны с изменением свойств материалов из-за влаги (например, увеличение теплопроводности), ростом микроорганизмов (плесень, бактерии) или распадом материала (гниль, ржавчина).

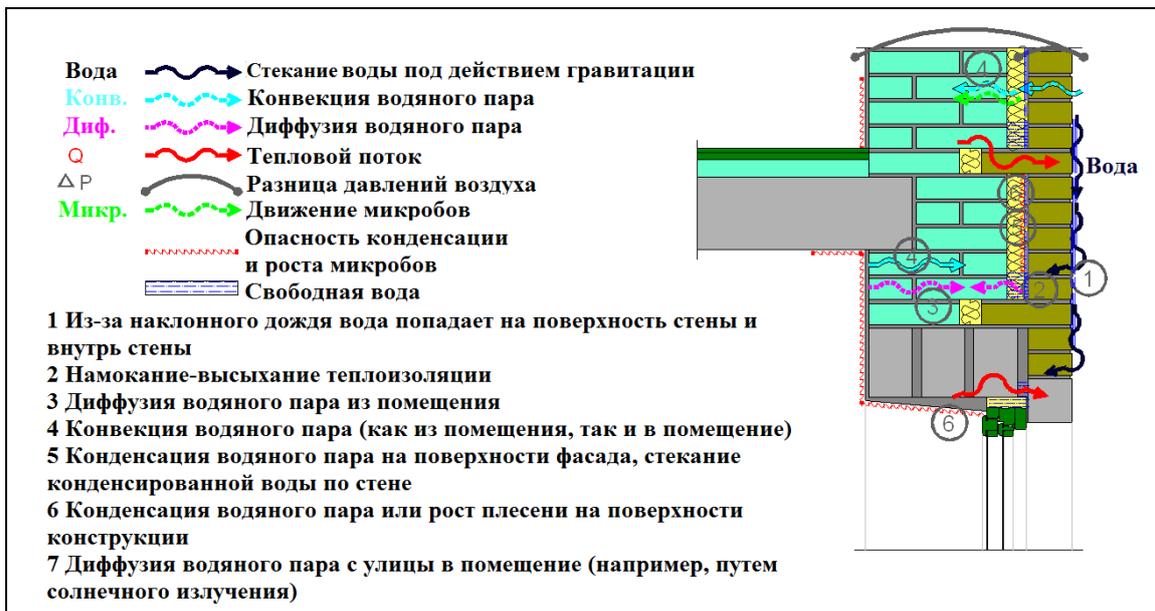


Рисунок 5.1 Основная схема влаго- и теплопроизводительности внешних стен.

Основные решения определения влаготехнической производительности кирпичных стен:

- рост плесени на конструкции должен быть ограничен или остановлен;
- конденсация водяного пара на конструкции должна быть ограничена или остановлена (например, в случае каменных конструкций  $\leq 0,5 \text{ кг/м}^2$ );
- следует избегать намокания древесных материалов, означающее, что содержание влаги в материале из древесины не должно превышать  $w \leq 20\%$ ;
- следует избегать скапливания влаги на поверхности, т.е. по возможности высушить конденсированный водяной пар (не менее года);
- чрезмерная влага не должна нарушать качества конструкций.

По сравнению с деревянными, конструкции из бетона или кирпича более терпимы к условиям избыточной влаги, поскольку больше подвержены нагрузкам от влаги и кратковременной конденсации водяного пара. Однако полностью кирпичные конструкции встречаются редко, а излишняя влага может повредить другие материалы в стене. Если в случае деревянных конструкций для нормальных характеристик влажности достаточно того, чтобы рост плесени не увеличивался и уровень конденсации был снижен, то в кирпичных стенах эти требования должны соблюдаться при более высоком уровне влажности. Это общее положение, для более точного определения нужны более глубокие исследования.

Многослойные кирпичные стены, как правило, утеплены 5-6 см слоем минеральной ваты. Фасадный слой связан с несущей конструкцией прокладными рядами кирпичей, жестким

раствором или одновременно двумя способами. Тонкая теплоизоляция, мостики холода между связующими камнями и продуваемость ограждений являются основными причинами высокой теплопроводности стен в старых кирпичных домах.

Теплопотери ограждений можно уменьшить путем установления дополнительной теплоизоляции. В некоторой степени дополнительное утепление снижает энергопотребление, т.к. сокращает период отапливания. Дополнительная теплоизоляция повышает температуру внутренней поверхности стены и уменьшает влияние проникновения холодных потоков снаружи. Это может повысить температуру воздуха в помещении.

В Эстонии в основном используются два решения дополнительной теплоизоляции внешних стен:

- вентилируемые фасады: с воздушным слоем и последующим закрытием утеплителя фасадом в виде облицовочных плит;
- невентилируемый фасад или мокрый способ: покрытие штукатурным слоем.

Исходя из целостности строения, нельзя рассматривать дополнительную теплоизоляцию отдельно. Дополнительное утепление влияет и на систему отопления, и на систему вентиляции. Нагрузка отопительного оборудования уменьшается, что снижает и коэффициент полезного действия котла центрального отопления. Вместе с установлением дополнительной теплоизоляции следует ремонтировать и отопительную, и вентиляционную систему. Снижение движения тепла через стены само по себе не влияет на воздухообмен. Поскольку дополнительная теплоизоляция делает граничные конструкции более воздухонепроницаемыми, это снижает воздушный поток через стены и инфильтрацию влаги, а также увеличивает нагрузку от влаги внутри помещения. В случае естественной и механической вытяжной вентиляции необходимо добавить клапаны свежего воздуха.

В последнее время в Эстонии много вопросов вызывает влияние теплоизоляционной системы и теплоизоляционных материалов на влажностный режим конструкции при её дополнительном утеплении. В ходе этого исследования по первоначальным данным определены:

- теплопроводность существующих стен и стен с дополнительной теплоизоляцией;
- сравнительный анализ составной системы двух различных теплоизоляционных материалов;
- влаготехнические характеристики кирпичной стены, теплоизолированной изнутри.

## 5.1 Измерения теплопроводности стен

### 5.1.1 Методы

Для определения теплопроводности внешних стен используются «вспомогательные» пластинки измерения теплового потока, а для определения значений программа для расчета двумерного температурного поля.

Для измерения теплопроводности стен использовались следующие приборы (Hukseflux HFP01 (интервал измерений  $-2000...+2000$  Вт/м<sup>2</sup>, точность измерений  $+5\%/-15\%$ , размер  $\varnothing$  8 см), ALMEMO FQ90119 и Ahlborn FQ90117SI (диапазон измерений  $<8$  Вт/м<sup>2</sup> и  $<50$  Вт/м<sup>2</sup>, точность измерений  $5\%$ , размеры  $25\times 25$  см и  $10\times 3$  см)). Тепловой поток определяют с помощью «вспомогательной» пластинки измерением перепада температур. Пластика и батарея термпар образуют преобразователь теплового потока. Наибольший показатель прибор фиксирует при большей разнице температур с двух сторон пластинки. Зная разницу температур между воздухом внутри и снаружи можно вычислить тепловое сопротивление и теплопроводность стены (см. также Рисунок 5.2):

$$R_T = \frac{T_{si} - T_{se}}{q}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (1)$$

$$U = \frac{1}{(R_{si} + R_T + R_{se})}, \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К} \quad (2)$$

где,

- $R_T$       тепловое сопротивление конструкции, м<sup>2</sup>·К/Вт;
- $T_{si}$      температура внутренней поверхности, К;
- $T_{se}$      температура внешней поверхности, К;
- $q$         тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;
- $R_{si}$      тепловое сопротивление внутренней поверхности, м<sup>2</sup>·К/Вт;
- $R_{se}$      тепловое сопротивление внешней поверхности, м<sup>2</sup>·К/Вт.

Описанная методика измерений руководствуется стандартом ISO 9869. С практической стороны измерение теплового потока связано с большим количеством проблем. Например, при маленьком размере пластины, она определяет значение в конкретном месте, а не среднее значение потока через конструкцию. По предварительно выполненной термографии можно выбрать подходящее для измерений место. В жилых домах провести эксперимент проблематично, так как в квартирах достаточно трудно найти место на стене, свободное от мебели, вдали от окна и отопительных приборов. На фотографии (см. Рисунок 5.2 справа) измерительный прибор расположен вблизи батареи, но ее влияние не значительно за счет полки над ней. При оценке теплопроводности конструкции с помощью пластины для определения теплового потока важно, чтобы измерительный период был достаточно длинным: при постоянной температуре не менее трех суток. Предпочтительнее для эксперимента северные стены, так как влияние солнечного излучения на них меньше.



Рисунок 5.2 Схема измерения теплового потока (слева) и измерение теплового сопротивления внешней стены в квартире (справа).

В дополнение к измерениям оценили теплопроводность кирпичных стен с помощью программы THERM 6.1. Расчет теплопроводности кирпичных стен методом определения двумерного теплового потока необходим, поскольку среднестатистический упрощенный метод расчетов (EVS-EN ISO 6946) не подходит для неоднородных конструкций, в которых теплопроводность различных материалов (утеплитель, кирпич) отличается более, чем в пять раз. Значения теплопроводностей, использованные в исследовании, представлены в Таблица 5.1.

Таблица 5.1 Свойства материалов, использованных при расчете теплопроводности стены.

Материал	Теплопроводность $\lambda_d$ , Вт/(м·К)
Кладка из силикатного кирпича	0,9
Керамический фасадный кирпич (пустотный)	0,65
Раствор	0,6
Минеральная вата (старые дома)	0,05...0,07
Пенополистирол (новые дома)	0,045

### 5.1.2 Результаты

На следующих рисунках (Рисунок 5.3...Рисунок 5.8) представлены результаты измерений теплопроводности внешних стен. На рисунках слева можно увидеть разрезы стен вместе с температурным распределением и направлением воздушных потоков. На графиках справа сравнение рассчитанной и измеренной теплопроводности.

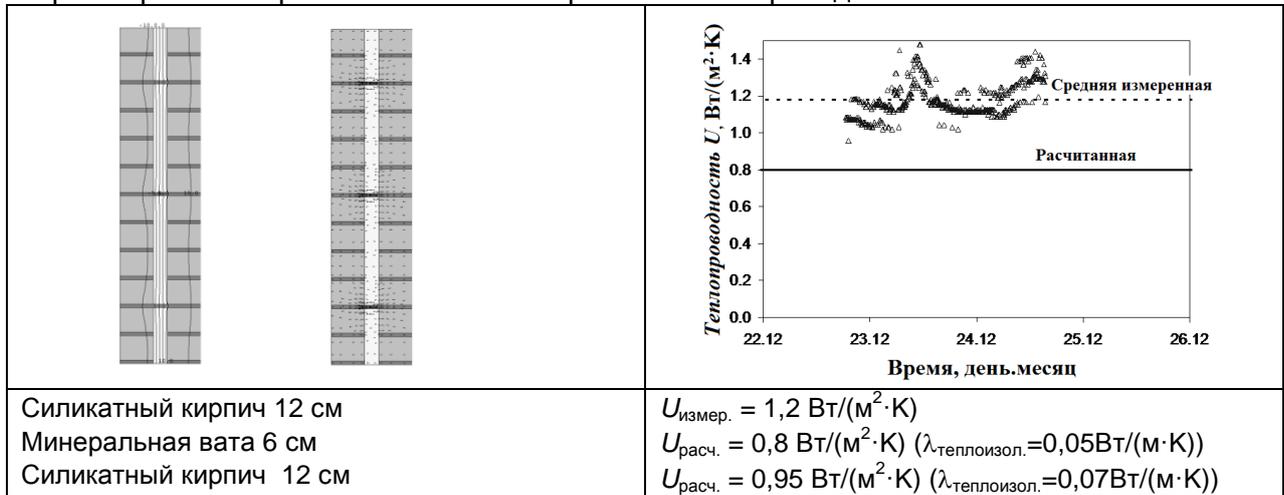


Рисунок 5.3 Сравнение теплопроводности стены 12 см + 6 см + 12 см (в доме 1150).

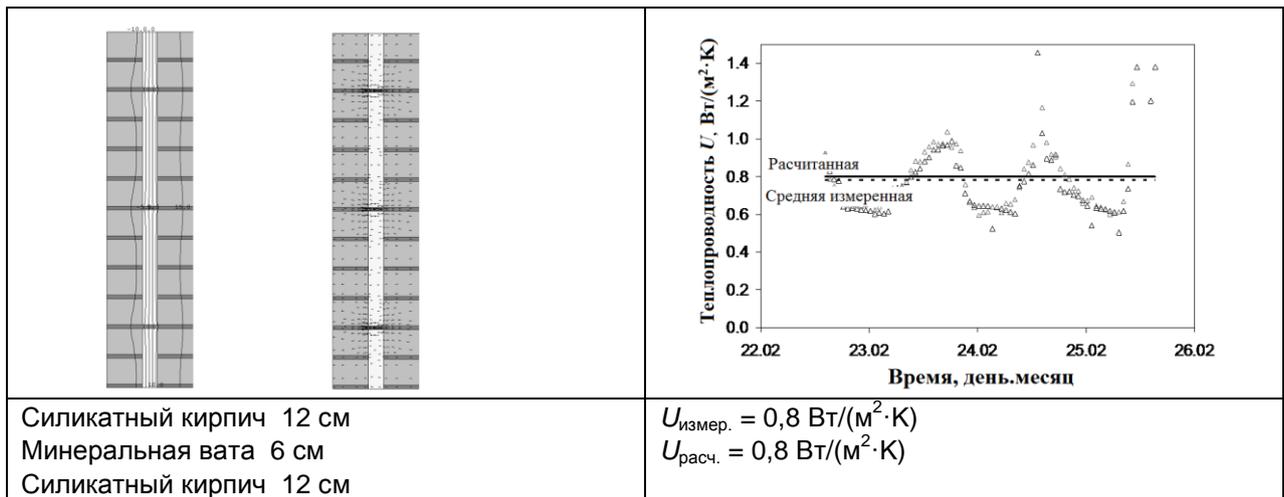


Рисунок 5.4 Сравнение теплопроводности стены 12 см + 6 см + 12 см (в доме 1170).

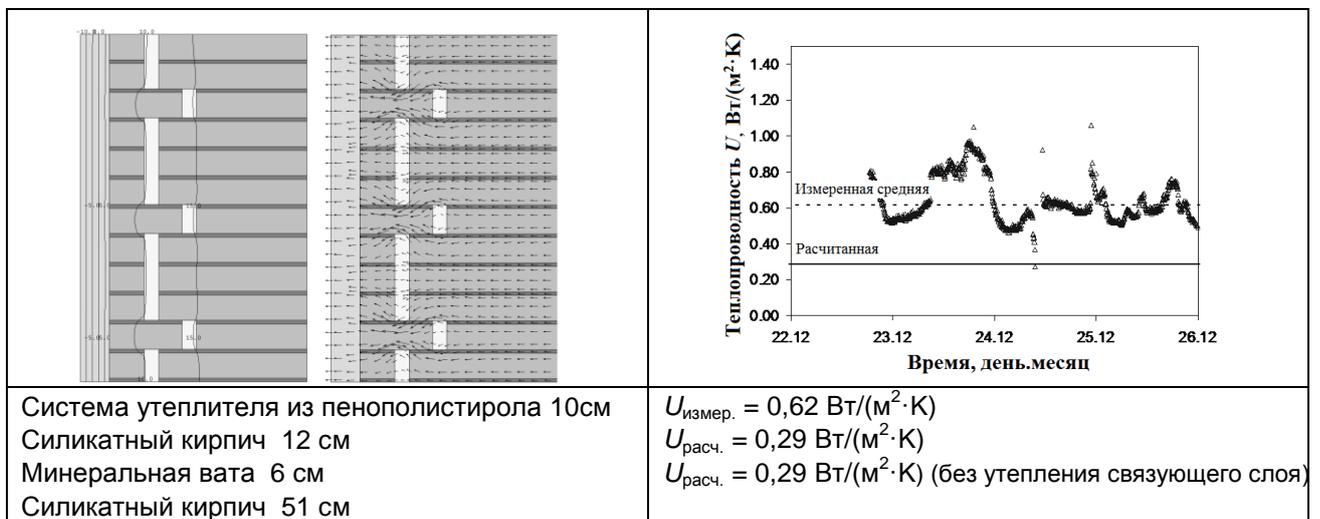


Рисунок 5.5 Сравнение теплопроводности стены 10 см +12 см + 6 см + 51 см (в доме 1150).

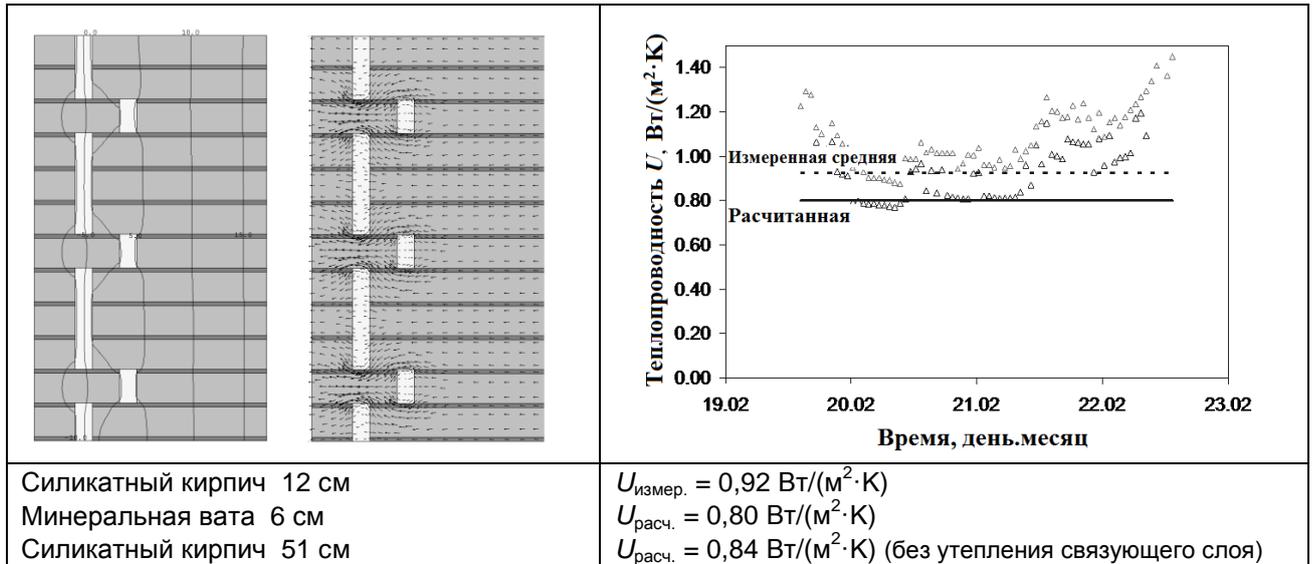


Рисунок 5.6 Сравнение теплопроводности стены 12 см + 6 см + 51 см (в доме 1160).

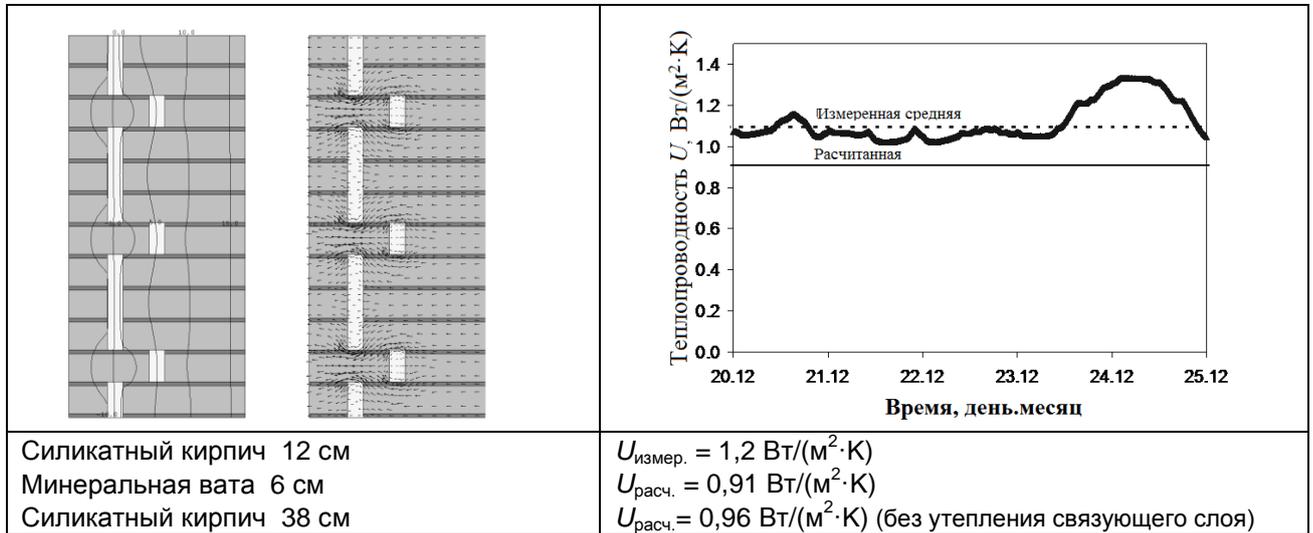


Рисунок 5.7 Сравнение теплопроводности стены 12 см + 6 см + 38 см (в доме 1190).

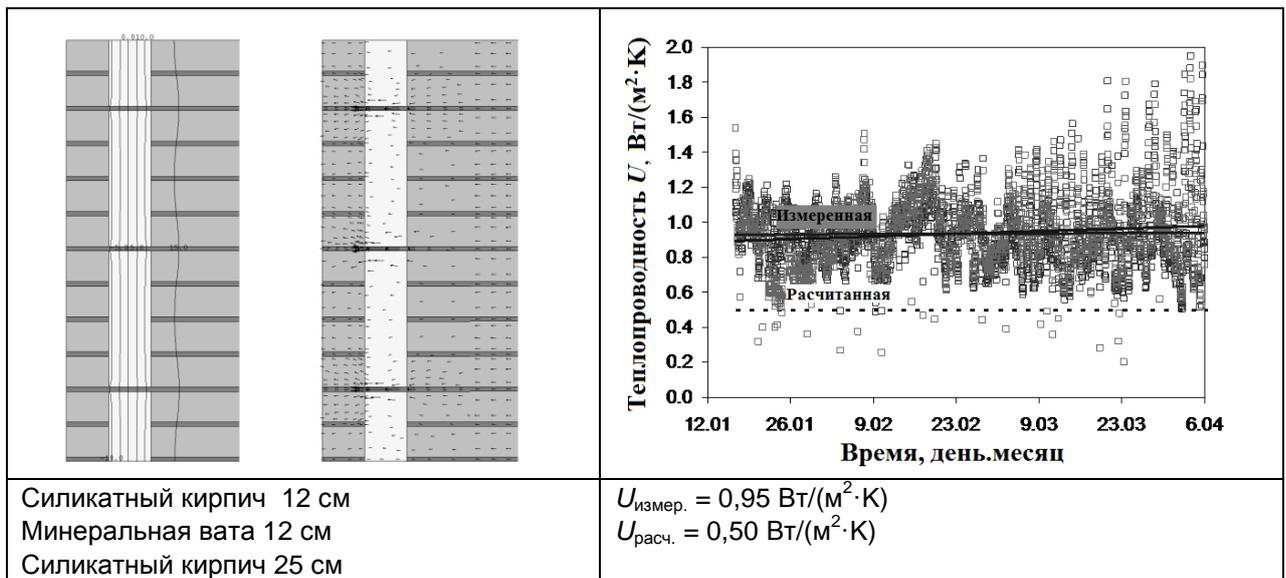


Рисунок 5.8 Сравнение теплопроводности стены 12 см + 12 см + 25 см (в доме 1230).

### 5.1.3 Оценка результатов

Различие рассчитанной теплопроводности (наилучшей для конструкции) и измеренной составляет в среднем 50%. В первую очередь, теплопроводность стены увеличивается за счет движения воздуха в области теплоизоляции (Рисунок 5.9 слева), а также из-за отсутствия изоляции или наличия раствора вместо неё (Рисунок 5.9 справа). Часто изоляция вообще отсутствует или установлена настолько плохо, что воздух снаружи свободно попадает внутрь.



Рисунок 5.9 Теплопроводность стены увеличивается за счет движения воздуха в области теплоизоляции (слева), а также из-за ее отсутствия или наличия раствора вместо неё (справа).

Больше всего беспокойства вызывает то, что наибольшая разница (Рисунок 5.5) была в стене с дополнительным утеплением: реальная теплопроводность была более, чем в 2 раза выше допустимой. Это указывает на серьезные проблемы качества. Вероятная причина может быть в традиционном методе закрепления теплоизоляционных панелей, когда панели крепятся к стене так, что между ними и старой стеной остается воздушное пространство, в которое попадает воздух с улицы, см. Рисунок 5.10.



Рисунок 5.10 Некачественно установленная дополнительная изоляция: не использован клей в плоскости теплоизоляции и внешний воздух попадает в этот промежуток.

## 5.2 Тепло- и влаготехническое сравнение теплоизоляционной системы из минеральной ваты и пенополистирола в домах из керамического кирпича

В последнее время много споров по поводу дополнительного утепления вызывает система утепления и влияние теплоизоляционных материалов на влажностный режим помещения. В рамках проведенного исследования начат ряд работ по определению различий различных тепловых систем и их пригодность в эстонском климате.

### 5.2.1 Методы

Для исследования различных теплосистем и влияния теплоизоляционных материалов, торцевая стена дома из керамического кирпича (см. Рисунок 5.11, Рисунок 5.12) была утеплена двумя различными методами:

- SILS-A: 100 мм минеральной ваты + штукатурка;
- SILS-B: 100 мм пенополистирола + штукатурка.

Стена расположена в трехкомнатной квартире, в ней нет окон и батарей, см. Рисунок 5.13. Исследование стало возможным благодаря фирмам Balti Vara Fassaadid OÜ, SIA Caparol Baltica Eesti, AS Telinek и Rockwool OÜ, которые провели работы по утеплению фасадов и поставили необходимые материалы и строительные леса.

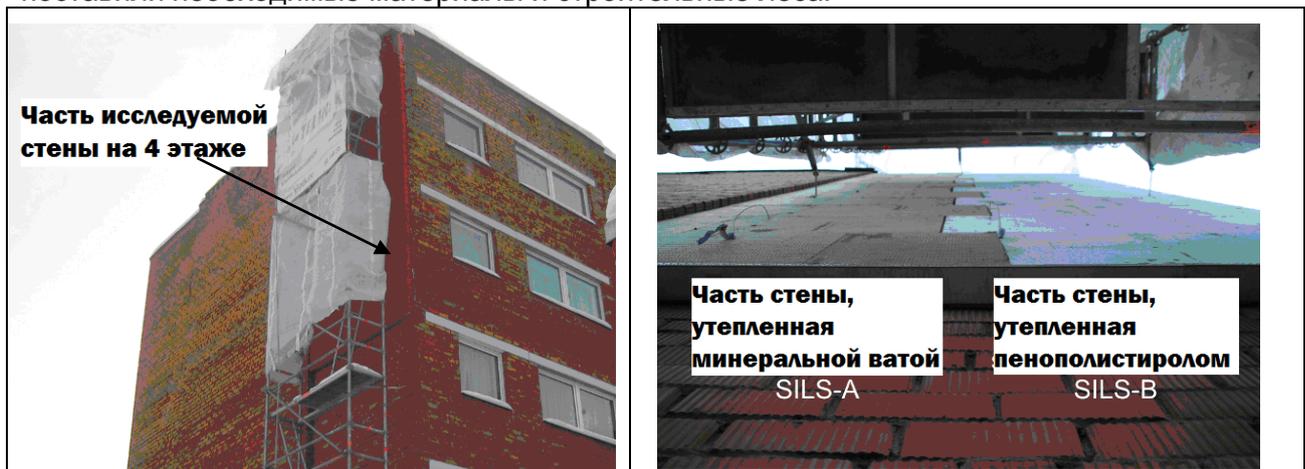


Рисунок 5.11 Исследуемая стена расположена на 4 этаже (слева). Левая часть стены утеплена минеральной ватой (SILS-A); угловая часть, правая утеплена пенополистиролом (SILS B) (справа, фотография сделана снизу вверх).

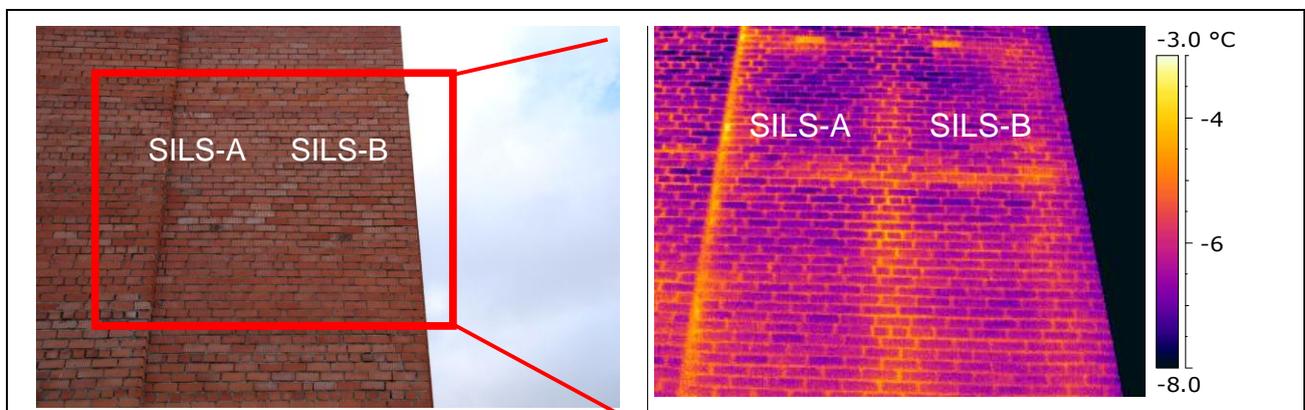


Рисунок 5.12 Торцевая кирпичная стена, утепленная двумя разными системами.

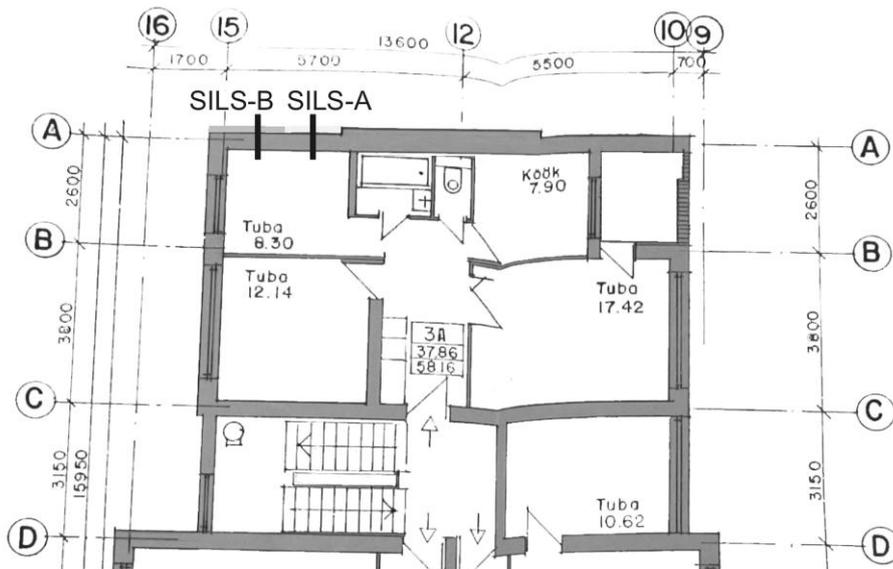


Рисунок 5.13 Место положения исследуемой стены на плане трехкомнатной квартиры 1231.

Разрез стен из керамического кирпича до и после теплоизоляции минеральной ватой (SILS-A) и пенополистиролом (SILS-B), а также расположение датчиков, см. Рисунок 5.14.

	Стена до утепления: период 2008/2009	Стена после утепления: период 2009/2010
<b>SILS-A:</b> 100 мм минеральной ваты + штукатурка	Полный керамич. кирпич Минеральная вата Целый силик. кирпич Штукатурка	Фасадная штукатурка Минеральная вата Клеильная смесь Полный керам. кирпич Минеральная вата Целый силик. кирпич Штукатурка
<b>SILS-B:</b> 100 мм пено- полистирола + штукатурка	Полный керамич. кирпич Минеральная вата Целый силик. кирпич Штукатурка	Фасадная штукатурка Минеральная вата Клеильная смесь Полный керам. кирпич Минеральная вата Целый силик. кирпич Штукатурка

Рисунок 5.14 Разрез стен из керамического кирпича до (слева) и после (справа) теплоизоляции минеральной ватой (SILS-A) и пенополистиролом (SILS-B), а также расположение датчиков.

Теплоизоляция частей стены была установлена так, чтобы тепло и влага двигались в горизонтальной плоскости:

- в плоскости вертикальных связей старой изоляции;
- в плоскости дополнительной теплоизоляции при монтаже полиуретановой пеной..

Измерения проводились в две зимы: зимой 2008/2009 неутепленная стена, а период 2009/2010 стена с дополнительным утеплением.

Измерительные системы используют следующие датчики:

- датчик измерения температуры и относительной влажности: Rotronic HygroClip SC05  $\varnothing 5\text{мм} \times 51\text{мм}$ ; область измерений от  $-40$  до  $+60^\circ\text{C}$ ;  $0\text{...}100\%$  RH; точность измерений  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ;  $\pm 1,5\%$  RH;
- датчик температуры поверхности: термистор типа TMC6-HD, область измерений  $-40\text{...}+100^\circ\text{C}$ ; точность измерений  $\pm 0,25^\circ\text{C}$  и термопара: TC6-K, область измерений  $0\text{...}285^\circ\text{C}$ , точность измерений  $\pm 2,2^\circ\text{C}$ ;
- пластинчатый теплообменник FQA017CSI  $100 \times 30$  мм, область измерений  $< 50\text{Вт/м}^2 = 1\text{мВ}$ , точность измерений  $5\%$ ;
- разница воздушного давления измерена дифференциальным манометром Magnesense Dwyer MS-221-LCD; область измерений  $\pm 50$  Па, точность измерений  $\pm 2\%$ ;
- измерения записаны накопителем данных Grant SQ2020-1F8 (область измерений  $-20\text{...}+65^\circ\text{C}$ , точность измерений  $\pm 0,1\%$  показаний и  $+0,1\%$  области измерений), Hobo U12-013 (область измерений  $-20$  до  $+70^\circ\text{C}$ ;  $5\text{...}95\%$  RH, точность измерений  $\pm 0,35^\circ\text{C}$ ;  $\pm 2,5\%$  RH) и Hobo U12-014 (область измерений  $0\text{...}1250^\circ\text{C}$ ; точность измерений  $\pm 4^\circ\text{C}$  или  $0,5\%$  показаний).

Датчики установлены с внешней стороны стены, а провода введены в комнату, где соединяются с накопителем данных. Результаты измерений датчиков записываются с часовым интервалом. Датчики установлены в часть между связывающими камнями, где влияние мостиков холода наименьшее.

В первый год стена была оснащена следующими датчиками:

- SILS-A: 100 мм минеральной ваты + штукатурка:
  - A t&RH<sub>1</sub>: датчик измерения температуры и относительной влажности с внешней стороны существующего слоя минеральной ваты, на внутренней поверхности фасадного кирпича;
  - A t<sub>i</sub>: температурный датчик на внутренней поверхности стены;
  - A t<sub>e</sub>: температурный датчик на внешней поверхности стены;
  - A q: пластинка для измерения теплового потока на внутренней поверхности стены.
- SILS-B: 100 мм пенополистирола + штукатурка:
  - B t&RH<sub>1</sub>: датчик измерения температуры и относительной влажности с внешней стороны существующего слоя минеральной ваты, на внутренней поверхности фасадного кирпича;
  - B t<sub>i</sub>: температурный датчик на внутренней поверхности стены;
  - B t<sub>e</sub>: температурный датчик на внешней поверхности стены;
  - B q: пластинка для измерения теплового потока на внутренней поверхности стены.

Во второй год дополнительно установили следующие датчики:

- SILS-A: 100 мм минеральной ваты + штукатурка:
  - A t&RH<sub>2</sub>: датчик измерения температуры и относительной влажности с дополнительной теплоизоляцией из минеральной ваты на внутренней поверхности стены;
  - A t&RH<sub>3</sub>: датчик измерения температуры и относительной влажности на внешней поверхности минеральной ваты, под штукатуркой.
- SILS-B: 100 мм пенополистирола + штукатурка:
  - B t&RH<sub>2</sub>: датчик измерения температуры и относительной влажности с дополнительной теплоизоляцией из пенополистирола на внутренней поверхности;
  - B t&RH<sub>3</sub>: датчик измерения температуры и относительной влажности на внешней стороне пенополистирола, под штукатуркой;

Температурные датчики внешней поверхности A t<sub>e</sub> и B t<sub>e</sub> на поверхности штукатурки. Помимо измерений температуры и относительной влажности стены провели измерения температуры воздуха и относительной влажности в комнате и на улице.

## 5.2.2 Результаты

### Нагрузки на стену от тепла и влаги: микроклимат квартиры и внешний климат

На Рисунок 5.15 представлены зависимости внутренней температуры (слева) и содержания влаги (справа) от температуры снаружи. В отапливаемый период средняя температура в квартире была +19 °С. В помещении нагрузка от влаги была ниже рассчитанной: если в старых кирпичных домах содержание влаги  $\Delta v +6 \text{ г/м}^3$ , то тут содержание влаги составляло 90% критического уровня и было  $\Delta v +3...4 \text{ г/м}^3$ .

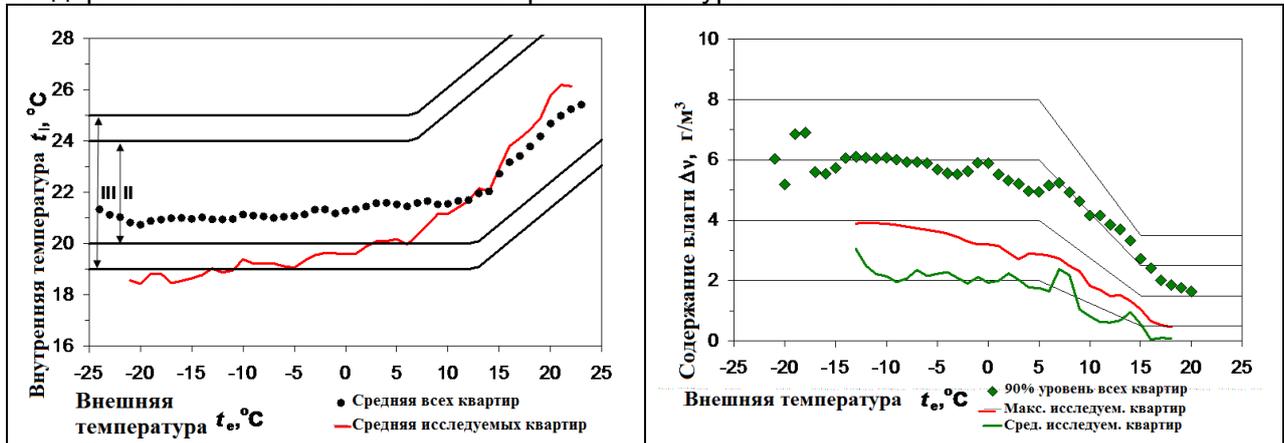


Рисунок 5.15 Зависимость внутренней температуры (слева) и влаги (справа) в квартире 1231 от внешней температуры.

Внешнюю температуру, внутреннюю температуру и температуру внутренней поверхности см. Рисунок 5.16. После установления дополнительной теплоизоляции заметно значительное повышение температуры внутренней поверхности. Если до утепления температура внутренней поверхности была на 4...5 °С меньше внутренней температуры воздуха, то после утепления разница составила ~1 °С. Таким образом, с установлением дополнительной теплоизоляции значительно улучшился микроклимат: стало меньше «холодного излучения» от стен, тепловой комфорт. Также с увеличением температуры внутренней поверхности уменьшилась относительная влажность в помещении (см. Рисунок 5.17).

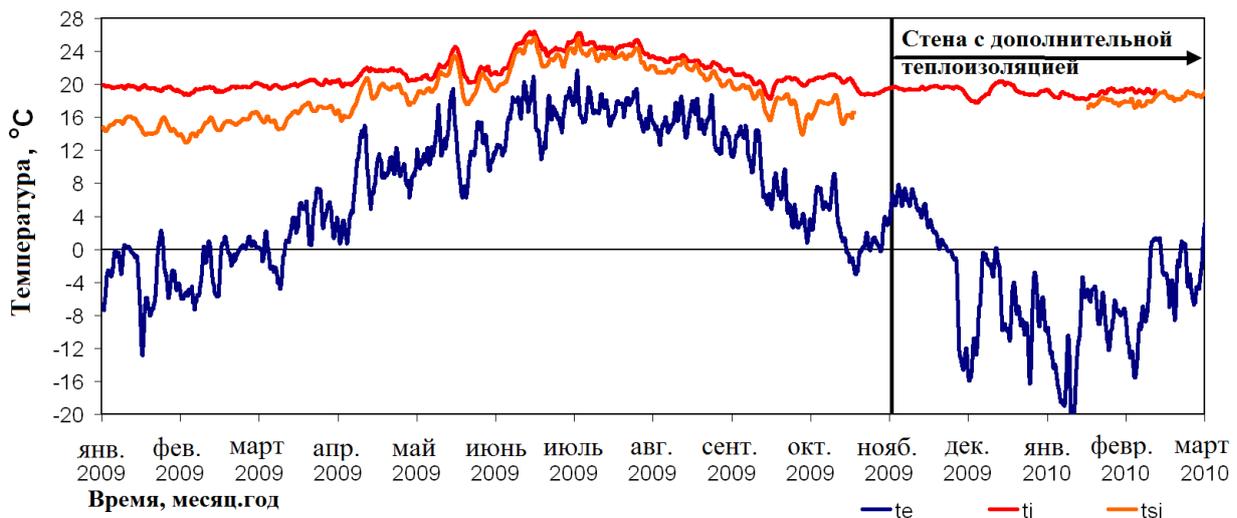


Рисунок 5.16 Измеренная среднесуточная температура внутреннего воздуха ( $t_i$ ), температура внутренней поверхности ( $t_{si}$ ) и температура воздуха снаружи ( $t_e$ ) до и после установки дополнительной теплоизоляции.

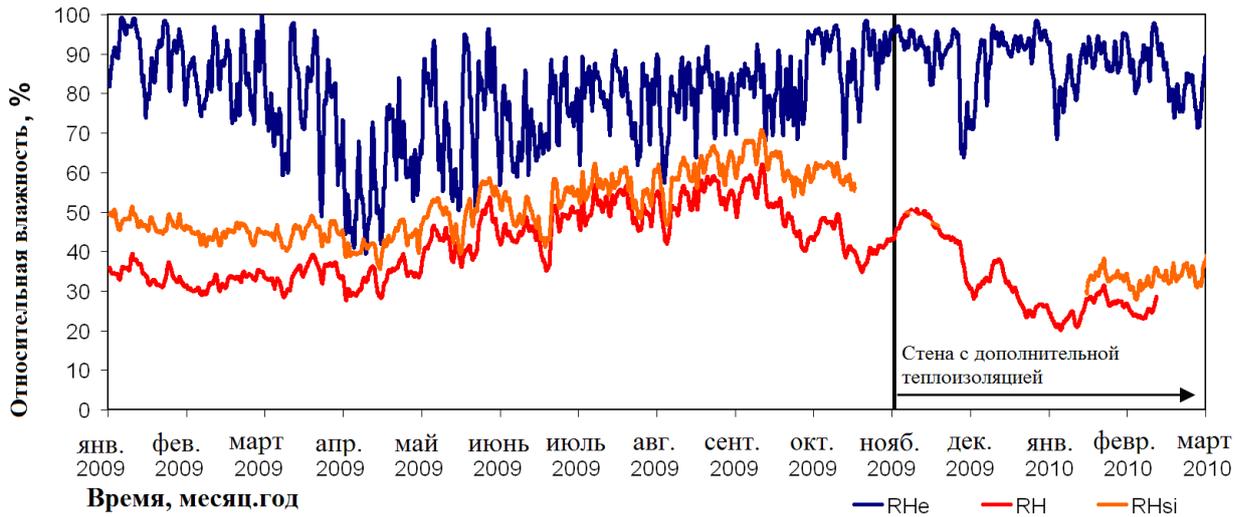


Рисунок 5.17 Измеренная среднесуточная относительная влажность внутреннего воздуха ( $RH_i$ ), относительная влажность внутренней поверхности ( $RH_{si}$ ) и относительная влажность воздуха снаружи ( $RH_e$ ) до и после установки дополнительной теплоизоляции.

### Положение тепла и влаги в стене до установления дополнительной теплоизоляции

В ходе исследования сравниваются две части стены. При сравнении различных положений следует знать, что потенциальные отличия могут быть приняты во внимание при последующем сравнении. Разница температур двух стен не существенная, температура стены и внешней поверхности старого утеплителя не сильно отличаются от температуры воздуха снаружи, см. Рисунок 5.18. Падение давления водяного пара в стене происходит в основном в области кирпичной кладки, внутренней штукатурки и на поверхности внутренней облицовки, поскольку давление водяного пара внешней поверхности утеплителя сравнимо с давлением водяного пара воздуха снаружи, см. Рисунок 5.19.

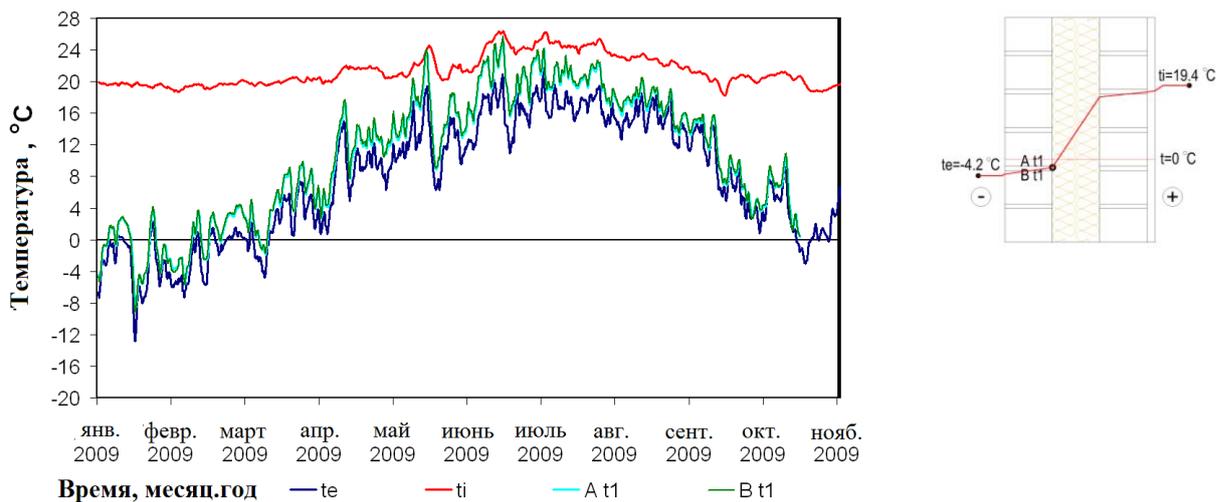


Рисунок 5.18 Измеренная среднесуточная температура внутреннего воздуха ( $t_i$ ), температуры внешней поверхности утеплителя ( $A t_1$ ,  $B t_1$ ) и температура снаружи ( $t_e$ ) до установки дополнительной теплоизоляции.

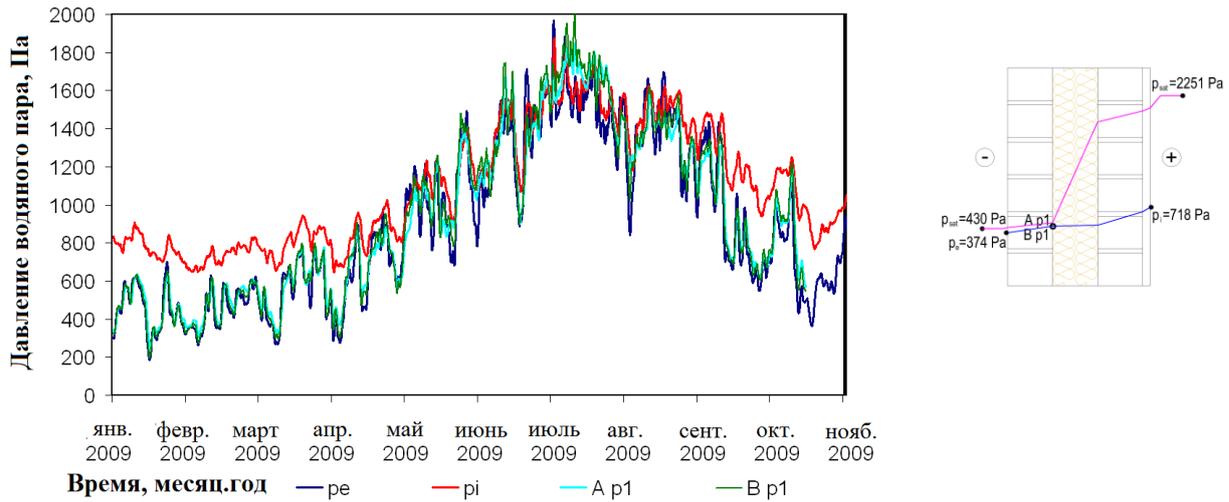


Рисунок 5.19 Измеренное среднесуточное давление водяного пара внутри помещения ( $p_i$ ), давление водяного пара на внешней поверхности старого утеплителя ( $A p_1$ ,  $B p_1$ ) и давление водяного пара снаружи ( $p_e$ ) до установки дополнительной теплоизоляции.

Рассчитанная на основе результатов измерений теплового потока, температур воздуха и поверхности, теплопроводность стен в зимний период была примерно одинаковой во всех частях стены, см. Рисунок 5.20. Теплопроводность значительно выше рассчитанной ( $\sim 0,50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) в основном из-за неправильной установки старой теплоизоляции и конвекции на ее поверхности. В летний период результаты измерений теплопроводности могут колебаться из-за незначительной разницы температур.

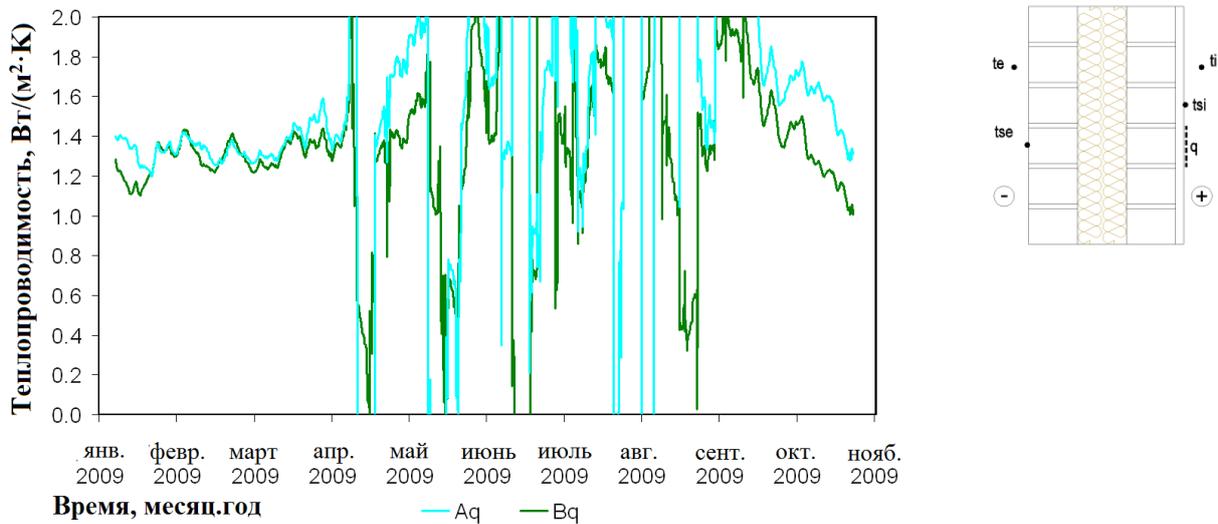


Рисунок 5.20 Измеренная средненедельная теплопроводимость в двух частях стены до установки дополнительной теплоизоляции.

### Состояние тепла и влаги в стене после установки теплоизоляции

Работы по установке дополнительной теплоизоляции проводились в период 16-20.11.2009. Поскольку после выполнения работ по утеплению и оштукатуриванию теплоизоляции леса и защитное покрытие остаются на фасаде здания ещё в течение двух месяцев, этот период не включен в анализ.

Во время работ по утеплению были установлены дополнительные датчики на внешнюю поверхность уже утепленной стены (обозначен 2) и на внешнюю поверхность теплоизоляции (под штукатуркой, обозначен 3), см. Рисунок 5.21. На рисунке также видно, как установлены датчики. Для установки датчика (обозначен 1) на внешнюю поверхность

существующей стены из нее достали кирпич, прикрепили туда датчик и вернули кирпич на место. В качестве кирпича, на который установлен датчик, был выбран силикатный кирпич, поскольку в исследовании использовались его морозостойкость и прочность на сжатие. Для установки датчиков (обозначены 2 и 3) на стену с дополнительной теплоизоляцией в ней просверлены отверстия, туда помещены датчики, и зазор герметично уплотнен.

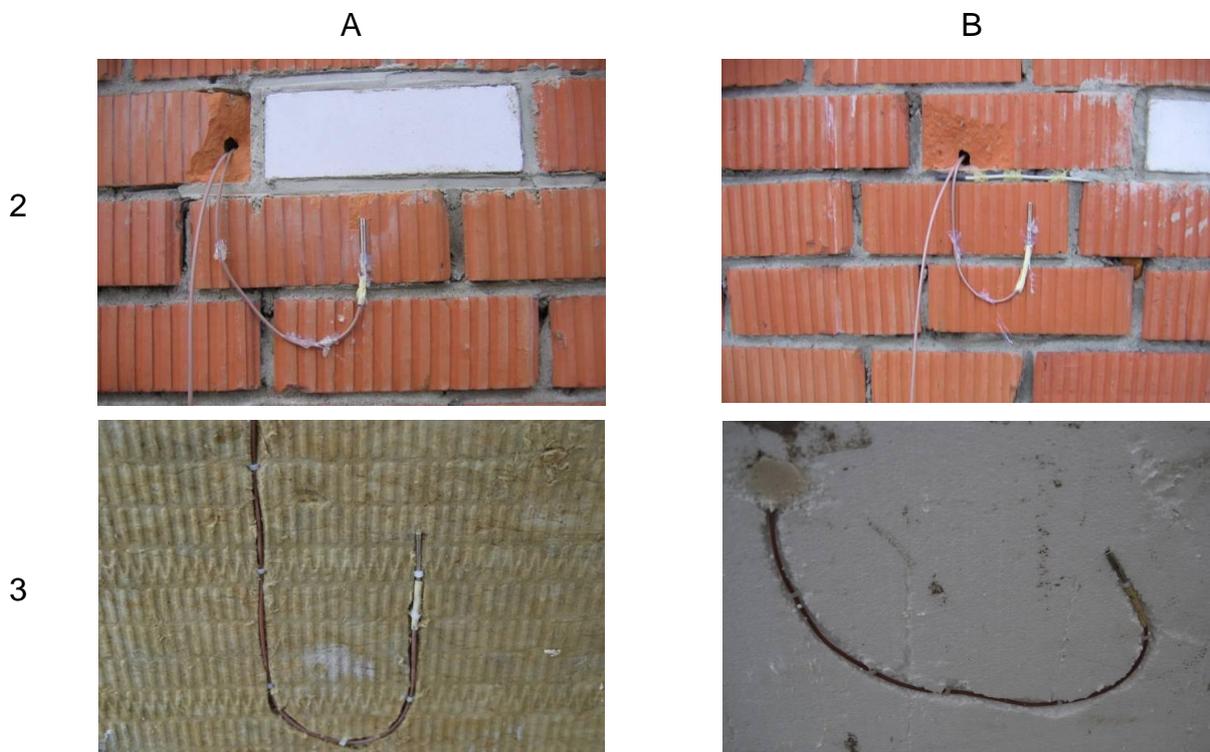


Рисунок 5.21 Расположение датчиков измерения температуры и относительной влажности 2 (сверху) и 3 (снизу) в исследуемой стене: в стене SILS A (слева) и стене SILS B (справа).

Температура на внешней поверхности старого фасада или на внутренней поверхности слоя дополнительной теплоизоляции (см. Рисунок 5.22) была выше  $0^{\circ}\text{C}$  и ее значения варьируются меньше, чем было при отсутствии дополнительного утеплителя. Это означает, что уменьшение количества циклов замораживания-оттаивания и деформаций, связанных с температурой, увеличивает срок службы здания. Вдобавок, дополнительный слой утеплителя защищает внешний слой существующего фасада от дождя, продлевает срок его службы.

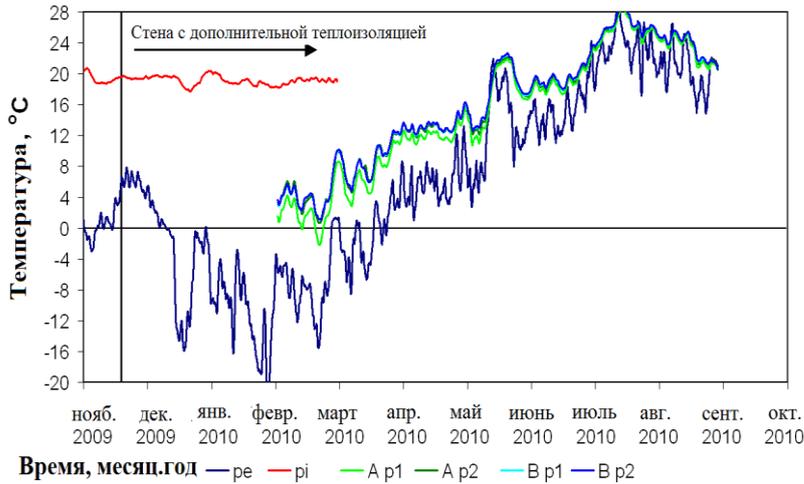


Рисунок 5.22 Измеренная среднесуточная температура воздуха внутри помещения ( $t_i$ ), температура внешней поверхности старого утеплителя ( $A t_1$ ,  $B t_1$ ), температуры внутренней поверхности дополнительной теплоизоляции ( $A t_2$ ,  $B t_2$ ) и температура воздуха снаружи ( $t_e$ ) после установки дополнительной теплоизоляции.

Падение давления водяного пара в стене происходит в основном на внутренней части облицовочного кирпича, с внутренней стороны штукатурки и на поверхности внутренней отделки, поскольку разница между давлениями с местами 1, 2 и 3 маленькая и близка к значению давления внешнего воздуха, см. Рисунок 5.23.

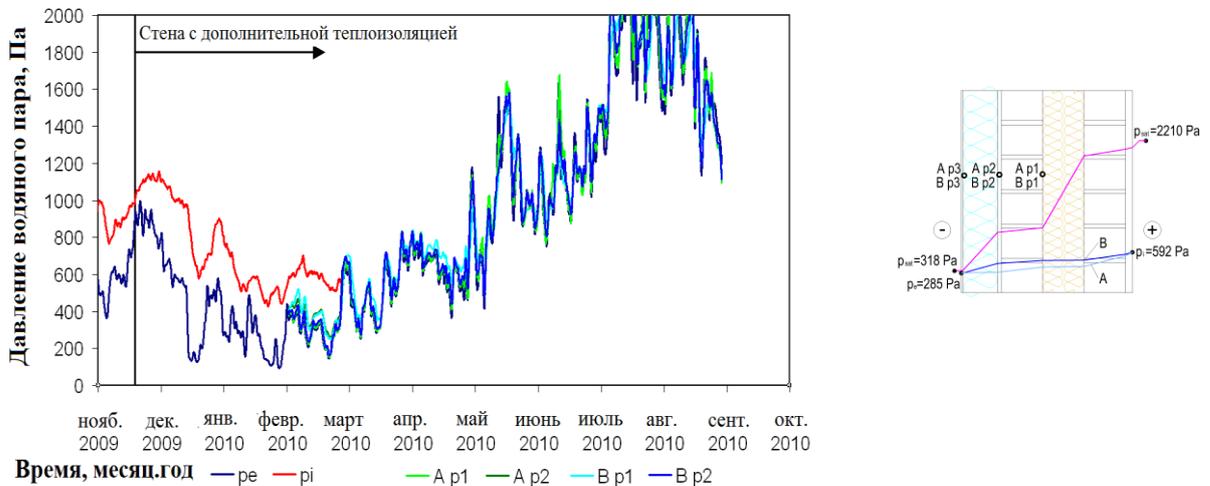


Рисунок 5.23 Измеренное среднесуточное давление водяного пара воздуха внутри ( $p_i$ ), давление водяного пара на внешней поверхности старого утеплителя ( $A p_1$ ,  $B p_1$ ), давление водяного пара на внутренней поверхности дополнительной теплоизоляции ( $A p_2$ ,  $B p_2$ ) и давление водяного пара снаружи ( $p_e$ ) после установки дополнительной теплоизоляции.

При сравнении двух систем дополнительной теплоизоляции особых различий в относительной влажности внутренней и внешней поверхности не было, см. Рисунок 5.24. В весенний период, когда из-за солнечного света фасад быстрее высыхает от водяного пара, при некоторых системах утепления за штукатуркой скапливается водяной пар.

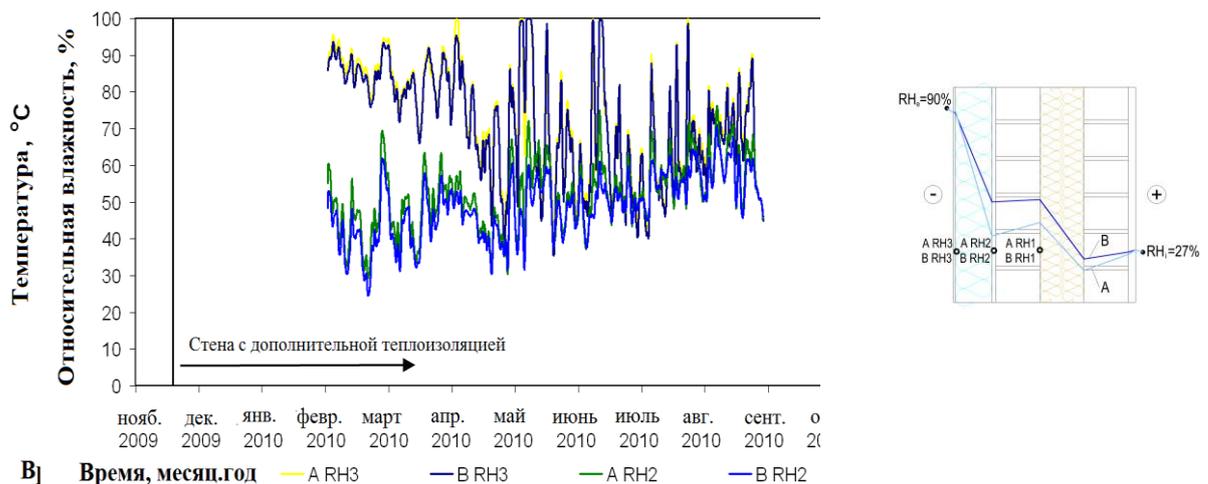


Рисунок 5.24 Измеренная среднесуточная относительная влажность на внешней поверхности старого утеплителя ( $A\rho_1, B\rho_1$ ) и относительная влажность на внутренней поверхности дополнительной теплоизоляции ( $A\rho_2, B\rho_2$ ) после ее установки.

Теплопроводности стены с дополнительной теплоизоляцией см. Рисунок 5.25. Теплопроводность стены, утепленной минеральной ватой (SILS-A) на ~12% меньше теплопроводности стены с пенополистиролом.

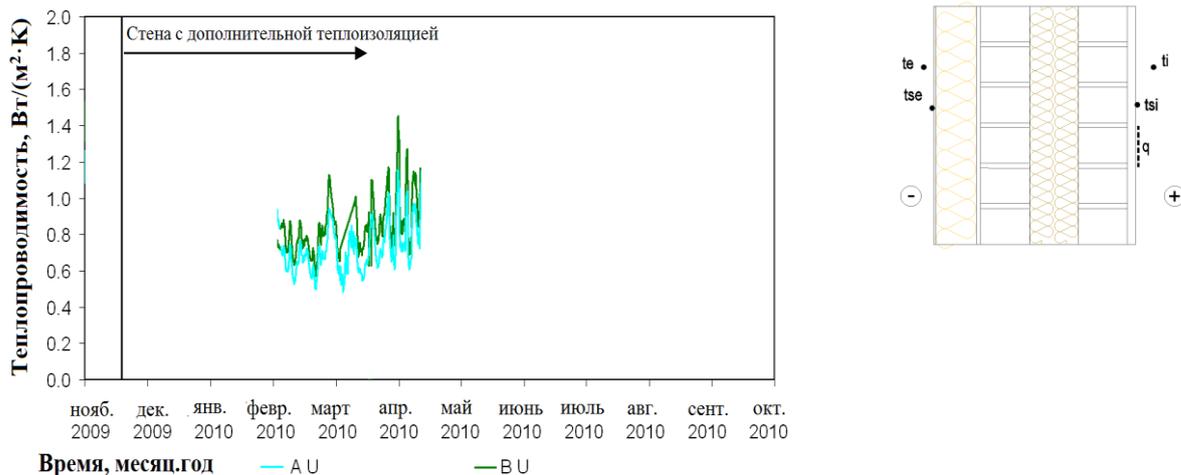


Рисунок 5.25 Измеренная средненедельная теплопроводность в двух частях стены после установки дополнительной теплоизоляции.

### 5.2.3 Оценка результатов

Теплопроводность кирпичных стен значительно выше рассчитанной теплопроводности (~0,50 Вт/(м<sup>2</sup>·К)) из-за неправильной установки старого утеплителя и конвекции.

Из-за отношения сопротивления водяного пара к слоям материалов, как в стенах с дополнительным утеплением, так и без него, между различными слоями материалов должно быть равномерное падение давления водяного пара. Это говорит о том, что к диффузии водяного пара добавилась ещё и конвекция, которая может случаться только внутри поверхности старой теплоизоляции, как показано на Рисунок 5.26. Конвекция тепла и влаги может послужить причиной того, почему в системе утепления SILS A температура ( $A t_2$ ) была ниже остальных результатов. Поскольку теплопроводность материалов утеплителя одинаковая, это может привести к проблеме того, что внешнее давление достигнет изоляции.

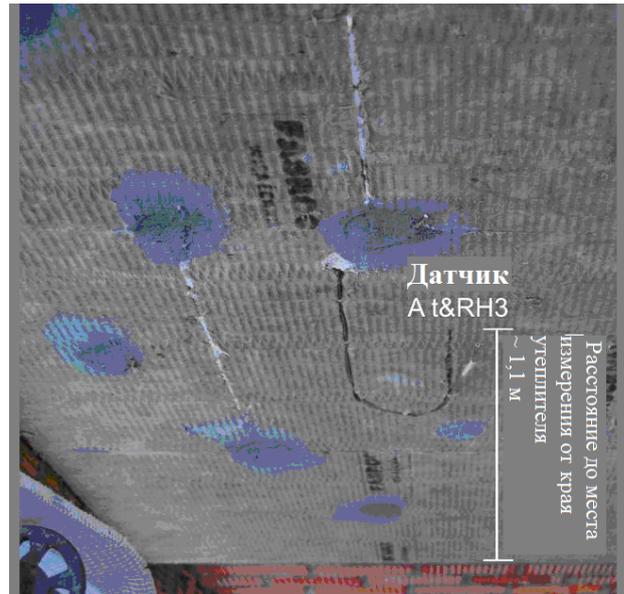
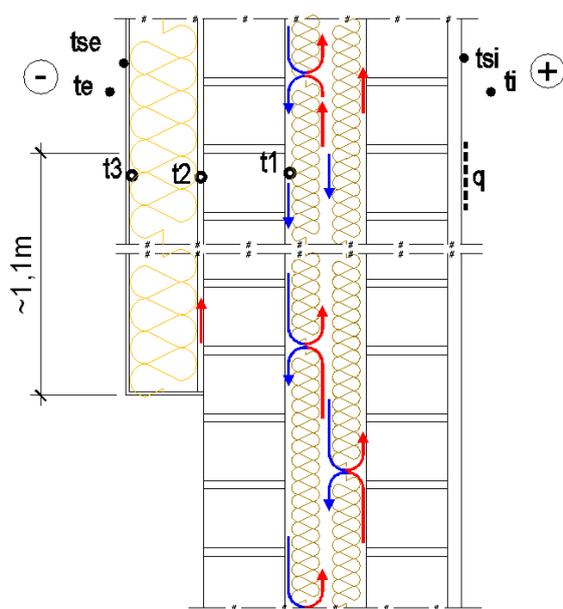


Рисунок 5.26 Внутренняя конвекция исследуемой стены.

Датчики измерения температуры и влажности расположены на расстоянии  $\sim 1,1$  м от нижнего края теплоизоляции. Это расстояние выбрано не случайно, а на основе расчетов теплопроводности для ликвидации движения тепла в двух направлениях. Только после вскрытия стены для установки датчиков выяснилось, что старый утеплитель местами отсутствует, а местами поврежден, что вызывает воздушные потоки. К сожалению, в ходе данной исследовательской работы не было достаточных средств, чтобы изолировать стену целиком, но в ходе следующего подобного исследования это обязательно стоит сделать.

При сравнении влажно-технической характеристики дополнительной объединенной системы утепления внешних стен (заштукатуренная теплоизоляция) и дополнительного утепления вентилируемого фасада, последнее решение лучше. Вентилируемый фасад лучше защищен от наклонного дождя. В случае объединенной дополнительной теплоизоляционной системы (заштукатуренная теплоизоляция) слой штукатурки необходимо защищать от дождя. На неплотном слое штукатурки или в местах соединения конструкций быстро скапливается вода, которая при оседании на стене может вызывать проблемы из-за влаги. Продуманное проектирование деталей и мест соединений, а также тщательное исполнение чрезвычайно важны.

Исследования по определению влияния используемой системы теплоизоляции и видов материалов на влажностный режим конструкции следует продолжать. Данное исследование предоставило важную информацию для дальнейших исследований, особенно для практической стороны вопроса. Важно исследовать, помимо кирпича, и другие материалы основных конструкций (например, легкий бетон). Помимо измерений необходим и расчетный анализ.

### 5.3 Анализ тепла и влажности кирпичной стены с дополнительной теплоизоляцией внутри здания

В ходе исследования в одной из квартир внешняя стена была утеплена изнутри. Отзывчивость и любезность жителей квартир позволили сделать измерения теплоты и влажности стен в домах. Измерения проводились в течение полутора лет, которые включали в себя две зимы: 17.12.2008...31.03.2010.

### 5.3.1 Методы

Стена из силикатного кирпича, утепленная изнутри 50 мм слоем минеральной ваты, который покрыть 13 мм слоем гипсового листа, см. Рисунок 5.27.



Рисунок 5.27 Местоположение исследуемой стены в квартире 1221 (слева) и фотография в гардеробе, где и находится место исследования (справа).

Разрез стены и расположение датчиков в ней, см. Рисунок 5.28. С практической точки зрения нужно было выбрать подходящее место для проведения измерений. Наиболее подходящим местом была часть внешней стены без вентиляционной трубы, можно было сделать измерения в гардеробе, где измерительное оборудование не беспокоило бы жителей и можно было сделать отверстие в стене. Положение стены с вентиляционной трубой технически более легкое, поскольку меньше холодного воздуха с улицы доходит до несущей конструкции.

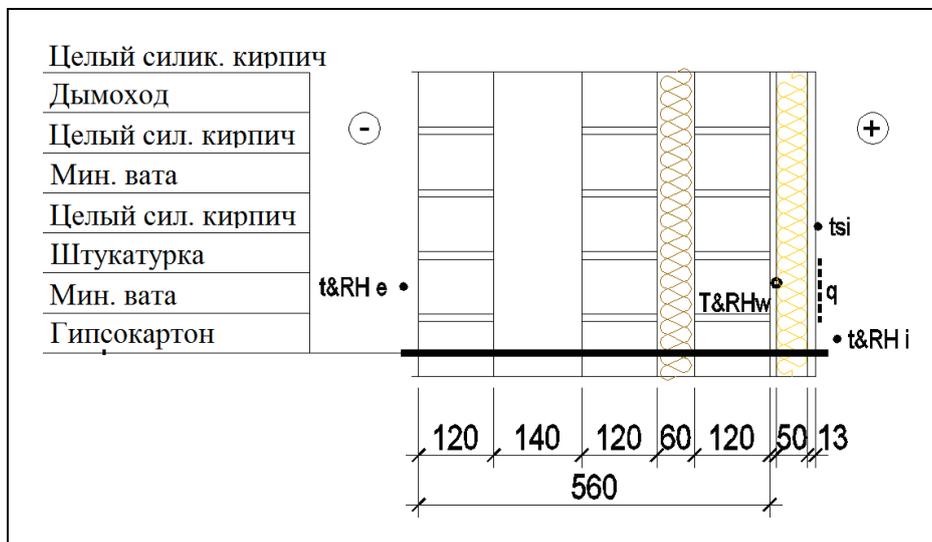


Рисунок 5.28 Стена с дополнительным слоем теплоизоляции изнутри (50 мм минеральной ваты) и расположение измерительных датчиков.

В ходе всего исследования показатели со стены брали следующие датчики:

- $t&RH_w$ : датчик измерения температуры и влажности на внутренней поверхности существующей стены или на внешней поверхности внутренней дополнительной изоляции;
- $q$ : пластинка для теплового потока;
- $t_i$ : датчик измерения температуры поверхности;

Также измерены температуры внешнего и внутреннего воздуха и относительная влажность. Микроклимат измерен, как в гардеробе, так и в комнате.

В качестве измерительных приборов используются следующие датчики:

- датчик измерения температуры и относительной влажности: Rotronic HygroClip SC05 Ø5мм×51мм; диапазон измерений -40 до +60 °C; 0...100% RH; точность измерений ±0,3 °C; ±1,5 % RH;
- датчик измерения температуры поверхности: термистор типа TMC6-HD, диапазон измерений -40...+100 °C; точность измерений ±0,25 °C) и термопара: TC6-K, диапазон измерений 0...285 °C, точность измерений ±2,2 °C;
- пластинка для теплового потока FQA017CSI 100x30 мм, диапазон измерений <50 Вт/м<sup>2</sup>, точность измерений 5%;
- дифференциальный манометр для измерения разности давлений Magnesense Dwyer MS-221-LCD; диапазон измерений ±50 Па, точность измерений ±2%;
- измерения записаны накопителем данных Grant SQ1020-1F8 (диапазон измерений -20...+65 °C, точность измерений ±0,1% показаний +0,1% области измерений) и Hobo U12-014.

### 5.3.2 Результаты

#### Нагрузки от тепла и влаги на стену: микроклимат квартиры и внешний климат

Состояние тепла и влаги в исследуемых квартирах представлено на Рисунок 5.29 зависимостью температуры и содержания влаги внутри от внешней температуры. Хотя квартиры нормально отапливались, нагрузка от влаги меньше нормативной нагрузки: если в старых кирпичных домах нормативное содержание влаги  $\Delta v +6 \text{ г/м}^3$ , то реальное содержание влаги в квартирах  $\Delta v +4 \text{ г/м}^3$ .

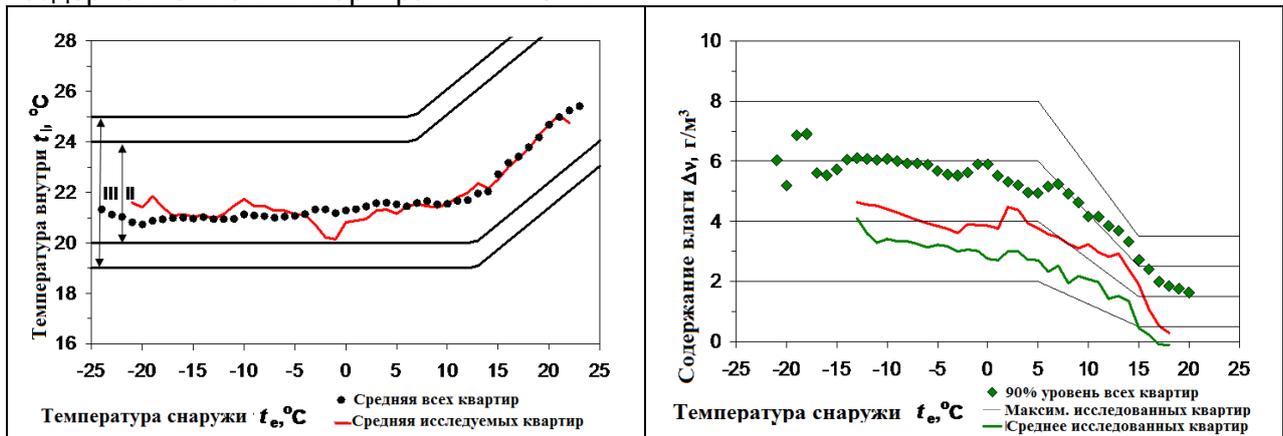


Рисунок 5.29 Зависимость внутренней температуры (слева) и содержания влаги (справа) в квартире 1221 от внешней температуры.

#### Состояние тепла и влаги стены, утепленной с внутренней стороны

Внешняя температура, температура внутри стены, температура внутренней поверхности и внутренняя температура см. Рисунок 5.30. Температура внутри стены с теплоизоляцией снаружи значительно ниже внутренней температуры. Это говорит о том, что тепловое сопротивление 50 мм слоя дополнительной теплоизоляции из минеральной ваты больше, чем тепловое сопротивление существующей стены. Низкую критичность температуры поверхности между кирпичной стеной и внутренней теплоизоляцией можно оценить при помощи температурного индекса  $fR_{si}$  (см. часть 3.1.1), так как частичное давление водяного пара воздуха внутри и внешней поверхности утеплителя одинаковые, см. Рисунок 5.31. Температурный индекс площади между кирпичной стеной и внутренней изоляцией  $fR_{si}=0,4$  значительно меньше приемлемого  $fR_{si} \geq 0,8$ .

Относительная влажность внутри стены стабильно высокая (см. Рисунок 5.32) и ~36% времени риск роста плесени завышен (Hukka&Viitanen 1999) (см. Рисунок 5.33). При

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

«вскрытии» стены, она вся была покрыта конденсатом водяного пара, а пробы минеральной ваты доказали наличие роста плесени (*Aspergillus* spp., *Cladosporium* spp.).

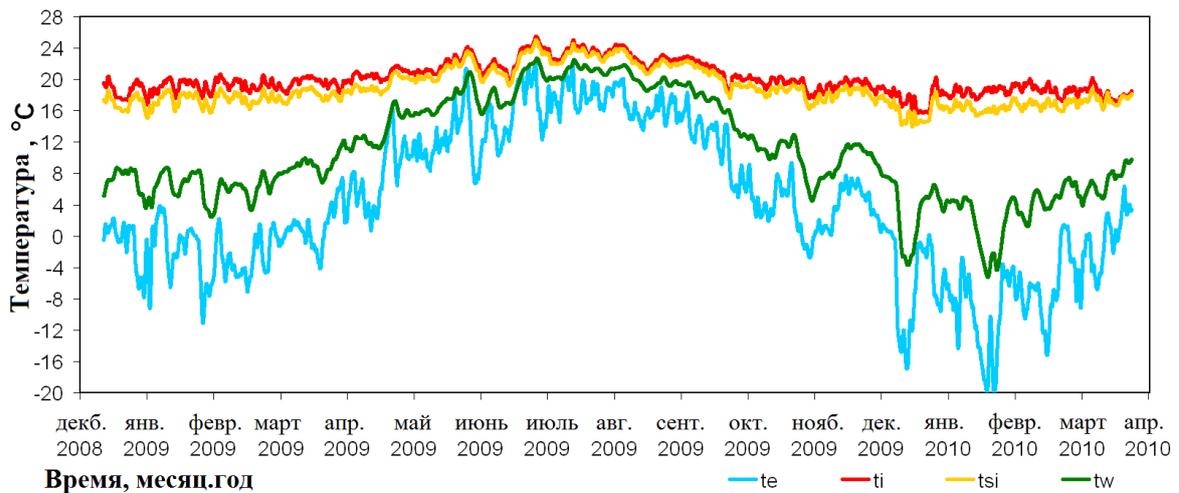


Рисунок 5.30 Измеренная среднесуточная температура в помещении ( $t_i$ ), температура внутренней поверхности стены ( $t_{si}$ ), температура внешней поверхности утеплителя ( $t_w$ ) и температура воздуха снаружи ( $t_e$ ).

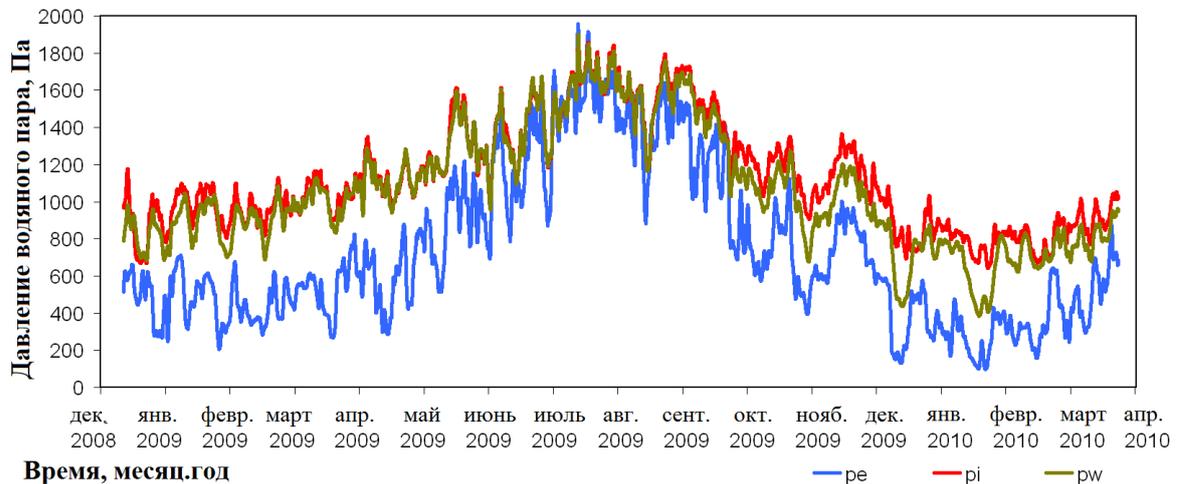


Рисунок 5.31 Измеренное среднесуточное давление водяного пара воздуха в помещении ( $p_i$ ), давление водяного пара внутри стены ( $p_w$ ) и давление водяного пара воздуха снаружи ( $p_e$ ).

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

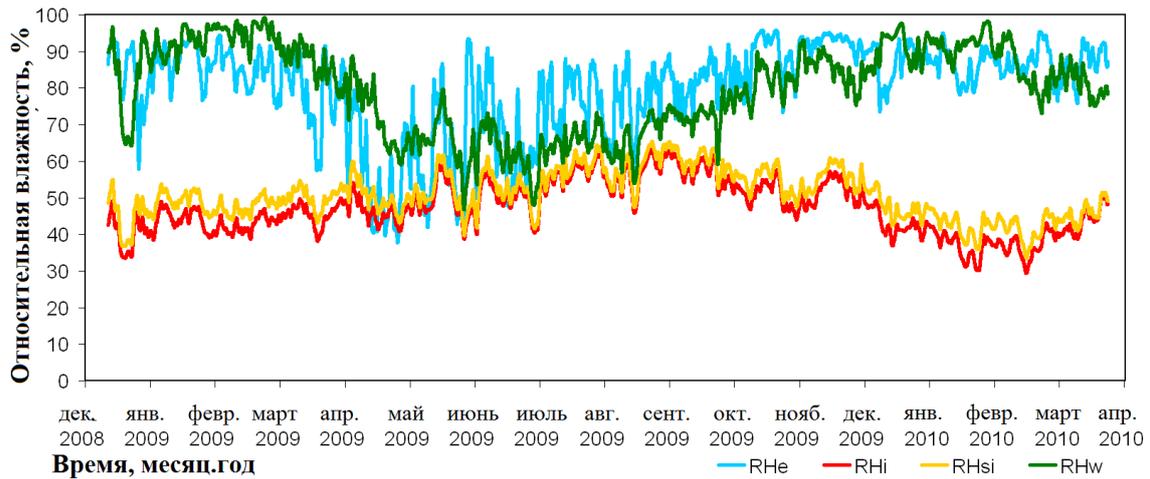


Рисунок 5.32 Измеренная среднесуточная относительная влажность внутреннего воздуха ( $RH_i$ ), относительная влажность внутренней поверхности ( $RH_{si}$ ), относительная влажность внутри стены ( $RH_w$ ) и относительная влажность воздуха снаружи ( $RH_e$ ).

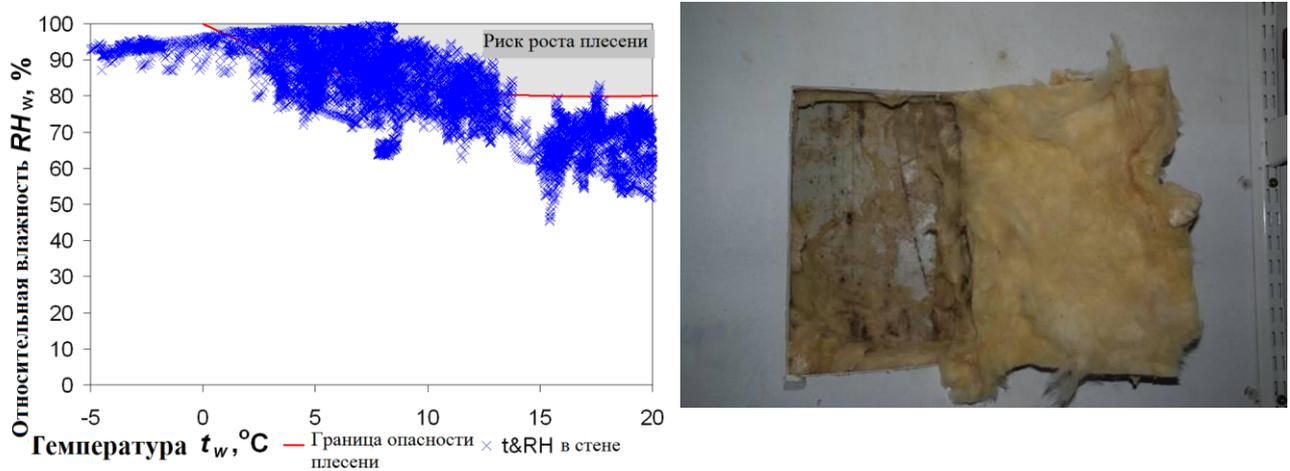


Рисунок 5.33 Измеренная температура и относительная влажность внутри стены с дополнительной теплоизоляцией благоприятны для роста плесени (слева). Кирпичная стена с дополнительной теплоизоляцией изнутри испорчена конденсацией водяного пара и плесенью (справа).

**В кирпичных стенах внутренняя дополнительная теплоизоляция из минеральной ваты неприемлема!!!**

## 6 Звукоизоляция внутренних перегородок

С позиции Закона о строительстве в постройке следует избегать чрезмерного распространения шума. Препреграждение распространения шума является одним из шести главных представляемых требований к постройке. Уровень шума не должен угрожать жизни и здоровью человека и давать возможность жить и работать в удовлетворительных условиях. Шум пробивается в квартиру как из внешней среды, из других квартир, так и с лестничной площадки. Также шум распространяется внутри квартиры между комнатами.

Целью данного исследования было выяснить соответствие более старых кирпичных построек современным нормам и рекомендациям по звукоизоляции внутренних перегородок. Звукоизоляцию внутренних перегородок оценили по двум типам, наиболее распространенным среди кирпичных жилищ ( типовые серии 1-317 и 1-318). Конструктивные системы таких жилищ составляют межквартирные несущие стены из кирпича и опирающиеся на них, в случае продольных несущих стен и на наружные кирпичные стены, пустотные железобетонные панели толщиной 220 мм.

### 6.1 Методы

#### 6.1.1 Основы решений по качеству звукоизоляции внутренних перегородок

В стадии оценки важнее всего принять правильное решение по выбору критериев и методов оценивания.

В промежутке 1961–1990 гг. при проектировании жилых квартирных домов исходили из требований СНиП II – Л.1-71 ( $R_{w(стена)} \geq 52$  дБ,  $R'_{w(перекрытие)} \geq 51$  дБ и  $L_{n,w} \leq 63$  дБ).

Для защиты жизненной среды от шума постановлением номер 42 министра социальных дел 4 марта 2002 года установлены нормы уровня шума: Нормы уровня шума в зонах проживания и отдыха, в жилищах и зданиях общего пользования и методы измерения уровня шума. По этому постановлению шум, возникший в результате человеческой деятельности, считается приемлемым, если постройка отвечает рекомендациям Эстонского стандарта EVS 842:2003 “Требования по звукоизоляции построек. Защита от шума”. Минимальные требования, которым должны отвечать жилые помещения в квартирах по EVS 842:2003:

- Индекс изоляции воздушного шума  $R'_w \geq 55$  дБ
- Индекс уровня ударного шума  $L'_{n,w} \leq 53$  дБ

Наряду с вышеприведенными EVS 842:2003 устанавливает требования и к звукоизоляции наружных ограждений. Ранее эти требования отсутствовали. Так как эти требования зависят от уровня наружного шума, т.е. от местоположения здания, то руководство с общей характеристикой по улучшению состояния зданий с этой позиции дать невозможно.

Всё чаще находит в Эстонии применение Стандарт Северных стран INSTA 122:1998, в котором применяется акустическая классификация зданий: звуковые классы А, В, С, D.

- звуковой класс А: особенно хорошие акустические условия, в которых жителей могут беспокоить лишь случайные звуки или шум; предполагается, что более, чем 90% жителей, оценивает акустические условия как хорошие или очень хорошие;
- звуковой класс В: акустические условия заметно лучше, чем в случае отвечающего минимальным требованиям класса С; жители могут быть побеспокоены шумом лишь в некоторых случаях. Предполагается, что от 70% до 80% жителей оценивает акустические условия как хорошие или очень хорошие. Менее, чем 10%, оценивает акустические условия как плохие;
- звуковой класс С: минимальные требования, установленные для новых построек; предполагается, что от 50% до 65% жителей оценивает акустические условия как хорошие или очень хорошие. Менее чем 30% оценивает акустические условия как плохие;

- звуковой класс D: класс звукоизоляции для более старых, с более плохими акустическими условиями построек, например строения, требующие ремонта; не предназначен для новых построек; предполагается, что от 30% до 45% жителей оценивает акустические условия как хорошие или очень хорошие. От 25% до 50% оценивает акустические условия как плохие.

Если достижение уровня акустического качества нового здания дорогое и принимается низкое качество акустического качества, для оценки акустического качества старых и реновируемых зданий можно исходить из требований класса D. Рекомендации INSTA 122:1998 к звукоизоляции ограждений, см. Таблица 6.1.

Таблица 6.1 Акустическая классификация зданий (INSTA 122:1998).

Класс звукоизоляции	Звуковой класс			
	A	B	C	D
Межквартирный индекс изоляции воздушного шума $R'_w$ (дБ)	63	58	55	50
Между помещениями одной квартиры и хотя бы одной жилой комнаты	48	43	-	-
Приведенный индекс уровня ударного шума $L'_{n,w}$ (дБ)	43	48	53	58

В части по звукоизоляции ограждений критерием оценки выбрали рекомендации EVS 842:2003 и INSTA 122:1998, которые отражают потребности современного человека в развитых странах Европы.

### 6.1.2 Методы оценки звукоизоляции внутренних перегородок

Для оценки звукоизоляции необходимо было:

- оценить звукоизоляцию кирпичных жилищ в условиях эксплуатации путем измерения и вычисления;
- выяснить их соответствие рекомендациям EVS 842:2003 и INSTA 122;
- оценить различные возможности по улучшению звукоизоляции в соответствии с EVS-EN 12354-1 и EVS-EN 12354-2.

EVS 842:2003 установил также стандарты, по которым следует оценивать звукоизоляцию ограждений как опытным путем, так и путем расчетов, в том числе требование, что оценивание должна проводить аккредитованная измерительная лаборатория.

Участовавшая в данной работе Jõgioja Ehitusfüüsika KB OÜ аккредитована Эстонским Центром аккредитации по части измерения звукоизоляции (свидетельство L 186).

Аналогично исследованию панельных жилых домов следует отметить трудности по проведению измерений в эксплуатационных условиях в связи с увеличивающей звукоизоляцию мебелью, находящейся в комнатах, с присутствием жителей квартир, которые не всегда давали возможность использовать свои квартиры (на работе, больны, маленькие дети и т.д.). В связи с этим измерения по сериям провести не удалось, и полученные результаты опытов следует рассматривать как предварительные, которые нужны для сравнения конструктивных решений и оценки результатов вычислений.

Далее коротко описываются методы измерения и вычисления, использованные в ходе работы, концентрируя внимание на надежности результатов:

- EVS – EN ISO 140-4:1988. Стандарт дает указание по измерению поля воздушной звукоизоляции в зависимости от частоты. Обработка данных опыта по нахождению индекса воздушной звукоизоляции  $R'_w$  отвечает требованиям ISO 712-1:1996. Точность опытов в различных ситуациях оценивали по EVS-EN ISO 140-14:2004, что в условиях диффузионного звукового поля в диапазоне частоты 100-3200 Гц даёт стандартное отклонение по проведенным опытам, соответствующее 3,5-0,4dB. Учитывая, что обеспечить диффузионное звуковое поле в мебелированной квартире практически невозможно, действительная расходимость результатов опыта больше. Неопределенность измерения индекса воздушной звукоизоляции  $\pm 2$ дБ требует увеличить количество испытаний.

- EVS-EN ISO 140-7:1988. Стандарт дает указание по измерению поля уровня ударного шума перекрытий. Результаты опыта обработали и приведенный индекс уровня ударного шума  $L'_{n,w}$  нашли в соответствии с EVS 712-2:1996. Дополнительные требования по измерению в особых случаях приведены в EVS-EN ISO 140-14:2004, которых также придерживались при проведении опытов. Так как при нахождении величины приведенного уровня ударного шума решающим был уровень ударного шума при низких частотах (100–400 Гц), точность опытов здесь меньше, чем при нахождении индекса воздушной звукоизоляции. В общем случае неопределенность измерения здесь  $\pm 2$  дБ. Установленная неопределенность измерения гарантируется увеличением числа испытаний.
- EVS-EN 12354-1:2005. Стандарт дает указания по вычислению индекса воздушной звукоизоляции  $R'_w$ . В стандарте три различные модели вычисления, из которых использовали упрощенную модель передачи структурного звука, учитывая передачу звука через прилежащие траектории. Проблему вызывало оценивание существующих перегородок, где отсутствуют надежные данные по динамической жесткости использованных эластичных слоев. В общем случае динамическая жесткость древесноволокнистых панелей со времен строительства была 200–250 МН/м<sup>3</sup>. По главному резонансу и воздушной звукоизоляции перекрытий, найденным опытным путем, а также частотной характеристике уровня ударного шума, динамическая жесткость должна быть в диапазоне частот 25–60 МН/м<sup>3</sup>. В расчетах использовали величину 25 МН/м<sup>3</sup>, чтобы вывести эффективность тяжелого плавающего пола также в том случае, когда имеется дело с более действенными имеющимися решениями. Уточнением динамической жесткости эластичного слоя в случае легких полов (в зависимости от эксплуатационных условий) следует заняться в ходе дальнейших исследований. В общем случае, при использовании упрощенной модели стандартное отклонение точности прогнозов дается  $\pm 2$  дБ, причем заметна тенденция переоценивания легкой изоляции.
- EVS-EN 12354-2:2005. Стандарт дает указания по вычислению приведенного индекса уровня ударного шума  $L'_{n,w}$  для перекрытий. Из двух приведенных в Стандарте моделей вычисления использовали упрощенную модель, где брали в расчет передачу направленного стороннего звука, используя вычисления сделанные на основе детальной модели. Факторы, влияющие на точность прогноза, это точность введения данных, соответствие ситуации и модели, тип элементов и соединений, геометрия строительства и уровень осуществления строительных работ. При вертикальной передаче, т.е. в данной работе, прогнозируется, что полученная разница значений в 60% случаев равна  $\pm 2$  дБ, в 100% случаев она входит в промежуток  $\pm 4$  дБ.

## 6.2 Результаты

### 6.2.1 Результаты измерения звукоизоляции в условиях эксплуатации

Для выяснения звукоизоляции жилищ в условиях эксплуатации измерили звукоизоляцию стен и перекрытий между квартирами. Измерения провели в соответствии с требованиями EVS-EN ISO 140-4 и EVS-EN ISO 140-7 для квартирных домов, которые построены в соответствии с типовыми проектами 1-317-14Е и 1-318-33.

Измеренное конструктивное решение квартирных домов:

- наружные стены: утепленные несущие стены с толщиной соответственно 420 мм и 550 мм;
- несущие внутренние стены: с преобладающей толщиной 380 мм, местами с толщиной 250 мм оштукатуренные кирпичные стены;
- ненесущие внутренние стены: гипсобетонные панели толщиной 80 мм, между квартирами двухслойные, общей толщиной 200 мм;
- перекрытия: из пустотных железобетонных панелей толщиной 220 мм, на перекрытиях полы с различными конструкциями.

Привели также сравнительные испытания в квартирных домах, построенных по отдельным проектам, где испытали реновированные перекрытия (дощатый паркетный пол на эластичной основе был на разравнивающем слое из бетона толщиной 60-80 мм) и оштукатуренную кирпичную стену толщиной 530 мм. Перекрытия были в последнем случае первоначальными, с дощатыми полами.

Результаты измерений показали, что индекс воздушной звукоизоляции межквартирных стен в кирпичных домах  $R_w=57...58$ дБ, перекрытий  $R_w=53...57$ дБ, приведенный уровень ударного шума  $L'_{n,w}=56...58$ дБ. Результаты испытаний см. Таблица 6.2.

Таблица 6.2 Звукоизоляция межквартирных конструкций.

Здание / Ограждение	Воздушная звукоизоляция $R_w$ , дБ	Уровень ударного шума $L'_{n,w}$ , дБ
1-317-14Е (кв.11/12) Кирпичная стена 270 мм	57	
1-317-14Е (кв.18/8) Перекрытие, реновированное	56	56
1-318-33 (кв.39/19) Двухслойная стена из гипсобетона	57	
1-318-33 (кв.34/32) Перекрытие, первоначальное	57	56
Здание 1220 (кв.8/6) Перекрытие, реновированное	53	58
Здание 1180 (кв.46/47) Кирпичная стена 530 мм	58	

Следовательно, звукоизоляция межквартирных стен отвечает требованиям стандарта EVS 842:2003, приведенный индекс уровня ударного шума перекрытий  $L'_{n,w}$  превышает требование стандарта до 5 дБ. Реновация перекрытий не улучшила показатели звукоизоляции.

### 6.2.2 Результаты вычисления звукоизоляции

Сравнение результатов измерения звукоизоляции обращает внимание на различия условий опыта и на различные влияния, которые обусловлены находящейся в помещениях мебелью и повлекшимся из-за этого существенным подавлением звука в квартире и недиффузным звуковым полем. Для выяснения влияний возможных эксплуатационных условий и взятой за основу в методах оценивания оценки звукоизоляции в условиях диффузионного звукового поля звукоизоляции некоторых конструкций нашли также путем вычисления, в соответствии с упрощенной методикой EVS-EN 12354-1:2005 и 12354-2:2005. Расчетные результаты оценивания важнейших ограждений с позиции практики см. Таблица 6.3. В ней же представлены расчетные звукоизоляции межквартирных ограждений в случае, если их увеличивают дополнительно легкой стеной и использованием тяжелого плавающего пола. К межквартирной стене добавляется в этом случае металлический каркас с воздушным пространством 20 мм, наполненный минеральной ватой Isover KL-37, который покрывается 2-мя листами гипсокартона 13+13 мм. Плавающий пол массой  $125 \text{ кг/м}^2$  опирается на эластичный слой Isover OL-A толщиной 20 мм.

Таблица 6.3 Результаты расчетной оценки звукоизоляции.

Ограждение	Показатель	Начальный	Дополнительная легкая стена	Дополнительный легкая стена + плавающий пол
Межквартирная кирпичная стена 270 мм, в условиях типовой серии 1-317-14	$R'_{w}$ , дБ	57	59	59
Межквартирная 2-слойная стена из гипсобетона, в условиях типовой серии 1-318-33	$R'_{w}$ , дБ	53	58	58
Перекрытие с дощатым полом, типовые серии 1-317 и 1-318	$R'_{w}$ , дБ	52	52	57
	$L'_{n,w}$ , дБ	55	55	44

## 7 Состояние тепла и влажности в квартирах

Внутренний климат жилища понятие комплексное. Внутренний климат охватывает воздух и наибольшие показатели воздушной среды. Хороший внутренний климат сокращает риск заболеваний, обеспечивает чувство комфорта и способствует работоспособности. Внутренний климат определяют следующие факторы: температура воздуха, температура площадей излучения, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, чистота воздуха, уровень шума, освещенность. Влияние оказывают также активность движения, одежда, пол, возраст и т.д. Внутренний климат и сопровождающие его проблемы существенно влияют на самочувствие, здоровье и работоспособность находящихся в этих помещениях людей.

Температура - главный показатель теплового комфорта. При легкой физической активности ( $>1,2$  MET) нейтральная (PMV (predicted mean vote) = 0) температура зимой (одежда  $\sim 1,0$  clo)  $+22,0$  °C и летом (одежда  $\sim 0,5$  clo)  $+25,5$  °C (ISO EN 7730). Минимальная оперативная температура в теплый период  $+20$  °C и максимальная температура в холодный период  $+26$  °C (EVS-EN 15251:2007). Внутренняя температура свыше  $+22$  °C связана с синдромом больного здания (SBS: sick building syndrome) (Jaakkola и др. 1989). От влажности зависит температура ощущаемого воздуха (PAQ: perceived air quality) (Fang и др. 1998). В сравнении с влажным и теплым воздухом, оценивается влияние сухого и прохладного воздуха. Внутренняя температура влияет на расход отопления зданий. Проведенное в финском доме, где проживает одна семья, исследование (Vinha и др. 2005) подтвердило действительность известного железного правила: изменение средней температуры внутри помещения на  $1$  °C влияет на расход энергии в размере  $\sim 5\%$ .

Относительная влажность воздуха и содержание водяных паров в воздухе влияют на внутренний климат и влажностный режим ограждений. Содержание водяных паров в воздухе может быть высоким и тогда, когда вентиляция не действует исправно или в помещениях большая выработка влажности. Большая влажностная нагрузка может обусловить проблемы влажности для ограждений или ухудшить внутренний климат (IOM 2004, Fang и др. 1998, Vornehag и др. 2001 и 2004). У жителей домов с повреждениями от влажности и плесени могут возникнуть нарушения здоровья, чему причиной является сверхчувствительность к микроорганизмам и остаткам их обмена веществ или спорам плесени. Поэтому влажность зданий и их повреждения от плесени являются прямой проблемой нарушения здоровья народа. В холодном климате малое содержание водяных паров во внешнем воздухе, в комбинации с чрезмерным отоплением помещений вызывают слишком низкую относительную влажность, что может вызвать многочисленные проблемы со здоровьем связанные с сухостью глаз, дыхательных путей, слизистых оболочек и кожи. Относительную влажность внутреннего воздуха зимой можно повысить понижением температуры и увлажнением воздуха. Увлажнение воздуха увеличивает влажностную нагрузку на ограждения здания.

С позиции требований, предъявляемых жилым помещениям (постановление ПР номер 38) влажность воздуха в жилом помещении должна быть в пределах, которые не вредят здоровью человека, не приводят к конденсации и повреждениям от влажности. Sterling и др. (1985) как оптимальную зону для относительной влажности рекомендовал промежуток RH 40%...60%. Тот же промежуток относительной влажности назван оптимальным для воздуха жилого помещения с позиции постановления ПР номер 38. Эта рекомендация в постановлении особенно неудачна и позволяет неверно её истолковать. Учитывая работу зданий в зимний период, такой уровень относительной влажности явно слишком высок (особенно в случае старых зданий). Зимой при относительной влажности внутреннего воздуха 40–60% можно, например, в старых квартирных домах, ждать уже серьезных повреждений от влажности. Зимой температура поверхности ограждающих конструкций ниже температуры воздуха, поэтому относительная влажность выше. Для предотвращения роста микроорганизмов относительная влажность на поверхности материала должна быть ниже 75...80% (Adan 1994, Viitanen and Ritschkoff 1991, Rowan и др. 1999). Рост микроорганизмов зависит вдобавок к относительной влажности и

температуры и от материала, на котором рост находит место (Johansson и др. 2005) (см. Таблица 7.1).

Таблица 7.1 Критическая относительная влажность для различных материалов с позиции роста микроорганизмов (Johansson и др. 2005).

Материал (чистый)	Критическая относительная влажность $RH_{\text{крит.}}$
Дерево и материалы из дерева	75...80 %
Бумага на листе гипса	80...85 %
Минеральная вата	90...95 %
Пенополистирол	90...95 %
Бетон	90...95 %

Пылевые клещи могут вызвать повышение чувствительности и аллергические заболевания у склонной к аллергии личности, прежде всего аллергический ринит и астму. Аллергенами являются пищеварительные энзимы пылевых клещей, которые они выделяют с фекальными и кожными частицами (Annus 2008). Подходящая для пылевых клещей относительная влажность при комнатной температуре  $RH > 45\%$  (Hart 1998, Korsgaard 1983) ... 50% (Arlian и др. 1999). Для размножения клещам необходима более высокая относительная влажность воздуха.

Высокий уровень влажности может быть опасен, т.к., например, в деталях старой мебели из ДСП при высокой влажности начинает разлагаться формальдегидный клей, и формальдегид выделяется в виде газа в воздух, вызывая у людей раздражения слизистых оболочек.

Нижняя граница относительной влажности с позиции разных исследований (Fanger 1971, Wyon и др. 2002)  $RH$  20...25%. Эстонский стандарт внутреннего климата EVS-EN 15251:2007 дает в самом низком классе внутреннего климата уровень относительной влажности 20% для увлажнения и 70 % для высушивания.

Относительная влажность внутреннего воздуха зависит от выработки влажности в помещениях (бытовая деятельность человека, приготовление пищи, стирка, полив комнатных растений и т.д.), от работы вентиляции, воздухообмена и внешнего воздуха. Хотя зимой относительная влажность внешнего воздуха высокая, содержание водяных паров в нем и абсолютная влажность низкие. Главным образом поэтому относительная влажность внутренних помещений зимой ниже, чем летом. Относительная влажность зависит от температуры: относительная влажность воздуха с тем же содержанием водяных паров в более теплой среде ниже и в более прохладной среде выше. Так как относительная влажность зависит от температуры, по ней еще нельзя сказать, большая или маленькая влажностная нагрузка в помещениях. Влажностная нагрузка внутренних помещений показывает содержание водяных паров внутреннего и наружного воздуха или разницу парциального давления водяного пара. Эту величину называют добавочной влажностью  $\Delta v$ , г/м<sup>3</sup> (EVS-EN 13788:2001):

$$\Delta v = v_i - v_e, \text{ г/м}^3 \quad 7.1$$

где

$v_i$  содержание водяного пара во внутреннем воздухе, г/м<sup>3</sup>;

$v_e$  содержание водяного пара во внешнем воздухе, г/м<sup>3</sup>.

Если в помещении большая влажностная нагрузка (используется много воды, увлажняется воздух, плотная заселенность и т.д.) и маленький воздухообмен (плохая вентиляция), влажностная нагрузка, или добавочная влажность, высокая. Добавочная влажность является потенциалом для происходящей через наружные ограждения диффузии водяного пара. Влажностную нагрузку нельзя оценить по относительной влажности, потому что она зависит от внутренней температуры и содержания водяных паров в наружном воздухе. Рассмотрим, например, внутренний климат двух жилищ, температура и относительная влажность которых остаются зимой в пределах рекомендаций стандарта внутреннего климата: температура +19 °C и относительная

влажность 25 % и температура +25 °С и относительная влажность 45%. В этих случаях различие во влажностной нагрузке трехкратное, соответственно 3,0 г/м<sup>3</sup> и 9,3 г/м<sup>3</sup>. Или рассмотрим помещение с температурой +22 °С и относительной влажностью 30 %, если температура снаружи -15 °С или 0 °С. В этих случаях влажностная нагрузка двукратная, соответственно 4,8 г/м<sup>3</sup> и 2,3 г/м<sup>3</sup>. Ясно видно, что относительная влажность не показывает влажностную нагрузку помещений, так как она зависит от внутренней температуры и влажности наружного воздуха.

Добавочная влажность используется для оценки влажностной нагрузки жилых помещений также в стандарте EVS-EN ISO 13788 (см. Рисунок 7.1 слева) и в более ранних исследованиях: Kalamees 2006, Vinha и др. 2005 (см. Рисунок 7.1 справа). Ранее проведенные в домах Эстонии и Финляндии исследования показали, что распределение влажностной нагрузки и графики в стандарте EVS-EN ISO 13788 не подходят для характеристики наших жилищ. Как наибольшее различие можно привести (см. Рисунок 7.1 сравнение левого и правого рисунка):

- добавочная влажность не равна 0 г/м<sup>3</sup> в летний период;
- зависимость добавочной влажности от внешней температуры разная.

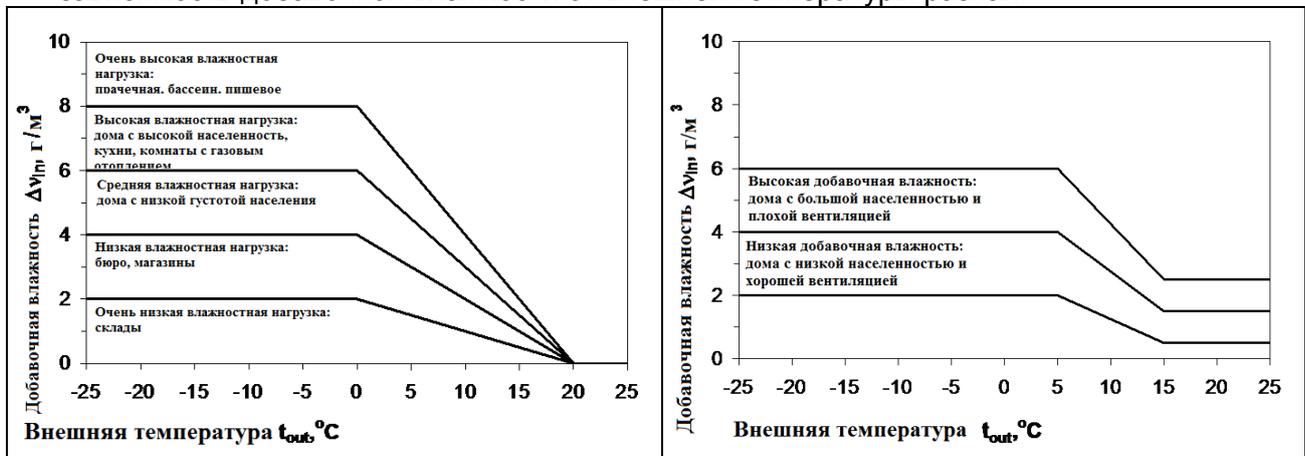


Рисунок 7.1 Уровни добавочной влажности EVS-EN ISO 13788 (слева) и с позиции ранее проведенных в Эстонии исследований (справа).

Влажностная нагрузка в жилищах не равномерна в течение года. Большая вентиляция (окна, большая скорость работы вентиляции) и меньшая выработка влажности (больше действий снаружи, сушка белья на улице т.д.) уменьшают добавочную влажность летом. По ранним исследованиям для оценки влажностной нагрузки можно использовать следующие величины:

- Маленькая влажностная нагрузка (дома с низкой заселенностью, хорошая вентиляция):
  - t<sub>e</sub><+5 °С, Δv: 4 г/м<sup>3</sup>,
  - t<sub>e</sub>>+15 °С, Δv: 1,5 г/м<sup>3</sup>.
- Средняя влажностная нагрузка (дома с высокой заселенностью, дома с низкой заселенностью и плохой вентиляцией):
  - t<sub>e</sub><+5 °С, Δv: 5 г/м<sup>3</sup>,
  - t<sub>e</sub>>+15 °С, Δv: 2 г/м<sup>3</sup>.
- Большая влажностная нагрузка (дома с высокой заселенностью и дома с плохой вентиляцией):
  - t<sub>e</sub><+5 °С, Δv: 6 г/м<sup>3</sup>,
  - t<sub>e</sub>>+15 °С, Δv: 2,5 г/м<sup>3</sup>.

Эти величины добавочной влажности представлены в домах, где воздух не увлажняется и по их влажностной нагрузке можно сделать строительно-физический контрольный расчет внешних ограждений отдельных жилищ и квартирных домов. Данное исследование дает возможность тщательнее проанализировать влажностную нагрузку кирпичных домов.

## 7.1 Методы

### 7.1.1 Измерения

Для измерения температуры воздуха во внутренних помещениях и измерения относительной влажности использовали датчики, записывающие данные, Hobo U-12 011 (см. Табл. 7.2, диапазон измерений приборов и точность измерений).

Таблица 7.2 Данные приборов по измерению температуры и относительной влажности.

	Участок измерений		Точность измерений	
	Температура: -20 °C...+70 °C	Относительная влажность: 5 %...95 %	Температура: ±0,35 °C 0 °C...50 °C	Относительная влажность: ±2,5 % 10 %...90 %

Температуру и относительную влажность измеряли главным образом в спальне (в основном спальне, где проживают двое) на высоте 0,6...1,5 м. Датчики установили на перегородки или предметы мебели, дальше от внешней стены и прямо перед источником тепла (радиатор, телевизор, светильник и т.д.). Результаты измерений внутреннего климата записали с интервалом в один час в период 7.10.2008...28.02.2010.

### 7.1.2 Внешний климат

В качестве данных по внешнему климату использовали измеренные данные Эстонского Института Метеорологии и Гидрологии из Таллина, Тарту, Пярну, Нарва-Йыэсуу и Вяйке-Маарья. Среднюю температуру снаружи и относительную влажность в течение периода измерений см. на Рисунок 7.2. Самая низкая температура за период измерений была -30 °C и самая высокая +29 °C. Средние температуры за месяцы в период измерения см. в Таблица 7.3.

Таблица 7.3. Средние температуры за месяцы (t, °C) и относительные влажности (RH, %) в период с января (I) 2008 по февраль (II) 2009.

	2009																								2010			
	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		I		II	
	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH
Таллин	-2,0	86	-4,2	87	-0,6	81	5,4	66	10,8	67	13,5	74	16,8	77	16,1	78	13,6	81	5,1	85	2,7	91	-3,9	87	-11,0	89	-7,6	90
Тарту	-3,1	92	-4,7	90	-1,0	83	6,2	63	11,8	64	14,2	76	17,3	78	15,8	80	13,1	84	4,4	90	2,5	94	-4,8	91	-13,7	89	-7,5	89
Пярну	-2,1	92	-4,0	89	-0,7	85	5,6	70	11,1	69	13,9	75	17,1	78	16,3	78	13,5	83	5,0	88	3,0	93	-3,8	90	-12,3	89	-7,3	89
Нарва-Йыэсуу	-2,4	87	-4,6	91	-0,8	81	4,5	69	10,9	72	14,4	75	17,8	74	16,8	77	13,7	79	5,1	85	2,1	89	-5,0	86	-12,1	85	-8,0	84
Вяйке-Маарья	-3,1	92	-5,1	89	-2,3	86	4,6	69	11,0	66	13,2	77	16,3	80	15,1	82	12,2	87	3,8	92	1,7	95	-5,4	91	-13,3	88	-9,0	89

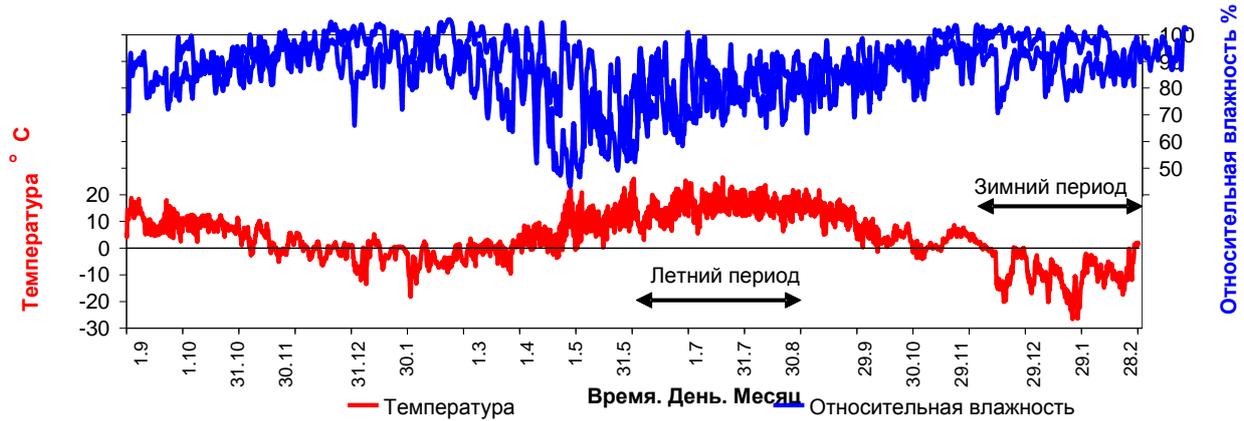


Рисунок 7.2 Среднесуточная внешняя температура и относительная влажность в период 1.09.2008...1.03.2010.

Более подробный анализ внутреннего климата в зимний и летний период сделали по результатам измерений соответственно трех зимних и трех летних месяцев.

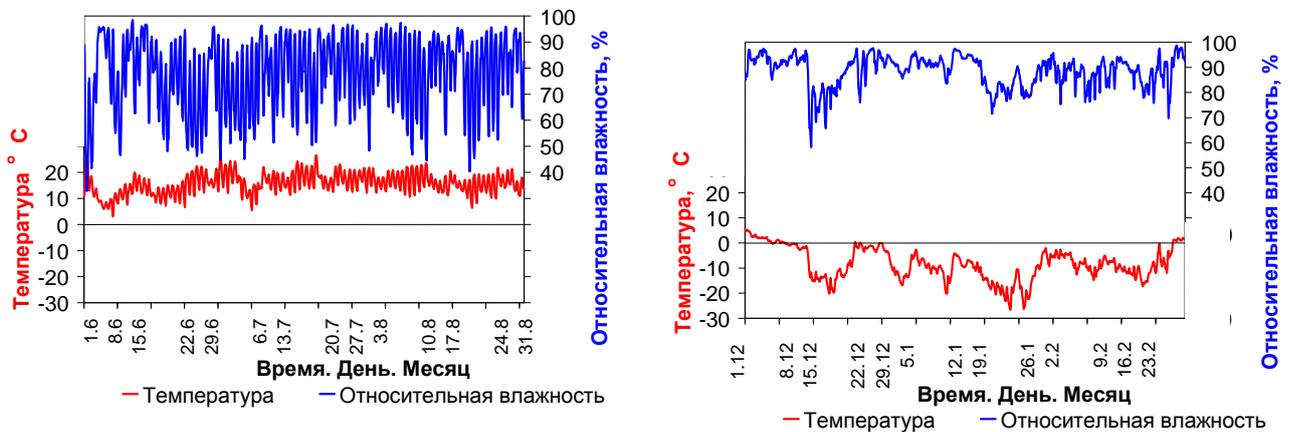


Рисунок 7.3 Внешняя температура и относительная влажность в летние месяцы (слева) и в зимние месяцы (справа).

Зимний период 2009-2010 был холоднее, чем многолетнее среднее, в том же 2009 году средняя температура летних месяцев была более-менее равна многолетней средней температуре, см. Таблица 7..

Таблица 7.4 Сравнение средней многолетней температуры наружного воздуха с температурой летних и зимних месяцев

	Июнь 2009	Июль 2009	Август 2009	Декабрь 2009	Январь 2010	Февраль 2010
Период измерения	12,5...14,7°C	16,3...17,8°C	14,9...17,7°C	-5,6...-0,2°C	-14,4...-6,9°C	-9,2...-5,5°C
Многолетнее среднее	13,3...15,6°C	15,9...17,2°C	14,6...16,6°C	-4,6...+0,3°C	-7,6...-2,4°C	-7,4...-3,3°C

### 7.1.3 Критерии оценивания внутренней температуры

Рекомендации и требования по температуре и относительной влажности жилых помещений можно найти как в различных научных исследованиях, так и в постановлениях и стандартах. С позиции требований, предъявляемых жилым помещениям (постановление ПР номер 38), температура воздуха в жилом помещении должна быть оптимальной, создавать у людей чувство теплового комфорта и способствовать созданию

и установлению здорового и соответствующего требованиям внутреннего климата. В жилом помещении в здании с центральным отоплением или отоплением из котельной здания температура внутреннего воздуха при длительном пребывании людей в помещении не должна быть ниже 18 °С.

В зависимости от условий, обеспечивающих оптимальную тепловую среду, и ожидаемого качества теплового комфорта можно, исходя из теплового комфорта, разделить внутренний климат на четыре класса, см. Таблица 7.4. При более низких классах внутреннего климата число жителей, недовольных внутренним климатом (PPD, %), больше, так как жители оценивают (PMV) помещения как слишком прохладные или слишком теплые. PMV-PPD индекс берет в расчет влияние всех шести тепловых параметров (температура воздуха, средняя температура излучения, скорость движения воздуха, влажность воздуха, теплоизоляция одежды и физическая активность) и это можно прямо использовать как критерий теплового комфорта.

Таблица 7.4 Описание классов внутреннего климата (EVS-EN-15251) и примеры рекомендуемых уровней CO<sub>2</sub> на концентрацию внешнего воздуха и при концентрации 350 ppm. (EVS-EN-15251)

Класс теплового комфорта внутреннего климата	Пояснение	Прогнозируемый процент неудовлетворенных тепловым комфортом, %	Индекс теплового чувства комфорта PMV, -
I	Высокие требования к качеству внутреннего климата. Рекомендуется в помещениях, где пребывают очень чувствительные, со слабым здоровьем и особыми потребностями люди, как личности с физическими недостатками, больные, очень маленькие дети и престарелые люди. Ожидается лучший внутренний климат.	<6	-0,2 < PMV < + 0,2
II	Обыкновенные требования к качеству внутреннего климата. Ожидается как нормальное качество внутреннего климата. Следует применять в новых и <b>реновированных зданиях.</b>	<10	-0,5 < PMV < + 0,5
III	Умеренные требования к качеству внутреннего климата. Ожидается как умеренное качество внутреннего климата. Можно применять в <b>ныне существующих зданиях.</b>	<15	-0,7 < PMV < + 0,7
IV	Значения качества внутреннего климата, которые остаются за пределами упомянутых классов. Данный класс может быть принят только ограниченное время в году.	>15	-0,7 > PMV > + 0,7

Комбинируя критерии проектирования внутреннего климата (CR 1752, 1998) и граничные величины исходных параметров стандарта проектирования энергетической эффективности зданий (EVS-EN 15251:2007, замещает прежний стандарт по внутреннему климату EVS 839:2003), можно представить граничные величины температур различных классов внутреннего климата для зданий, где нет механического охлаждения, возможно открыть окна и выбрать одежду, на Рисунок 7.4.

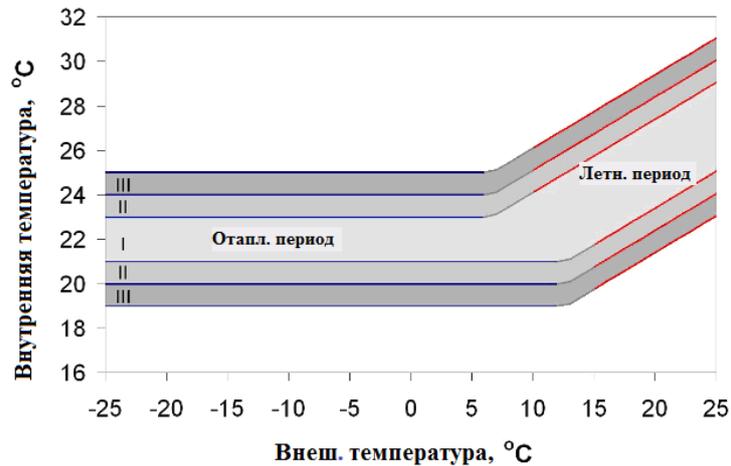


Рисунок 7.4 Критерии внутренней температуры в трех различных классах внутреннего климата.

### 7.1.4 Расчет влажностной нагрузки внутреннего воздуха

Одним из предварительных условий долгого срока службы ограждений зданий является влажно-техническое состояние без проблем. Условия внутреннего и внешнего климата – одни из важнейших условий, которые влияют на влажно-техническое поведение ограждений зданий и конструкций. При оценивании внутреннего климата и влажностной нагрузки разница состоит в том, что, если в случае внутреннего климата используются в основном средние величины, то влажностные нагрузки оцениваются с известной вероятностью. Для выполнения строительно-физических вычислений есть международная договоренность об уровне вероятности 90% (Sanders 1996). Это означает, что от выбранной нормативной величины нагрузки 90% берется с меньшей нагрузкой и 10% с большей нагрузкой.

В анализе добавочной влажности в каждой квартире для каждой наружной температуры посчитана максимальная величина добавочной влажности соответствующей недели. Затем из максимальной величины всех квартир посчитана 90 %-ная фрактиль.

## 7.2 Результаты

### 7.2.1 Зависимость внутреннего климата от внешней температуры

Результаты измерений внутренней температуры для каждой квартиры разделили в соответствии с внешней температурой. На один градус каждой внешней температуры рассчитали среднюю внутреннюю температуру, которую считали представляющей среднюю температуру этой квартиры, см. Рисунок 7.5 слева. Все зависимости между измеренными средними суточными внутренними температурами в квартирах и наружными температурами см. Рисунок 7.5 справа. Средняя температура в период отопления была +21 °C и границей средней суточной внутренней температуры можно считать +15 °C.

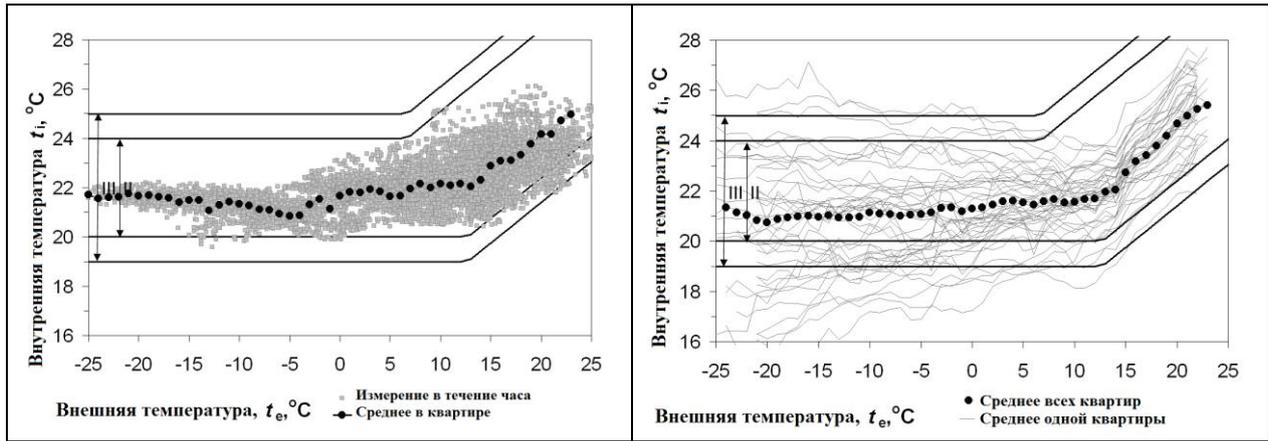


Рисунок 7.5 Зависимость внутренней температуры от внешней температуры в одной квартире (слева) и средняя зависимость внутренней температуры от внешней температуры в кирпичных домах (справа).

Если в квартирах на радиаторах отсутствуют термостаты, внутренняя температура при различных внешних температурах зависит прямо от графика регулирования теплового узла (зависящий от температуры подогреваемой воды, которая зависит от внешней температуры, угол подъема и уровень графика). Если угол наклона и уровень графика теплового регулятора правильные, тогда средняя температура в помещении в период отопления мало зависит или не зависит вообще от внешней температуры. Если график теплового регулятора смещен, результатом может быть переохлаждение помещений или чрезмерная отапливаемость при изменении внешней температуры (см. Рисунок 7.6).

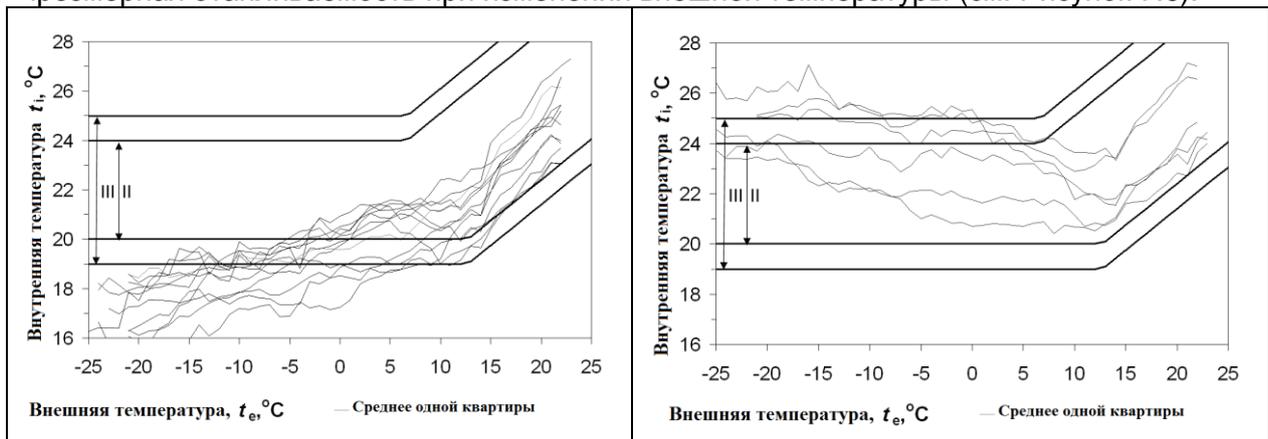


Рисунок 7.6 Зависимость внутренней температуры от внешней температуры, если график теплового регулятора смещен, и в результате происходит переохлаждение помещений (слева) или чрезмерная отапливаемость (справа).

### Зависимость относительной влажности внутреннего воздуха от внешней температуры

Результаты измерения относительной влажности внутреннего воздуха для каждой квартиры разделили в соответствии с внешней температурой. На каждый градус внешней температуры рассчитали среднюю относительную влажность внутреннего воздуха, которую считали представляющей относительную влажность этой квартиры, см. Рисунок 7.7 слева. Все зависимости между измеренными средними относительными влажностями внутреннего воздуха в квартирах и внешней температурой см. Рисунок 7.7 справа.

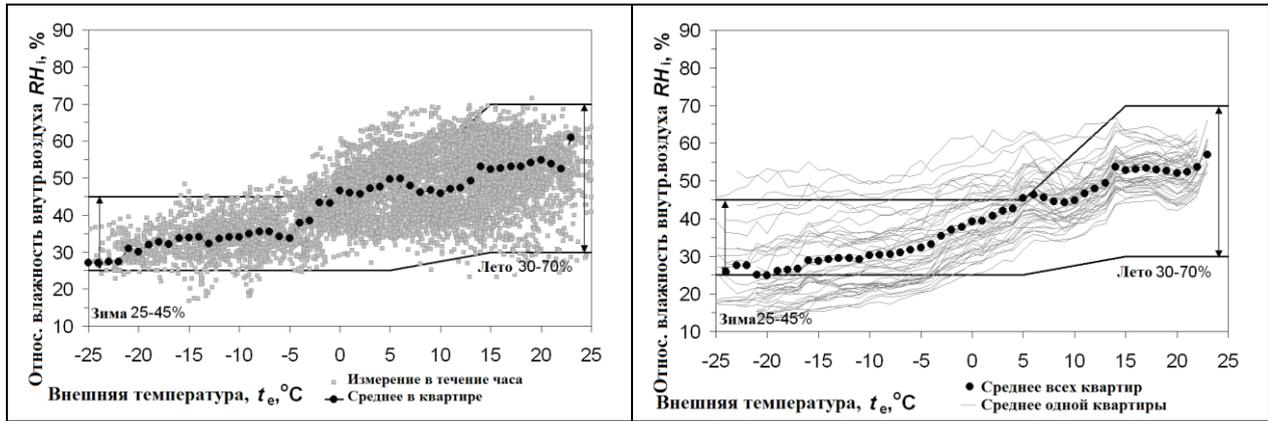


Рисунок 7.7 Зависимость относительной влажности внутреннего воздуха от внешней температуры в одной квартире (слева) и средняя зависимость относительной влажности внутреннего воздуха от внешней температуры в кирпичном квартирном доме (справа).

### 7.2.2 Внутренняя температура и относительная влажность зимой

Зимой 2009.–2010. гг. измеренная внутренняя температура в квартирах была в промежутке +12 °С и +29 °С и относительная влажность внутреннего воздуха была в промежутке между 10 % и 74 %. Средняя внутренняя температура была +21,1 °С (средняя температура в квартирах в зимний период была в промежутке между +17,2 °С и +25,3 °С). Средняя относительная влажность внутреннего воздуха была 33% (средняя относительная влажность в квартирах в зимний период была в промежутке между 19 % и 54 %). Внутренняя температура (самая высокая, самая низкая и средняя) и относительная влажность трех квартир см. Рисунок 7.12. Распределение внутренних температур и относительных влажностей всех квартир см. Рисунок 7.13. Разница между внутренним климатом различных квартир очень велика.

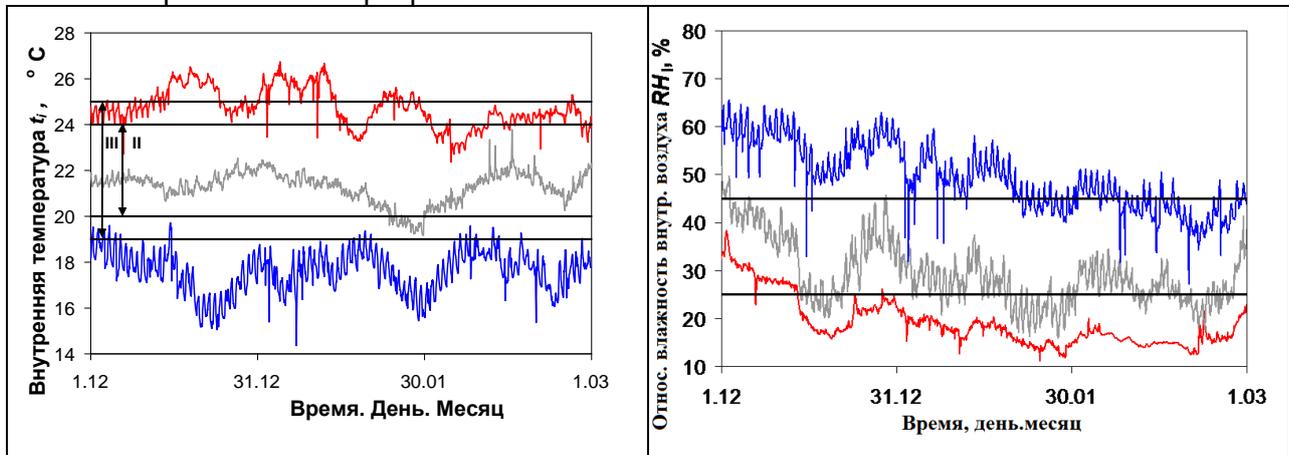


Рисунок 7.8 Внутренняя температура (слева) и относительная влажность (справа) в квартирах трех кирпичных квартирных домов зимой.

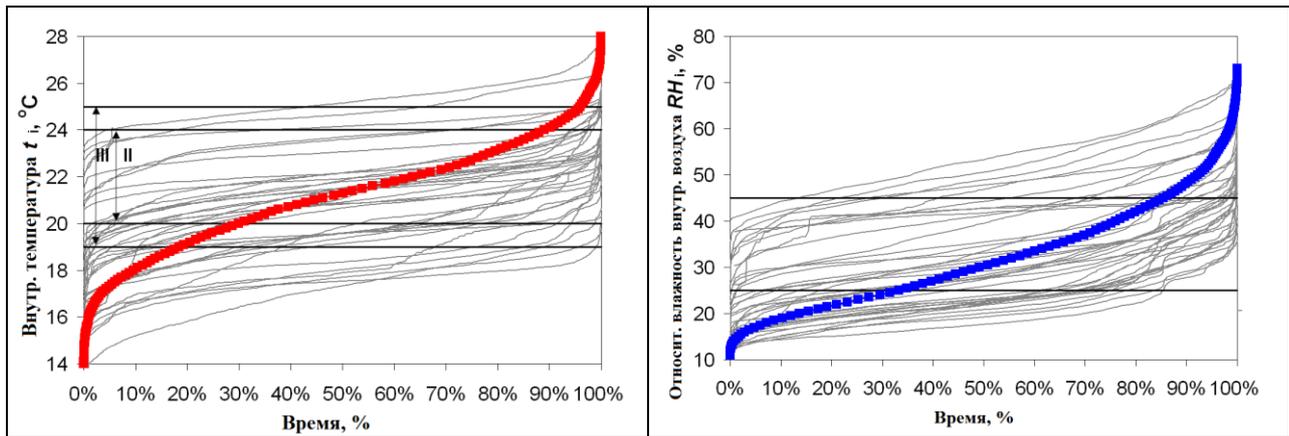


Рисунок 7.9 Распределение внутренних температур (слева) и относительной влажности (справа) всех квартир зимой.

По причине большого разброса параметров внутреннего климата, нет существенного статистического различия между отдельными свойствами здания (этаж квартиры, отопительная система, тип окна и т.д.).

В ходе анкетирования у жителей также спросили оценку теплового комфорта. В квартирах, где жители оценили тепловой комфорт как нейтральный, или подходящий, средняя внутренняя температура была +21,3 °С. В то же время видно, что понятие жителей о подходящей температуре может колебаться довольно сильно: +17...+25 °С. Результаты опроса по ситуации с влажностью внутреннего воздуха подтверждают факт, что у людей нет чувства восприятия влажности при обычной влажности (RH 20...60%): влажным был назван воздух в квартирах, в которых воздух был в среднем более сухими.

В квартирах, где анкетировали возникновение конденсата водяного пара на окнах, средняя относительная влажность внутреннего воздуха была 35 %.

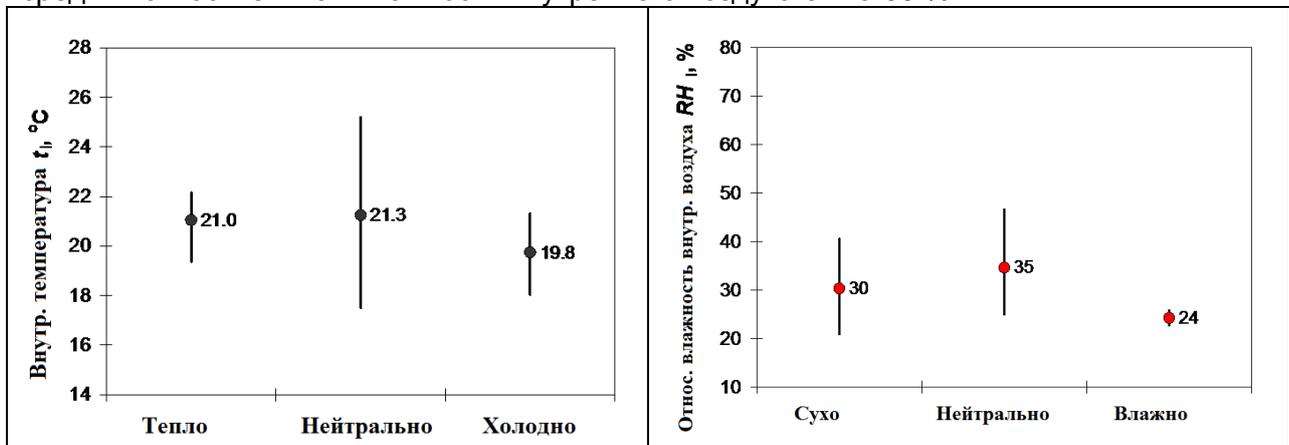


Рисунок 7.10 Распределение внутренних температур (слева) и относительной влажности (справа) всех квартир зимой.

Относительная влажность внутреннего воздуха прямо зависит от внутренней температуры (см. Рисунок 7.11), от внешнего климата (содержание водяных паров в воздухе, температуры), от выработки влаги во внутренних помещениях и вентиляции, поэтому нельзя только на основании относительной влажности сказать, что во внутренних помещениях большая или маленькая влажностная нагрузка. По-этому влажностная нагрузка внутреннего воздуха затронута в отдельной главе, см. 7.4 Влажностные нагрузки в квартирах.

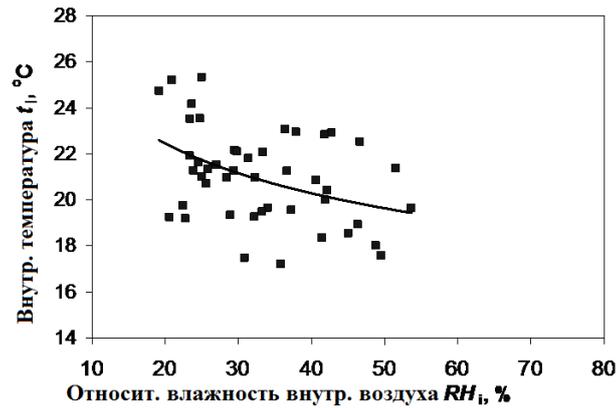


Рисунок 7.11 Зависимость средней относительной влажности внутреннего воздуха от внутренней температуры зимой.

### 7.2.3 Внутренняя температура и относительная влажность летом

Летом 2009 г. измеренная внутренняя температура в квартирах была в промежутке между +15 °С и +28 °С и относительная влажность внутреннего воздуха была в промежутке между 24 % и 83 %. Средняя внутренняя температура летом была +23,2 °С (средняя температура в квартирах в зимний период была в промежутке между +20,2 °С и +25,8 °С). Средняя относительная влажность внутреннего воздуха была 52% (средняя относительная влажность в квартирах в зимний период была в промежутке между 42 % и 62 %). Внутренняя температура (самая высокая, самая низкая и средняя) и относительная влажность трех квартир см. Рисунок 7.12.

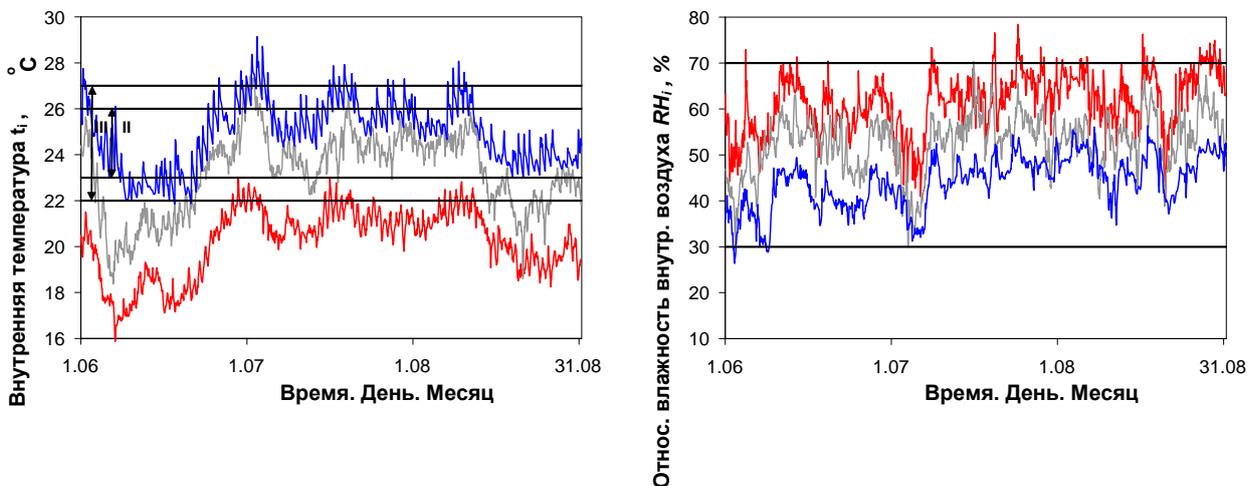


Рисунок 7.12 Внутренняя температура (слева) и относительная влажность (справа) трех кирпичных квартирных домов летом.

Распределение внутренних температур и относительной влажности всех квартир см. Рисунок 7.13. Разница во внутреннем климате между различными квартирами очень велика.

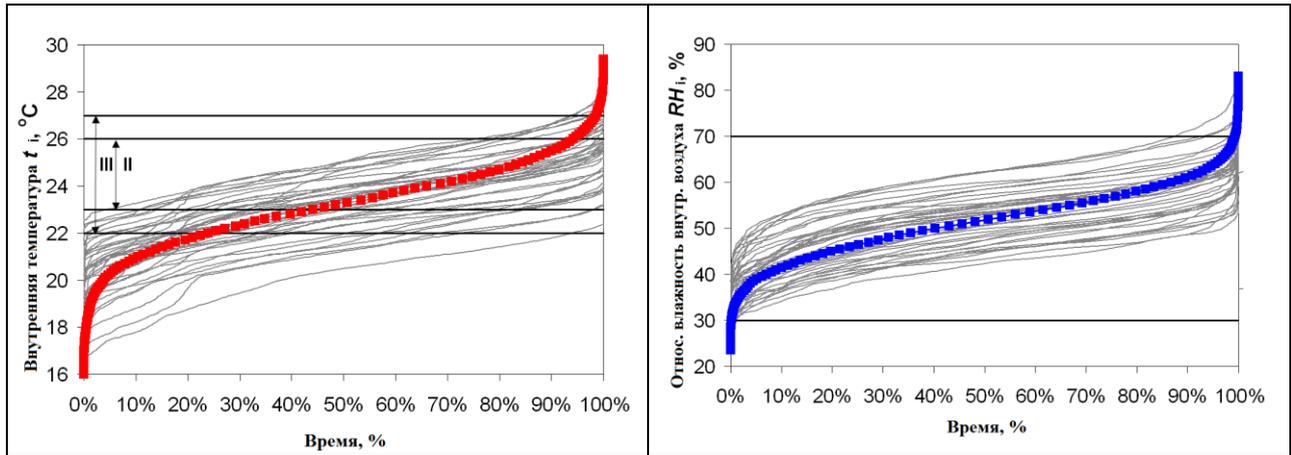


Рисунок 7.13 Распределение внутренних температур (слева) и относительной влажности (справа) всех квартир летом.

В соответствии с постановлением о минимальных требованиях энергетической эффективности требование по температуре в помещении летом считается выполненным, если температура в помещении не превышает 27 °С (прибор для температурного охлаждения) в жилищах более чем на 150 градусов-часов в промежутке времени с 1 июня по 31 августа. Границу в 150 градусов-часов превысили лишь в одной квартире. Так как средняя температура летних месяцев 2009 года отвечала многолетней средней температуре, можно утверждать, что высокие летние внутренние температуры не являются наибольшей проблемой кирпичных домов.

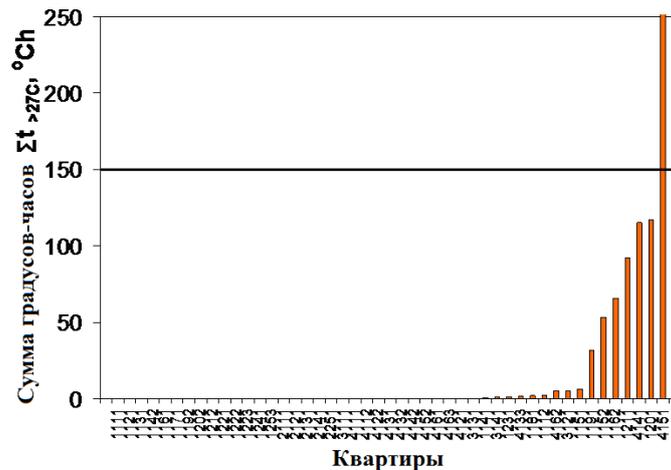


Рисунок 7.14 Число превышаемых градусов-часов при 27 °С летом.

### 7.3 Соответствие внутренней температуры целевым стандартам

Данная исследовательская работа подкрепляет ранее проведенные измерения внутреннего климата в домах Эстонии (Kalamees 2006, Kalamees и др. 2009), по которым отопительный период меняется на летний период при средней суточной внешней температуре +15 °С...+10 °С. Если средняя внешняя температура выше 15 °С...+10 °С градусов, тогда средняя внутренняя температура выше +22 °С и отсутствует потребность в отоплении. Также внутренняя температура начинает существенно больше зависеть от солнца и зависимость внутренней температуры от внешней температуры становится больше. Эта граница между отопительным периодом и летним периодом помогает разделить предъявляемые в различных стандартах и постановлениях рекомендации и требования по внутреннему климату летом и зимой.

Тепловая ситуация в квартирах оценена в соответствии с граничными величинами среднего (II) и самого низкого (III) класса внутреннего климата EVS-EN-15251, см. Рисунок 7.4 справа. В разных квартирах соответствие рекомендациям стандарта различно, см. Рисунок 7.15..

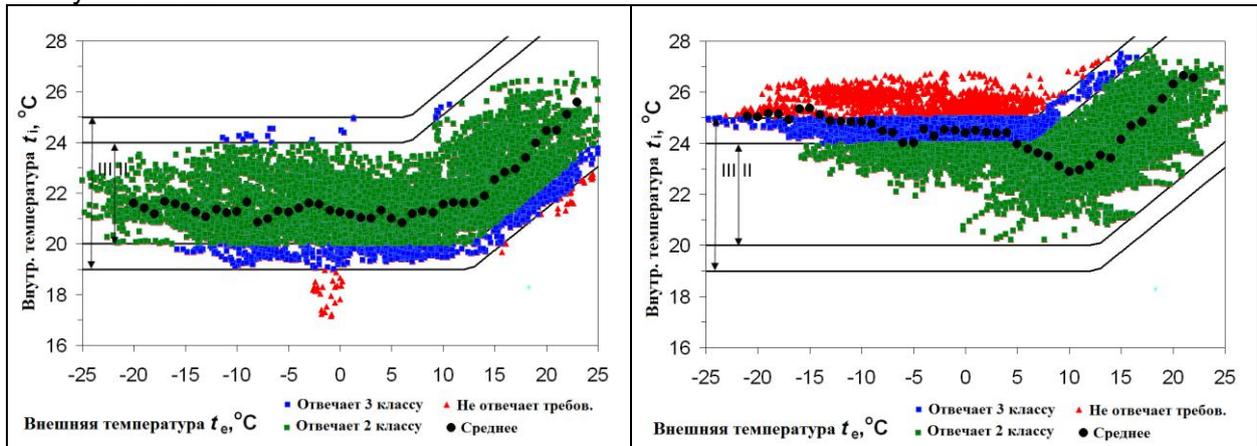


Рисунок 7.15 Сравнение внутренних температур квартиры с хорошим соответствием стандарту (слева) и квартиры с худшим (переотапливаемая) соответствием стандарту (справа).

По стандарту EVS-EN 15251:2007 соответствие внутреннего климата целевому значению температуры стандарта можно оценить несколькими способами:

- А: процент времени, когда внутренняя температура превышает целевое значение температуры стандарта. EVS-EN 15251:2007 рекомендует придерживаться процентной границы 3% или 5% для часов с превышением температуры;
- В: взвешенное количество часов, когда внутренняя температура превышает целевое значение температуры стандарта;
- С: взвешенное количество часов, когда действительный ожидаемый индекс чувства комфорта превышает целевое значение PMV.

В данной работе тепловая ситуация в квартирах оценена по первым двум методам. В качестве граничной величины времени превышения целевого значения температуры использовалось 5%. В 52% квартир (при 5% разрешенного превышения граничной величины) внутренняя температура не отвечала граничной величине самого низкого III класса микроклимата, см. Рисунок 7.16 (в 56% квартир внутренняя температура не соответствовала в отопительный период и в 15% квартир внутренняя температура не соответствовала в летний период, см. Рис. 3.17). Температурные требования II класса микроклимата превысили в 88% квартир (в 88% квартир внутренняя температура не соответствовала в отопительный период и в 40% квартир внутренняя температура не соответствовала в летний период).

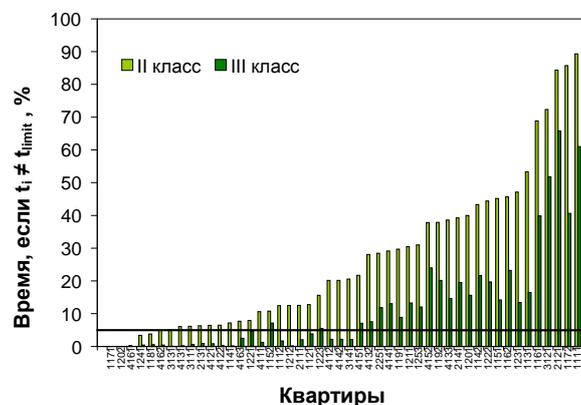


Рисунок 7.16 Время, не соответствующее граничным температурам стандарта EVS-EN-15251, на протяжении всего года.

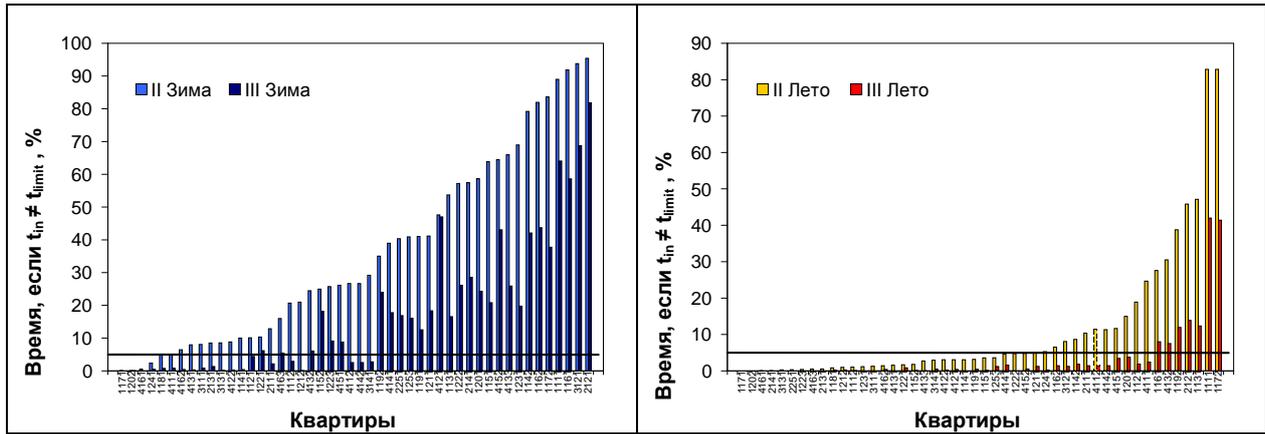


Рисунок 7.17 Относительное время, несоответствующее граничным температурам стандарта EVS-EN-15251, в отопительный период (слева) и в летний период (справа).

Анализируя число градусо-часов (см. Рисунок 7.18), несоответствующих граничным величинам внутренних температур, видно, что в кирпичных квартирных домах есть проблема со слишком низкими зимними температурами. Там несоответствие граничным температурам самое большое.

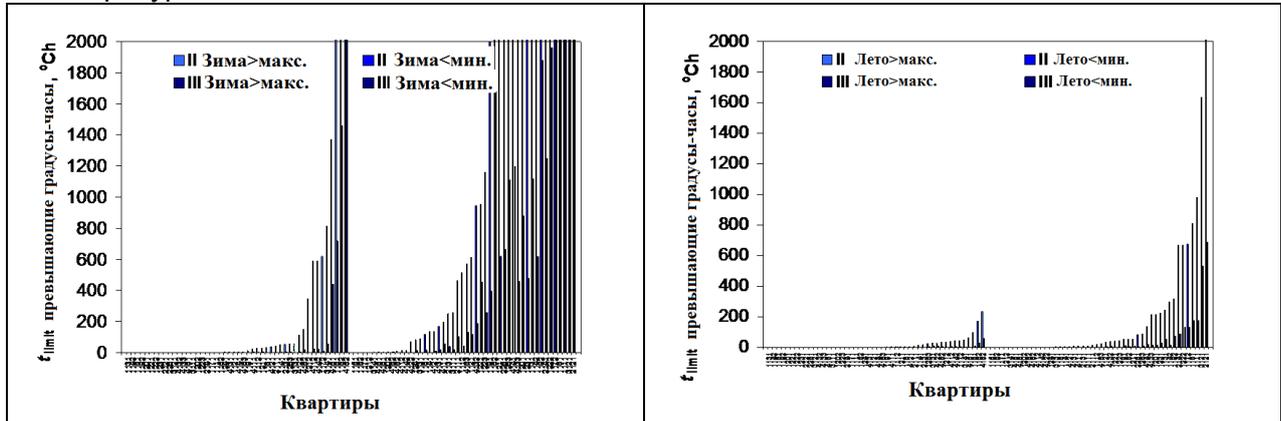


Рисунок 7.18 Время в градусах-часах, несоответствующее граничным температурам стандарта EVS-EN-15251, в отопительный период (слева) и в летний период (справа).

В сравнении с исследованиями, сделанными в соседних странах, кирпичные квартирные дома Эстонии характеризует более низкая температура и более высокая относительная влажность внутреннего климата, см. **Табл. 7.5**

Таблица 7.5 Сравнение результатов различных исследований температуры и относительной влажности внутреннего климата в отопительный период.

Государство, исследование	Температура	Относительная влажность
Эстонские кирпичные квартирные дома (данное исследование)	+21,1 °C (17,2...25,3 °C)	33 % (19...54%)
Эстонские крупнопанельные дома	+21,3 °C (16,3...25,8°C)	37 % (23...65%)
Швеция, 1100 домов Norlén and Andersson 1993	+22,2 °C (квартирные дома) +20,9 °C (частные дома)	>1/3 квартирных домов RH<30% >1/5 частных домов RH>45%
Швеция, 390 домов (83% частных домов) Gustavsson и др. 2004	t <sub>сред</sub> +20,9 °C	
Норвегия, 32 дома Jenssen и др. 2002	+23,5±4.3 °C (спальни) +21,4±2.3 °C (жилые комнаты)	40±8 % (спальни) 29±6% (жилые комнаты)
Финляндия, 242 дома Ruotsalainen и др. 1992	22 °C (18 °C...27 °C), 1/2 домов +21...+23 °C	средняя: 30 %...40 %, разница: 21 %...65 %.
Финляндия, 125 домов (56 квартир) Vinha и др. 2009	+22,9 °C (+20,3...+24,9 °C)	26 % (20...42 %)

## 7.4 Влажностные нагрузки в квартирах

Влажностные нагрузки проанализированы при помощи добавочной влаги. Величина добавочной влаги показывает разницу содержания водяных паров во внутреннем и внешнем воздухе и зависит от вентилируемости помещений и выработки в них влаги. Сравнение добавочной влаги в холодный период ( $t_e \leq +5^\circ\text{C}$ ) и в оставшийся период ( $t_e > +5^\circ\text{C}$ ) см. Рисунок 7.19.

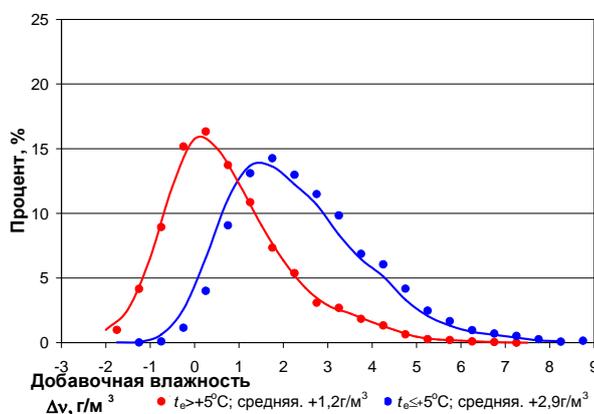


Рисунок 7.19 Распределение добавочной влаги в холодный период ( $t_e \leq +5^\circ\text{C}$ ) и в оставшийся период ( $t_e > +5^\circ\text{C}$ ).

Сравнение результатов добавочной влаги между различными подразделениями см. Рисунок 7.5. В таблице приведены влияния строительства на вентиляцию (этаж квартиры, замена окон, уплотнение ограждений здания) и её влияние на добавочную влажность. Видно, что компоненты, которые влияют на воздухообмен вентиляции или инфильтрацию, прямо влияют и на добавочную влагу. При комбинации нескольких компонентов, влияние может еще усилиться. По статистике существенно влияли на добавочную влагу этаж квартиры (влияет на величину естественной вытяжки через высоту вытяжной трубы) и число проходимости воздуха через ограждения зданий (влияет на попадание внешнего воздуха в квартиру). Дополнительное утепление и уплотнение зданий не выход, если надо улучшить ситуацию с ограждениями зданий и внутренний климат, а также уменьшить расходы на отопление. Дополнительное утепление ограждений здания должно обязательно сопровождаться реновацией отопительной и вентиляционной систем, иначе

желаемого конечного результата не достичь. Используя при оценке работы нынешней вентиляции III класс стандарта EVS-EN 15251, видно, что при меньшей вентиляции влажностные нагрузки существенно больше.

Таблица 7.6 Сравнение средней величины дополнительной влажности между различными подразделениями.

	Средняя добавочная влажность за неделю $\Delta v$ , г/м <sup>3</sup>	
	Средняя внешняя температура $t_e \leq +5$ °С	Средняя внешняя температура $t_e > +5$ °С
	$\Delta v$	$\Delta v$
Все квартиры (48 шт.)	+2,9	+1,3
Квартиры на нижних этажах здания (13 шт.)	+2,3*	+1,1
Квартиры на верхних этажах здания (24 шт.)	+3,4*	+1,4
Число проходимости воздуха $< 4 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ (16 шт.)	+3,6*	+1,6*
Число проходимости воздуха $> 4 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ (14 шт.)	+2,4*	+1,2*
Воздухообмен в комнате $< 0,5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ (15 шт.)	+3,5	+1,7
Воздухообмен в комнате $> 0,6 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ (III класс EVS-EN 15251) (7 шт.)	+2,6	+1,3
Количество потока воздуха вентиляции $< 3 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{чел})$ (13 шт.)	+3,9*	+1,8
Количество потока воздуха вентиляции $> 4 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{чел})$ (III класс EVS-EN 15251) (9 шт.)	+2,4*	+1,3
Плотность населения в квартире $< 20 \text{ м}^2/\text{человек}$ (16 шт.)	+3,4*	+1,5
Плотность населения в квартире $> 25 \text{ м}^2/\text{человек}$ (14 шт.)	+2,3*	+1,1
Квартиры со старыми окнами (14 шт.)	+3,0	+1,3
Квартиры с новыми окнами (15 шт.)	+2,9	+1,2
Квартиры с утепленными и уплотненными наружными стенами (20 шт.)	+3,2	+1,6*
Квартиры с неутепленными и неуплотненными наружными стенами (28 шт.)	+2,7	+1,0*

\* Разница статистически существенная ( $P \leq 0,05$ )

Взаимная зависимость работы вентиляции и добавочной влажности см. Рисунок 7.20. Меньший воздухообмен в помещениях увеличивает влажностную нагрузку. Вдобавок к вентиляции на величину добавочной влажности влияет также выработка влаги во внутренних помещениях. На выработку влаги влияет количество жителей квартиры, сушка белья в квартире, использование воды и т.д. В наше время жители квартирных домов редко сушат белье на улице. Если балкон в квартире застеклен, единственной возможностью остается сушить белье во внутренних помещениях. Это существенно увеличивает влажностную нагрузку во внутренних помещениях.

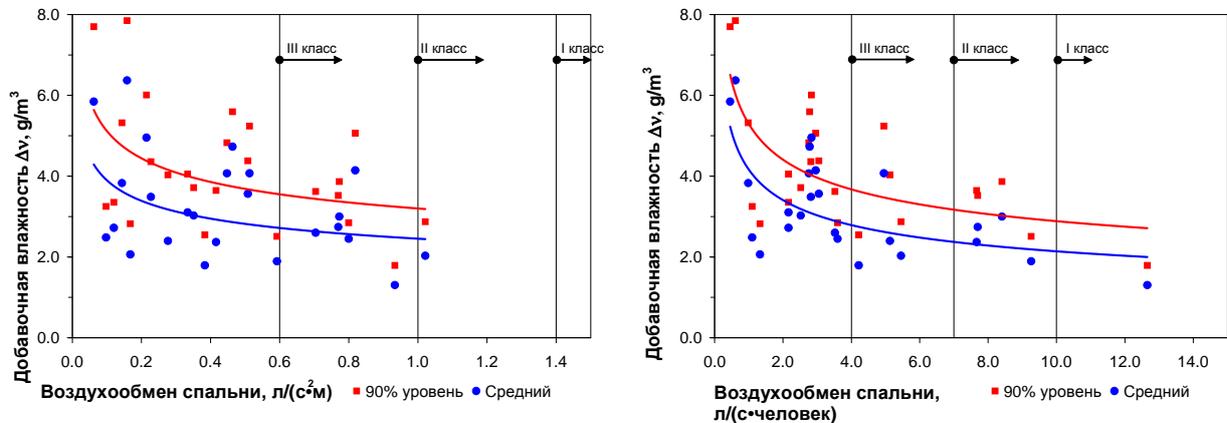


Рисунок 7.20 Влияние вентиляции на влажностную нагрузку.

Для исследования зависимости между влажностной нагрузкой и внешней температурой результаты измерения добавочной влаги для каждой квартиры разделили в соответствии с температурой наружного воздуха. На каждый градус внешней температуры вычислили среднюю максимальную величину добавочной влаги за неделю, которую приняли за представленную влажностную нагрузку этой квартиры (см. Рисунок 7.21 слева). Расчетная величина добавочной влаги для влаго-технических расчетов представляет добавочную влажность на 90% уровне критичности. Эта величина посчитана из максимальных величин всех квартир (см. Рисунок 7.21 справа).

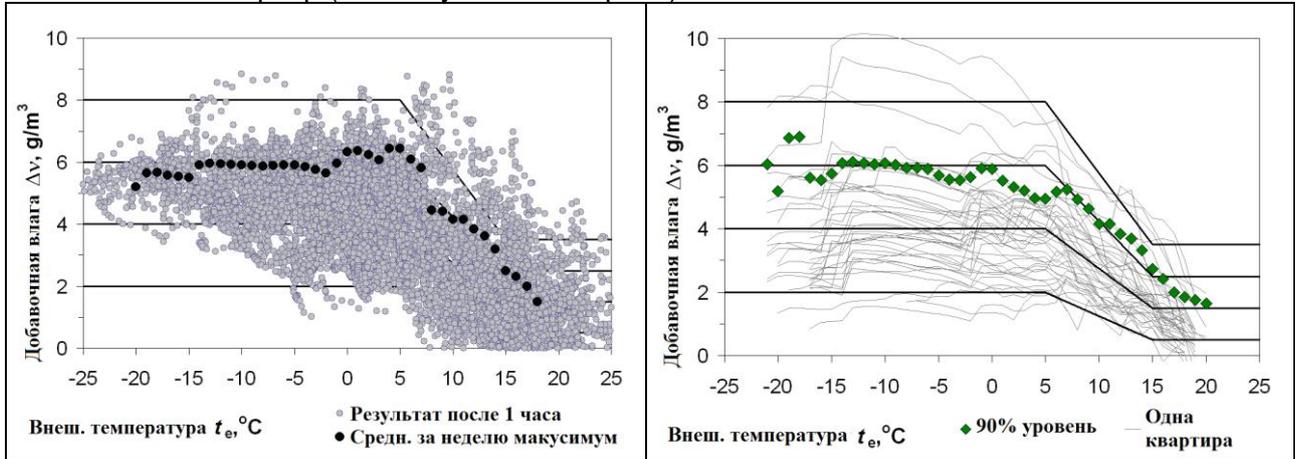


Рисунок 7.21 Зависимость от внешней температуры добавочной влаги в одной квартире (слева) и во всех квартирах (справа).

Сравнение расчетной величины (при уровне критичности 90 %) добавочной влажности в кирпичных домах с более ранними исследованиями в Эстонии (Kalamees 2006, Kalamees и др. 2009) и сравнение с квартирными домами Финляндии (Vinha и др. 2009) (см. Рисунок 7.22) показывает, что влажностная нагрузка более старых квартирных домов Эстонии в период отопления 6...7  $\text{г/м}^3$ . Это почти в два раза больше результатов исследований влажностной нагрузки, проведенных в Финляндии. Главная причина большей влажностной нагрузки – это недостатки вентиляции и большая выработка влаги (высокая плотность заселения, сушка белья во внутренних помещениях и т.д.). Учитывая большие мостики холода в наружных ограждениях старых квартирных домов, все это вызывает большую озабоченность. Усиление вентиляции для понижения влажностной нагрузки и дополнительное утепление наружных ограждений для повышения температур внутренних поверхностей неизбежно.

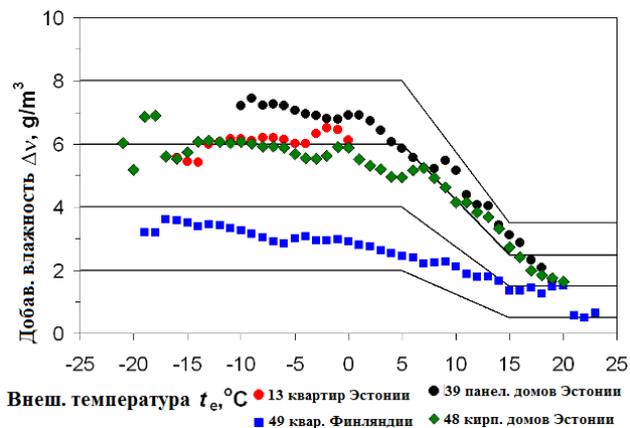


Рисунок 7.22 Сравнение расчетной величины добавочной влажности (при уровне критичности 90%) с более ранними исследованиями в Эстонии (Kalamees 2006, Kalamees и др. 2009) и сравнение с финскими квартирными домами.

## 8 Работа вентиляции и качество внутреннего воздуха

Так как люди проводят до 90% (Lech и др. 1996) жизни во внутренних помещениях, на обеспечение внутреннего климата следует обратить повышенное внимание. Вычисления показали, что вызванные плохим внутренним климатом расходы больше, чем стоимость энергии, расходуемой на поддержание работы отопительной и вентиляционной систем (Seppänen 1999). Из численных исследований выясняется, что плохой внутренний климат связан с «синдромом больного здания», заболеваниями дыхательных путей, симптомами аллергии и астмы и упадком работоспособности (Seppänen & Fisk 2006, Lu и др. 2009).

Люди, строительные и отделочные материалы, мебель и бытовые приборы выбрасывают в помещения загрязняющие вещества, которые нужно оттуда удалить. Для обеспечения качества внутреннего воздуха в исследуемых кирпичных жилищах используется вентиляция. Вентиляция - это совокупность приборов и методов для того, чтобы при помощи воздухообмена достичь установленных параметров внутреннего климата. Целью вентиляции, прежде всего, является обеспечение воздухообмена. Часто главной причиной плохого внутреннего климата является недостаточная работа системы вентиляции (Redlich 1997).

На качество внутреннего воздуха существенно влияет уровень  $\text{CO}_2$ , влажности, формальдегидов, пыли, табачного дыма и продуктов горения газа. К тому же, во внутреннем воздухе могут быть и другие добавки и микроорганизмы в газообразном или парящем состоянии. Также следует тщательно следить за содержанием радона и гамма-излучением. В помещениях, где источниками отходов являются люди, качество воздуха характеризует лишь содержание  $\text{CO}_2$ , так как выработка других вредных веществ, связанных с жизнедеятельностью человека, пропорциональна выработке углекислого газа (Kõiv 2007). Общеизвестная граничная норма содержания  $\text{CO}_2$  во внутреннем воздухе 1000 ppm. В соответствии с определением исходных параметров энергетической эффективности зданий по стандарту (EVS-EN 15251:2007) тепловой комфорт внутреннего климата подразделяется по уровню на классы (см. Таблица 8.1). Часто при оценивании внутреннего климата используется оценка качества воздуха пребывающих в помещении людей (см. Рисунок 8.1). В общем случае максимальный акцептированный процент неудовлетворенных в исследовании равен 30 % (Jokl 1998).

Таблица 8.1 Описание классов внутреннего климата (EVS-EN-15251)

Класс внутреннего климата	Описание
I	Высокие требования к качеству внутреннего климата. Рекомендуется в помещениях, где пребывают очень чувствительные, со слабым здоровьем и особыми потребностями люди, такие как люди с физическими недостатками, очень маленькие дети и престарелые люди.
II	Обыкновенные требования к качеству внутреннего климата. Следует применять в новых и ремонтируемых зданиях.
III	Умеренные требования к качеству внутреннего климата. Можно применять в ныне существующих зданиях.
IV	Значения качества внутреннего климата, которые остаются за пределами упомянутых выше классов. Данный класс может быть принят только ограниченное время в году.

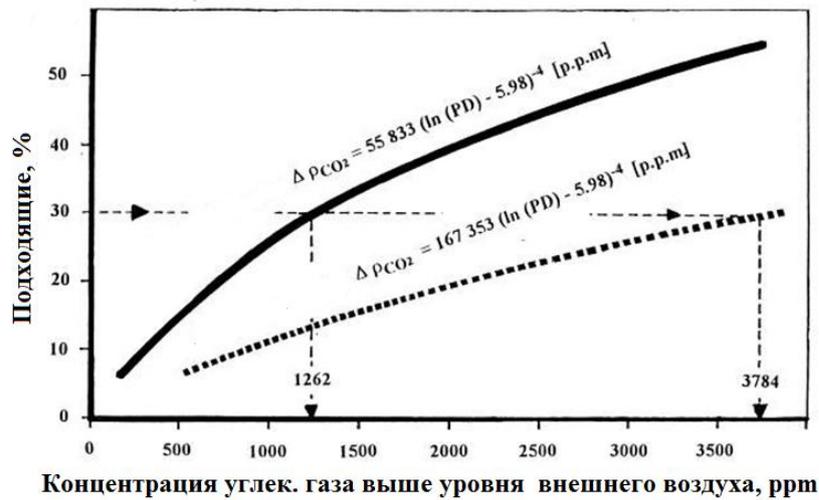


Рисунок 8.1 Количество недовольных при низкой физической активности, выраженное согласно концентрации CO<sub>2</sub> свыше уровня внешнего воздуха (Jokl 1998).

В квартирах, где обычно большие выделения влаги (большая плотность жителей, сушка белья, приготовление пищи, комнатные растения, мытье) и минимальные выделения CO<sub>2</sub>, уровень CO<sub>2</sub> в пределах нормы не может означать также и наличие достаточной вентиляции для удаления влажности. В то же время высокая относительная влажность внутреннего воздуха вызывает проблемы с плесенью. Особенно серьезной становится ситуация тогда, когда относительная влажность превышает 70-80 %. Следовательно, при оценивании качества внутреннего воздуха важно следить также за относительной влажностью воздуха и для удаления излишних выделений влаги увеличить воздухообмен квартиры. Установка набирающей все большую популярность сушилки для воздуха, конечно, устранил симптомы проблем с влажностью, но ничего не сделает с их причинами образования, и поэтому при использовании этого решения следует быть предельно осторожным.

На оценку качества внутреннего климата у людей влияет также скорость движения воздуха в помещении. В зимний период слишком большая скорость движения воздуха вызывает ощущение сквозняка, зато большая скорость летом помогает повысить чувство комфорта. В холодное время года разрешенная скорость движения воздуха до 0,21 м/с (критерий проектирования CR 1752 С уровень). Выполнение этой границы может быть проблемой при направленной вентиляции, активном проветривании и в случае клапанов свежего воздуха. Ощущение сквозняка можно уменьшить более высокой температурой внутреннего воздуха, см. Рисунок 8.2. (Kõiv 2006). Уровень неудовлетворенности жителей, вызванной скоростью движения воздуха, оценивает также стандарт ISO EN 7730:1994 (см. формулу 8.1).

$$DR = ((34 - t_a) \cdot (v - 0,05)^{0,62}) \cdot (0,37 \cdot v \cdot T_u + 3,14), \% \quad (8.1)$$

где

- DR — неудовлетворенные по причине сквозняка, %;
- t<sub>a</sub> — температура внутреннего воздуха, °С;
- v — скорость движения воздуха, м/с;
- T<sub>u</sub> — доля турбулентности, %.



Рисунок 8.2 Ощущение сквозняка в зависимости от температуры внутреннего воздуха и скорости движения воздуха (Kõiv 2006).

Воздухообмен предельно важен с точки зрения внутреннего климата помещений, но при выборе количества потока воздуха нужно найти золотую середину между расходами на поддержание системы и возможными факторами, оказывающими влияние на здоровье людей и их комфорт. Чрезмерная вентиляция может вызвать сквозняк, лишний шум, а также рост потребления энергии на вентиляцию. Вдобавок к предназначенной для зданий вентиляции, в них проявляется также прохождение воздуха через оградительные конструкции, или экс- и инфильтрация. Хотя внутренний воздух меняется путем инфильтрации, в случае этого процесса невозможно контролировать движение воздуха. Особенно важно уменьшать прохождение воздуха через преграды, обеспечивая возвращение тепла в случае вентиляции, так как количество потока воздуха экс- и инфильтрации не возвращает тепло.

## 8.1 Методы

### 8.1.1 Измерения

Для измерения концентрации  $\text{CO}_2$  использовали записывающие данные логгеры НОВО (Onset Computer Corporation) и датчики  $\text{CO}_2$  TelAire 7001. Содержание углекислого газа в воздухе помещения записывали через каждые 10 минут. 10-минутный интервал записи определяет концентрации  $\text{CO}_2$  с достаточной точностью, и такой промежуток использовался также в более ранних исследованиях (Guo & Lewis 2007). Также используемый интервал подходит, чтобы определить работу проветриваемых периодов, не используя специальные оконные датчики (см. Таблица 8.6). Для контроля в некоторые квартиры установили также оконные датчики, которые в соответствии с открыванием окна записывали длительность периода проветривания. В случае если окно спальни не использовалось для проветривания, датчик устанавливали на используемое для этого окно.

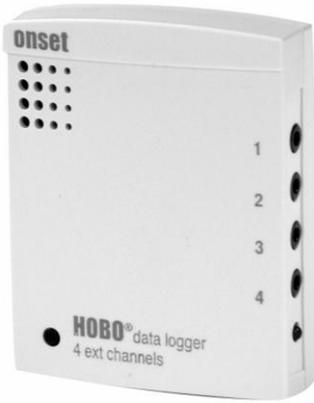
Измерения проходили в промежутке времени с 2.12.2008 по 20.03.2010. Длина периода измерения в одной квартире 1–4 недели. Летом измерения  $\text{CO}_2$  во внутреннем воздухе проходили в 4 квартирах и зимой в 31 квартире. Большую часть измерений провели в зимний период, так как в соответствии с определением исходных параметров энергетической эффективности зданий по стандарту (EVS-EN 15251:2007) измерения концентрации  $\text{CO}_2$  следует проводить предпочтительно в зимних условиях. Главной причиной этого является проветриваемость окон, вызванная опасностью сквозняков, и

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

ограниченное использование зимой воздушных клапанов. В одном доме концентрацию углекислого газа измеряли в 1-2 квартирах.

Для оценки состояния каналов вытяжки вентиляции и количества потока воздуха санитарных помещений и кухни использовали измеритель количества потока воздуха SwemaFlow 230. Измерения провели в период времени с 29.12.09 по 20.03.2010 и промежутке температур от -15 до +5. Для повышения точности результатов и выяснения влияния погоды в некоторых квартирах провели повторные измерения. Точность измерительных приборов и области измерения см. Таблица 8.2.

Таблица 8.2 Приборы, использованные при измерении уровня CO<sub>2</sub> и количества воздушного потока.

	HOBO U12-006	TelAire 7001	SwemaFlow 230
			
Область измерения	0–2,5 V DC (0–4000 ppm)	CO <sub>2</sub> уровень 0 – 10000 ppm	Количество потока воздуха 0–60 л/с
Точность измерения	±2 мВ или ±2,5% от значения шкалы	±5% от показания или 50 ppm (0–5000 ppm)	±3% от показания или ±1 л/с

Измерения углекислого газа проходили в спальнях, где ночью пребывало 1-4 человека, среди этого в 90% случаев в спальне спало 1-2 человека. Измерения концентрации CO<sub>2</sub> следует проводить в условиях абсолютного смешивания внутреннего воздуха, следовательно, приборы были установлены как можно ближе к центру комнаты на высоте 1– 1,5 м от поверхности пола.

Качество внутреннего воздуха в квартирах кирпичных домов очень различно (см. Рисунок 8.3). Содержание CO<sub>2</sub> во внутреннем воздухе очень зависит от различных обстоятельств. Для анализа результатов измерения конкретных квартир, для получения необходимой информации были заполнены соответствующие анкеты о жильцах, исследуемой комнате и выбранном в период измерения внутреннем климате. На основе того же опроса оценили возникшие из-за внутреннего климата проблемы со здоровьем.

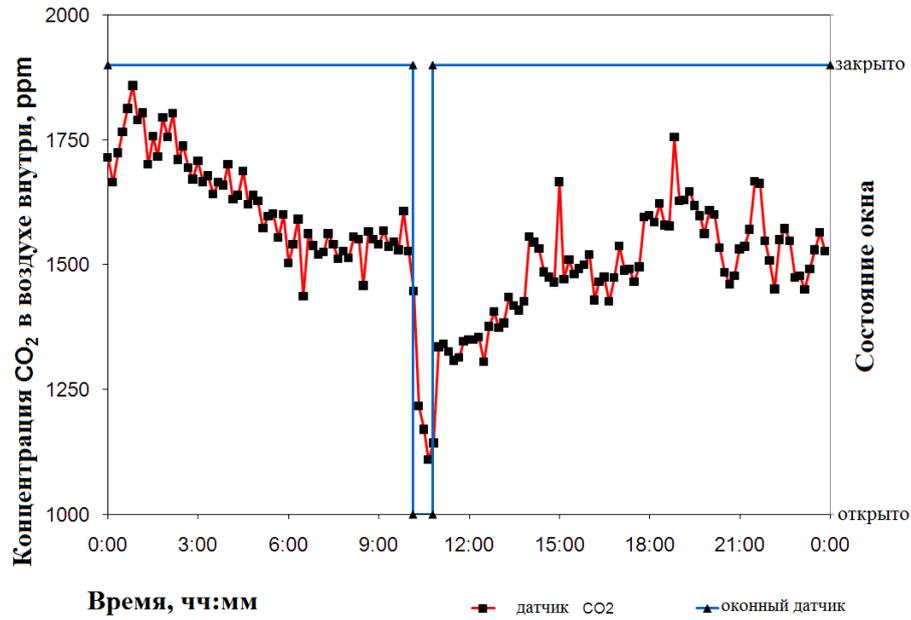


Рисунок 8.3 Пример изменения концентрации  $\text{CO}_2$  на протяжении одних суток. В период проветривания проявляется резкое падение уровня  $\text{CO}_2$ . Вдобавок на рисунке приведен показатель оконного датчика при открытии окна.

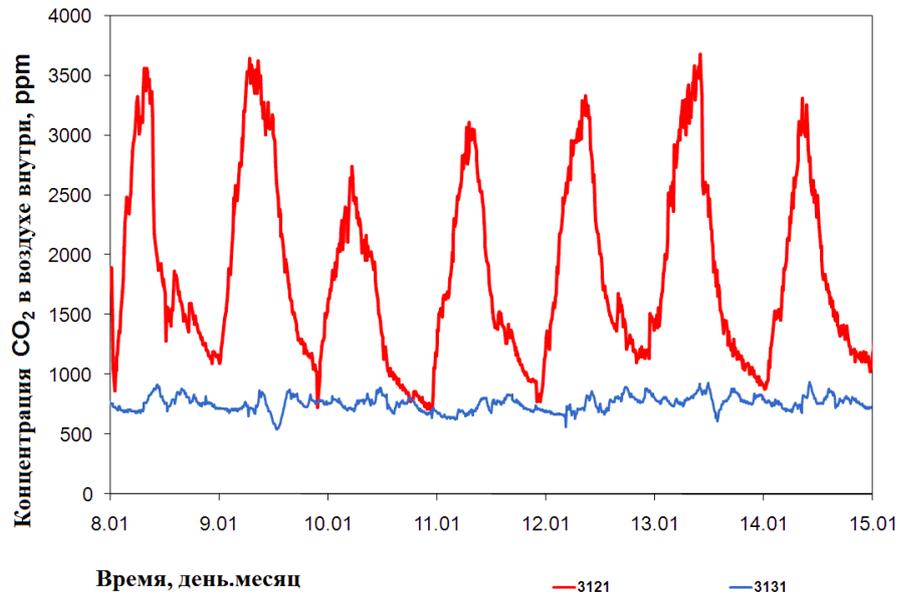


Рисунок 8.4 Пример разницы изменения концентрации  $\text{CO}_2$  в квартирах 3121 и 3131 на протяжении периода длительностью в одну неделю.

### 8.1.2 Критерии оценки содержания $\text{CO}_2$ в воздухе помещения

В соответствии с требованиями, предъявляемыми жилым помещениям в Эстонии (постановление номер 38 ПР), в них должна быть естественная или механическая вентиляция, которая обеспечит круговорот воздуха и его необходимое количество для человеческой жизнедеятельности. С позиции того же постановления скорость движения воздуха в жилом помещении, объем жилого помещения на одного человека, предельная концентрация содержания химических и биологических соединений во внутреннем воздухе должны быть обеспечены в соответствии с используемыми в Эстонии нормами. Из действующих в данный момент в Эстонии государственных и международных стандартов и технических отчетов содержание  $\text{CO}_2$  во внутреннем воздухе затрагивают стандарт по определению исходных параметров энергетической эффективности зданий

(EVS-EN 15251:2007) и критерий проектирования внутреннего климата (CR 1752). Определенные со стороны EVS-EN 15251:2007 концентрации CO<sub>2</sub> в соответствии с классами внутреннего климата (см. Таблица 8.3) существенны для вычисления энергии и выдвигают требования регулируемой вентиляции.

Таблица 8.3 Примеры рекомендуемого содержания CO<sub>2</sub>, представленные при концентрации свыше концентрации внешнего воздуха и при концентрации 350 ppm (EVS-EN-15251).

Класс внутреннего климата	Концентрация CO <sub>2</sub> свыше уровня внешнего воздуха, ppm	Концентрация CO <sub>2</sub> во внутреннем воздухе при уровне 350 ppm, ppm
I	350	700
II	500	850
III	800	1150
IV	>800	>1150

При анализе внутреннего климата многоквартирных домов использование значений из Таблица 8.3 нецелесообразно, так как в большинстве случаев имеет место естественная вентиляция без ее регулирования. В то же время в случае приведенных EVS-EN 15251:2007 концентраций возникает противоречие с определенным в том же стандарте количеством потока воздуха на человека для жилой комнаты и спальни (см Таблица 8.4). В Датском Техническом университете были открыты условия обеспечения названного стандарта (Olesen 2007) и приведены граничные нормы количества потока воздуха и содержания CO<sub>2</sub> во внутреннем воздухе в соответствии с классами внутреннего климата. Эти нормы равномерно отвечают также значениям, приведенным в критерии проектирования внутреннего климата (см. Таблица 8.4). Начиная отсюда в данном исследовании для оценивания содержания CO<sub>2</sub> во внутреннем воздухе используются приведенные в критерии проектирования CR 1752 граничные нормы, причем за содержание CO<sub>2</sub> во внешнем воздухе взято 350 ppm. В новых и ныне существующих жилых зданиях важно следить за уровнями классов теплового комфорта В (II) и С (III), граничные нормы класса А (I) предназначены прежде всего для обеспечения качества внутреннего климата, что невозможно достичь в зданиях, использующих естественную вентиляцию. Концентрации CO<sub>2</sub>, соответствующие степени неудовлетворенных, можно использовать также для определения граничных норм классов теплового комфорта (см. Таблица 8.4). Несоответствие внутреннего климата рекомендуемому уровню может вдобавок к человеческому здоровью также повлиять на материалы строительных конструкций и отделочные материалы.

Таблица 8.4 Классы внутреннего климата для помещений, где главным источником CO<sub>2</sub> является человек (CR 1752).

Класс внутреннего климата	Уровень недовольных жителей, %	Концентрация CO <sub>2</sub> во внутреннем воздухе при уровне наружного воздуха 350 ppm, ppm	Концентрация CO <sub>2</sub> во внутреннем воздухе, ppm
A	15	460	810
B	20	660	1010
C	30	1190	1540

Стандарт определения исходных параметров для определения энергоэффективности зданий (EVS-EN 15251:2007) допускает кратковременные отклонения при выполнении параметров внутреннего климата. Определенные классами теплового комфорта граничные величины могут превышать на 3 % или 5 % от времени использования здания в день, неделю, месяц или год. Причем, следует обратить внимание, что даже тогда, когда в более длительный период параметры не превышают отклонений по времени использования, их надо выполнять также в течение дня и недели.

### 8.1.3 Метод вещественного обмена CO<sub>2</sub>

В соответствии со стандартом определения исходных параметров для определения энергоэффективности (EVS-EN 15251:2007) в зданиях, где главным источником загрязнения являются люди, можно производить поток воздуха вентиляции (на человека или на м<sup>2</sup>), используя измерения концентрации CO<sub>2</sub>. Исходя из этого в данном исследовании воздухообмен в квартирах оценен по изменению концентрации CO<sub>2</sub> в спальнях. Для определения воздухообмена помещения используется формула метода вещественного обмена CO<sub>2</sub> (см. формула 8.2) (Kõiv 2007):

$$C = C_v + \frac{m}{L} - (C_v + \frac{m}{L} - C_0) \cdot (e^{-\frac{L}{V}\tau}) \quad (8.2)$$

где

$m$	выработка CO <sub>2</sub> в помещении, г/ч;
$L$	воздушный поток в помещении, л/ч;
$V$	объем помещения, м <sup>3</sup> ;
$C_v$	уровень CO <sub>2</sub> во внешнем воздухе, г/м <sup>3</sup> ;
$C$	уровень CO <sub>2</sub> в помещении в конце периода измерения, г/м <sup>3</sup> ;
$C_0$	уровень CO <sub>2</sub> в помещении в начале периода измерения, г/м <sup>3</sup> ;
$\tau$	время, ч.

Зная уровень CO<sub>2</sub> во внутреннем и внешнем воздухе, при решении по формуле 8.2 можно узнать количество потока воздуха в помещении. Выделение CO<sub>2</sub> во внешнем воздухе взято как 350 ppm. Найти выработку CO<sub>2</sub> людьми можно, суммировав выделения CO<sub>2</sub> всех пребывающих в помещении людей. Для правильного нахождения воздухообмена нужно с достаточной точностью знать выделения CO<sub>2</sub> всех пребывающих в помещении.

Недостатком метода является то обстоятельство, что при открытии двери в спальню учитывается также происходящий в квартире круговорот внутреннего воздуха и рассеивание соответствующей концентрации CO<sub>2</sub>. Также на содержание CO<sub>2</sub> влияет происходящая на границах окон ин- и эксфильтрация и движение воздуха внутри квартиры, обусловленное давлением ветра. Результатом влияния этих факторов может стать то, что метод вещественного обмена CO<sub>2</sub> покажет большее количество потока воздуха, чем есть на самом деле.

### Выделение человеком CO<sub>2</sub> в помещении

Используя приведенные в литературе (ASHRAE Handbook 1993) связи между выделением тепла во время обмена веществ, площадью тела и соответствующим потреблением кислорода, можно вывести следующую формулу (8.3):

$$Q_{CO_2} = \frac{0,727 \cdot M \cdot RQ \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725}}{4,83 \cdot RQ + 16,17} \quad (8.3)$$

где

$Q_{CO_2}$	выделения человеком CO <sub>2</sub> в воздух помещения, л/ч;
$M$	выделения тепла человека, Вт/м <sup>2</sup> ;
$RQ$	соотношение выдыхаемого CO <sub>2</sub> и вдыхаемого O <sub>2</sub> ;
$m$	вес человека, кг;
$l$	рост человека, м.

Выделения углекислого газа в помещение зависят, прежде всего, от площади тела человека и физической активности. Соотношение вдыхаемого O<sub>2</sub> и выдыхаемого CO<sub>2</sub> в данном исследовании в данной области (0,7–1,2 MET) постоянная величина. Если в результатах конкретных испытаний не назначено по-другому, за значение RQ можно взять 0,83 (ASHRAE Handbook 1993). В этом случае результаты CO<sub>2</sub> получают с точностью в почти 3%, что в данном контексте вполне достаточно. Используя формулу 8.3 и выделения тепла в ходе обмена веществ во время отдыха из Таблица 8.5, можно найти

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

выделения  $\text{CO}_2$  для людей с разным весом и разного роста. Например, выделение  $\text{CO}_2$  у мужчины ростом 1,73 м и весом 70 кг во время сна 10,8 л/ч и у ребенка весом 33 кг и ростом 1,4 м 5,3 л/ч.

Таблица 8.5 Типичные выделения тепла в ходе обмена веществ во время отдыха.

Деятельность	Вт/м <sup>2</sup>	МЕТ*
Сон	40	0,7
Отдых в лежачем положении	45	0,8
Спокойное сидячее положение	60	1,0
Спокойное положение стоя	70	1,2

\*1 МЕТ = 58 Вт/м<sup>2</sup>

В различных исследованиях (см. Таблица 8.6) выделения углекислого газа людей часто рассматриваются как среднее за сутки. В этом случае учитываются сутки со средней активностью обмена веществ, которую находят методом взвешенного среднего. В то же время, в некоторых ранее проведенных исследованиях также отдельно приведены выделения углекислого газа во время сна. Так как выделения  $\text{CO}_2$  в дневное время меняются в очень больших пределах, выделение углекислого газа можно точнее всего определить в ночной период (Guo 2007). В данном исследовании рассматриваются изменения концентраций углекислого газа на протяжении периода сна. С одной стороны причиной этого рекомендованная в предыдущих исследованиях методика, с другой наличие людей разного профиля и постоянность выделения  $\text{CO}_2$  в воздух помещения ночью.

Таблица 8.6 Выделения  $\text{CO}_2$  в ходе обмена веществ в различных исследованиях.

Государство, исследование	Объект исследования	Выделение $\text{CO}_2$ взрослым, л/ч	Выделение $\text{CO}_2$ ребенком, л/ч
США, Dietz & Goodrich 1995	Школы и жилища	19	12
Таиланд, Leephakreeda и др. 2000	Школы	16,2	16,2
Ирландия, Guo and Lewis 2007	Жилища	18	18
Швеция, Pavlovas 2003	Квартирные дома	12*	12*
Чехия, Jokl 2000	Школы, бюро, жилища	19 (1–1,2 МЕТ)	18 (3–6 лет и 2,7 МЕТ) 19 (14–16 лет и 1–1,2 МЕТ)
Япония, Hayashi и др. 2000	Частные дома	15* работающий мужчина; 13,5* женщина,	13,5* ученица средней школы; 15,3* ученик
Эстония, Kalamees и др. 2009	Панельные дома	17,2	17,2

\*в ночное время суток

Поскольку выделения тепла у человека меняются в соответствии со степенью активности обмена веществ, целесообразно использовать средние выделения  $\text{CO}_2$  за исследуемый период. В данном случае за среднее выделение  $\text{CO}_2$  в ночной период берется 13 л/ч для взрослых и 6,5 л/ч для детей до 14 лет. Сравнивая эти величины с использованными в более ранних исследованиях выделениями  $\text{CO}_2$ , нужно упомянуть, что в случае со взрослыми людьми использованные цифры совпадают с предыдущими исследованиями. В случае детей разница больше, ведь их выделения  $\text{CO}_2$  часто брали, как у взрослых, хотя в данном случае анализ, а также некоторые другие исследования (Dietz & Goodrich 1995), показывают, что это нецелесообразно. Используемые в исследовании выделения  $\text{CO}_2$  почти близки к аналитически вычисленным результатам. Для получения более точных данных нужно проанализировать химический состав вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, хотя подобный подход устраивает в лабораторных условиях и неосуществим в реальной ситуации.

### Кратность воздухообмена

Для оценки величины воздухообмена в помещениях с разными площадями и высотами, применяется понятие кратности воздухообмена. Кратность воздухообмена показывает, сколько раз меняется воздух помещения в течение 1 часа. Чтобы её вывести, можно использовать формулу 8.4

$$n = \frac{3,6 \cdot L_{inf}}{V} \quad (8.4)$$

где

- $n$  кратность воздухообмена, ч<sup>-1</sup>;  
 $L$  количество потока воздуха в помещении, л/с;  
 $V$  объем помещения, м<sup>3</sup>

#### 8.1.4 Критерии оценки воздухообмена в жилых помещениях

При проектировании помещений воздухообмен определяется как соответствующий значениям нормы или по выделению опасных веществ. В жилых зданиях и зданиях общего пользования при определении воздухообмена можно исходить из нормативных значений вентиляции помещений (на человека, на площадь пола, по кратности воздухообмена и т.д.). Стандарт определения исходных параметров энергетической эффективности зданий (EVS-EN 15251:2007) дает значение количества потока воздуха для жилых зданий в соответствии с классом внутреннего климата (см. Табл. 8.7). Норма проектирования вентиляции EVS 845-1:2004 рекомендует в качестве количества потока воздуха для спальни брать 0,7 л/(с·м<sup>2</sup>) или 6 л/с на человека. Проведенные в многоэтажных домах Швеции исследования (Pavlovas 2003 и Pavlovas 2006) показывают, что для двух человек в спальне достаточно количества потока воздуха 4 л/с на человека, чтобы концентрация CO<sub>2</sub> не поднялась выше 1200 ppm.

Таблица 8.7 Примеры количества потока воздуха вентиляций жилых зданий при постоянной работе вентиляционных систем во время использования помещений (EVS-EN 15251:2007).

Класс внутреннего климата	Воздухообмен в жилой комнате и спальне		
	На человека, л/с	На площадь пола, л/(с·м <sup>2</sup> )	Кратность воздухообмена, ч <sup>-1</sup> (высота помещения 2,5 м)
I	10	1,4	2,0
II	7	1,0	1,4
III	4	0,6	0,9

При использовании помещений во внешний период количества потока воздуха вентиляции в них можно уменьшить. Минимальное количество потока воздуха в стандарте EVS-EN 15251:2007 существует при естественной вентиляции 0,05–0,1 л/(с·м<sup>2</sup>) в случае жилых помещений, что означает равенство кратности воздухообмена 0,07–0,15 ч<sup>-1</sup> при высоте помещения 2,5 м.

#### 8.1.5 Критерии оценки воздухообмена кухни и санитарных помещений

В стандарте определения исходных параметров энергетической эффективности зданий (EVS-EN 15251:2007) количества потока воздуха во время использования кухни и санитарных помещений даются в соответствии с классом внутреннего климата (см. Табл. 8.8). Чистый воздух, входящий в кухни, ванны комнаты и туалеты может быть переходным воздухом из спален и жилых комнат. Приведенные в норме проектирования вентиляции EVS 845-1:2004 нормативные числа см. Табл. 8.8

Таблица 8.8 Примеры количества потока воздуха кухни и санитарных помещений (EVS-EN 15251:2007 ja EVS 845-1:2004).

Класс внутреннего климата	Количество вытяжного потока воздуха, л/с					
	Кухня		Ванная комната		Туалет	
	EVS-EN 15251:2007	EVS 845-1:2004	EVS-EN 15251:2007	EVS 845-1:2004	EVS-EN 15251:2007	EVS 845-1:2004
I	28	8* 20	20	10* 15	14	7* 10
II	20		15		10	
III	14		10		7	

\* – вне времени использования

## 8.2 Результаты

### 8.2.1 Измерения содержания CO<sub>2</sub> в квартирах

Концентрации CO<sub>2</sub>, измеренные в спальнях в летний период были в пределах 341 –3202 ppm. С позиции критерия проектирования внутреннего климата (CR 1572) граничная норма содержания CO<sub>2</sub> при II (B) классе теплового комфорта 1010 ppm и граничная норма для III (C) класса 1540 ppm (при уровне CO<sub>2</sub> в наружном воздухе 350 ppm). Содержание CO<sub>2</sub> во внутреннем воздухе исследуемых квартир в летний период соответствовало норме II на 88% и норме III на 97% от времени периода проведения измерений (см. Рисунок 8.5). Учитывая, что в действительности люди проводят дома только около 16 часов в день, концентрация CO<sub>2</sub> отвечала II уровню на 82% и III уровню на 95% от времени использования квартир. Учитывая также то, что стандарт определения исходных параметров энергетической эффективности (EVS-EN 15251:2007) допускает при подразделении на классы превышение граничных величин теплового комфорта на 5%, 75% квартир, в которых были проведены измерения в летний период, отвечает как II, так и III уровню.

По результатам можно сделать вывод, что в связи с частым проветриванием помещений летом, превышение концентрации CO<sub>2</sub> не является проблемой. При анализе результатов измерения выяснилось, что установленный граничный уровень превышает летом в результате активной дневной деятельности. Уровень CO<sub>2</sub> в ночной период в основном входит в допустимые границы уровня C.

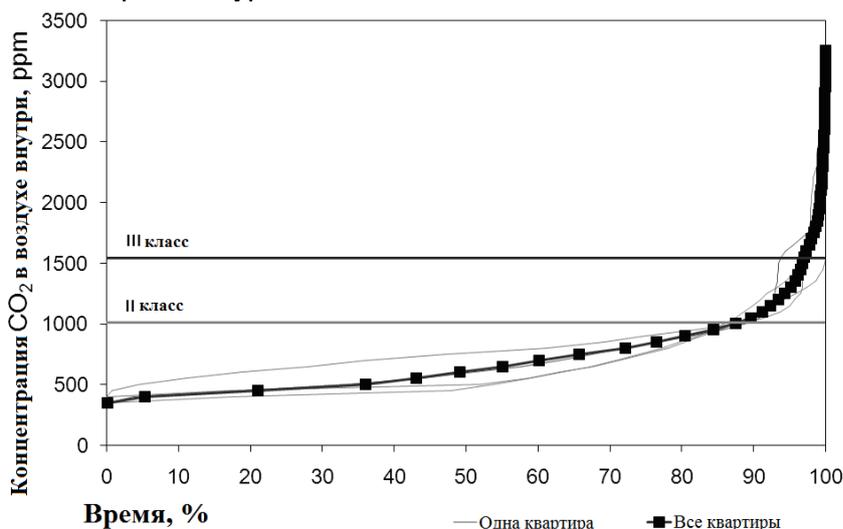


Рисунок 8.5 Кумулятивное распределение результатов измерения CO<sub>2</sub> в летний период.

Результаты измерения в зимний период вошли в промежуток 372–4000 ppm. В четвертой квартире уровень CO<sub>2</sub> на короткое время превысил верхнюю границу области измерения логгера. В исследуемых квартирах содержание CO<sub>2</sub> во внутреннем воздухе соответствовало норме II на 59% и норме III на 87% от времени периода измерений (см.

Рисунок 8.6). Так как в действительности люди проводят дома только около 16 ч в день, концентрация  $\text{CO}_2$  отвечала II уровню на 38% и III уровню на 81% от времени использования квартиры. Учитывая, что стандарт определения исходных параметров энергетической эффективности (EVS-EN 15251:2007) допускает при подразделении на классы превышение граничной величины на 5%, 35% квартир, в которых провели измерения в зимний период, отвечают классу II на 17% и классу III на 35%.

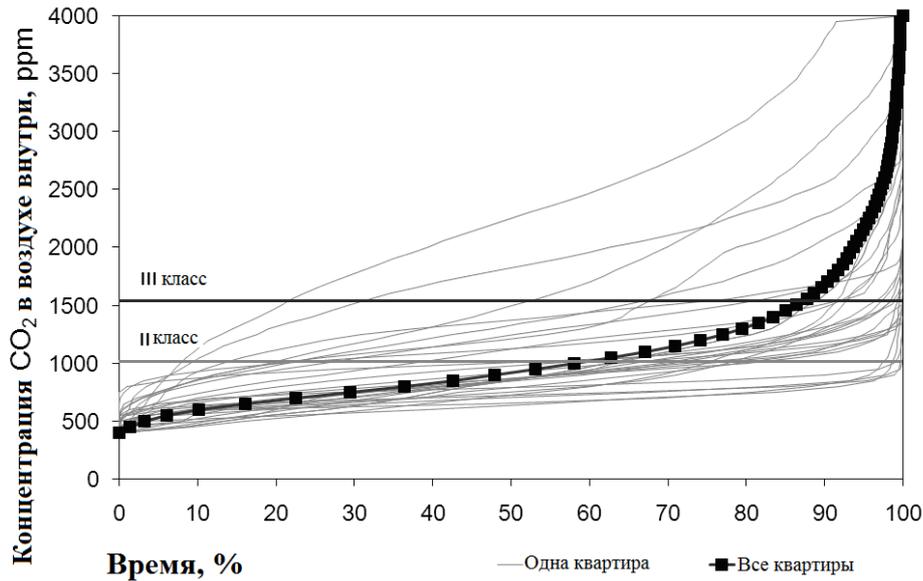


Рисунок 8.6 Кумулятивное распределение результатов измерения  $\text{CO}_2$  в зимний период.

Для оценки влияния замены окон на качество воздуха в помещении отдельно рассмотрено содержание  $\text{CO}_2$  в квартирах с новыми и старыми окнами (см. Рисунок 8.7). В случае старых окон концентрация  $\text{CO}_2$  соответствовала граничной норме II класса на 66% и в квартирах с новыми окнами на 56% от времени периода проведения измерений. Концентрация  $\text{CO}_2$  в квартирах, как со старыми окнами, так и с новыми окнами отвечала граничной норме III класса соответственно на 94% и на 85%. Учитывая действительное время использования квартир (в данном исследовании 16 часов в день), качество внутреннего воздуха в случае старых окон отвечает II уровню на 49% и в случае новых на 34%. Уровень  $\text{CO}_2$  соответствовал граничной норме III класса на 91% в квартирах со старыми окнами и в квартирах с новыми окнами на 77% от времени периода проведения измерений. С допустимым превышением граничной нормы на 5% II уровню теплового комфорта отвечает 22% квартир со старыми окнами и III уровню 56% рассмотренных квартир. Из квартир с новыми окнами II уровню отвечает 15% и III уровню 25% квартир. Исходя из этого, влияние замены окон очевидно и выясняется, что установка новых окон без реновации вентиляционной системы существенно ухудшает воздухообмен квартир. Следует добавить, что в случае незамененных окон помещения проветривали чаще, и поэтому их влияние на качество внутреннего воздуха еще больше, чем показывают результаты измерения.

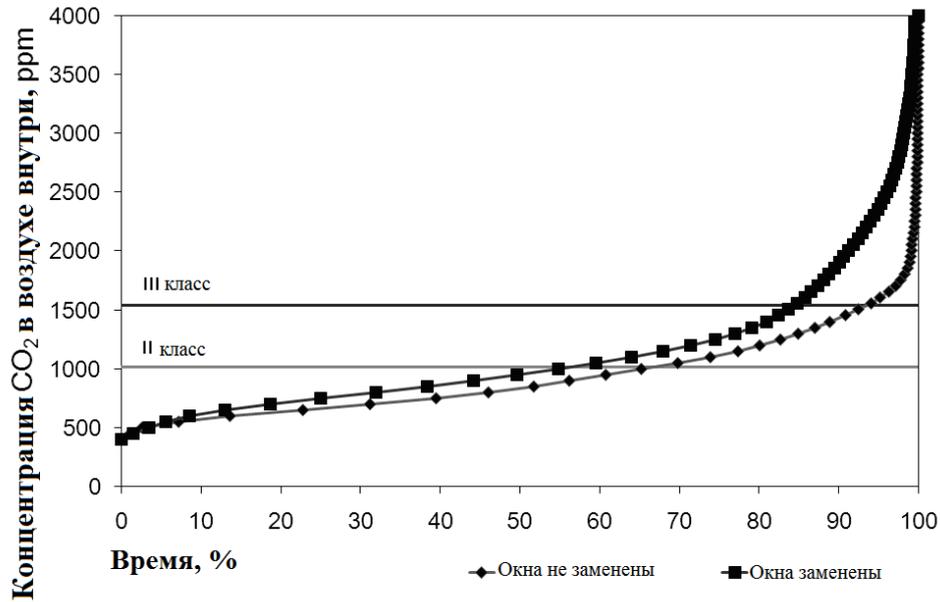


Рисунок 8.7 Влияние замены окон на уровень CO<sub>2</sub> в течение периода измерения.

### 8.2.2 Воздухообмен спален

Используя формулу 8.2 для рассматриваемой спальни каждой квартиры, было найдено количество потока воздуха в ночной период. Так как в условиях естественной вентиляции количество потока воздуха может изменяться в связи с влиянием ветра и внешней температуры, оно находится как среднее значение за семидневный период. Также на основании формулы 8.4 считаются кратности воздухообмена в спальнях (см. Таблица 8.9).

Следует отметить, что для получения достоверных результатов, нужно как можно точнее знать имеющиеся профили жителей и выделение CO<sub>2</sub>. Для рассматриваемого семидневного периода выбраны только характеризующие измерительный период дневные изменения концентраций CO<sub>2</sub>. Отклонения и различия исключены. Однако выясняется, что воздухообмен спален в некоторой степени зависит от погоды и поэтому может меняться на протяжении суток или еще более короткого периода. Поэтому для каждого посчитанного методом вещественного обмена CO<sub>2</sub> среднего количества потока воздуха спальни в данном исследовании приводится также промежуток вариации воздухообмена в период измерения (см. Рисунок 8.8). За сутки количества потока воздуха отличались от среднего на 6–70 %. Средняя вариация воздухообмена всех исследованных спален была 29%.

Таблица 8.9 Кратности воздухообмена спален, рассчитанные на основе результатов измерений CO<sub>2</sub> .

Код	Этаж-ность	Этаж	Тип окна	Венти-ляция*	Клапаны инфильтрации воздуха	Открытие дверей	Коли-чество людей	Кратность воздухообмена в спальне, 1/ч
4151	5	5	новое	пв+шкаф	Нет	открыты	1	0,09
2131	4	2	новое	пв	Нет	закрыты	1	0,14
2121	4	3	новое	пв+шкаф	Нет	закрыты	1	0,17
3121	5	4	новое	пв	Нет	закрыты	2	0,21
3111	3	2	новое	пв+шкаф	Нет	открыты	4	0,23
1231	5	4	новое	пв	Нет	открыты	1	0,24
1222	3	2	старое	пв+шкаф	Нет	открыты	1	0,31
4141	5	4	новое	пв	Нет	открыты	2	0,33
1251	5	3	новое	пв	Нет	открыты	1	0,40
1141	5	5	новое	пв	Нет	открыты	1	0,48
1221	3	3	новое	мех+шкаф	Нет	открыты	2	0,51
1131	5	1	новое	пв+шкаф	Нет	закрыты	1	0,55
3131	5	5	новое	пв	Нет	открыты	1	0,60
4161	5	4	старое	пв+шкаф	Нет	открыты	2	0,64
2141	5	4	старое	пв	Нет	закрыты	2	0,67
2111	5	5	старое	пв	Нет	открыты	2	0,73
4131	5	5	новое	пв	Нет	открыты	2	0,74
1211	9	9	старое	пв+шкаф	Нет	открыты	1	0,85
1111	5	1	новое	пв	Да	открыты	1	1,01
1202	5	5	новое	пв+шкаф	Нет	открыты	2	1,01
4121	5	2	новое	пв	Нет	открыты	1	1,11
1172	9	2	старое	пв+шкаф	Нет	открыты	2	1,15
1191	5	5	новое	пв+шкаф	Да	открыты	3	1,18
2151	9	3	старое	пв+шкаф	Нет	открыты	1	1,34
1181	9	5	старое	пв	Нет	открыты	2	1,47

\*пв – природная вентиляция; пв+шкаф – природная вентиляция с вытяжными шкафами; мех+шкаф– постоянно работающий вытяжной вентилятор с вытяжным шкафом.

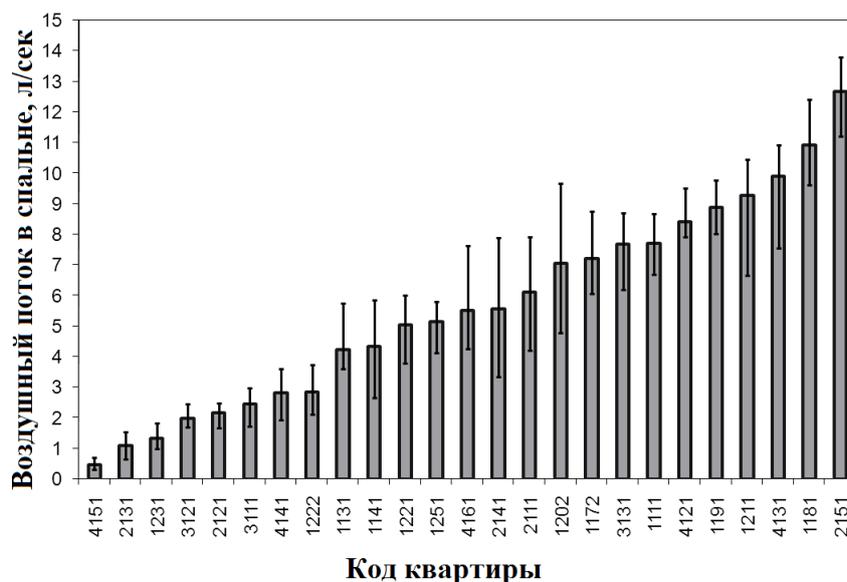


Рисунок 8.8 Среднее значение воздушного потока в спальнях и их изменения во время измерительного периода.

Поскольку все исследуемые комнаты имеют различные размеры, сравнивать их можно по кратности воздухообмена (см Рисунок 8.9 слева) или исходя из интенсивности воздухообмена на одного жителя (см Рисунок 8.9 справа). По стандарту кратности воздухообмена EVS-EN 15251:2007 ко II классу теплового комфорта относятся 4 % и к III классу 28 % спален, в которых было проведено исследование. По интенсивности воздухообмена на одного человека по тому же стандарту II классу соответствует 16 % и III классу 36 % спален. Исходя из норм вентиляции, указанных в стандарте EVS 845-1:2004, у 20% спален результаты попадают в допустимый промежуток.

Рисунок 8.8 показывает, что разница воздухообмена в исследованных квартирах достигает 27. Причины такой разницы могут скрываться в техническом состоянии здания или в методах использования его людьми. Рисунок 8.9 показывает влияние замены окон на воздухообмен. Средняя кратность воздухообмена в квартирах с замененными окнами составляет  $0,45 \text{ ч}^{-1}$  и средняя интенсивность воздушного потока на человека  $3,2 \text{ л/сек}$ . В квартирах с незамененными окнами эти показатели соответственно  $0,9 \text{ ч}^{-1}$  и  $4,5 \text{ л/сек}$ . Следует отметить, что при нахождении средних значений для квартир с замененными окнами, не учитывались показатели квартир с установленными воздушными клапанами.

При исследовании 5-этажных кирпичных домов, проведенном в Польше (Барановский 2005), было обнаружено, что в условиях естественной вентиляции кратность воздухообмена в весенний период в зависимости от внешней температуры и ветра, может варьироваться в пределах от  $0,6 \text{ ч}^{-1}$  до  $1,2 \text{ ч}^{-1}$ . С одной стороны, это указывает на обнаруженную в данном исследовании изменчивость природной вентиляции, а с другой, доказывает, что в некоторых квартирах система естественной вентиляции работает должным образом или большие утечки воздуха через внешние границы могут гарантировать рекомендуемый воздухообмен.

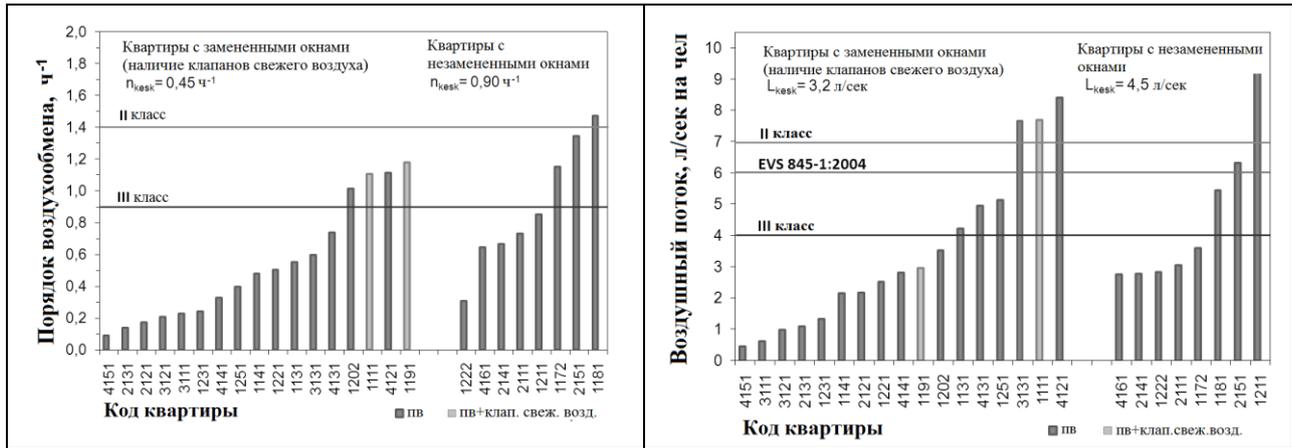


Рисунок 8.9 Соответствие кратности воздухообмена в спальне (слева) и интенсивности воздушного потока на человека (справа) поставленным критериям для различных типов окон.

Вентиляционная система исследованных домов состоит из вентиляционных каналов: главного и отдельных каналов. Системы с главным каналом встречаются в 9-этажных домах, где вентиляционная труба выше, чем в 5-этажном доме, что гарантирует больший воздухообмен. Превосходство объединенного канала показывают найденные кратности воздухообмена (см Рисунок 8.10 слева). Исследованные в спальне по отдельности средняя кратность воздухообмена для дымоходного канала  $0,5 \text{ ч}^{-1}$ , а главного канала  $1,2 \text{ ч}^{-1}$ . Исследования панельных домов, проводившиеся в Эстонии ранее (Кыйв & Лойгу 2008 и Каламеес и др. 2009) показывают, что самые большие проблемы с воздухообменом на самых высоких этажах. Настоящее исследование воздухообмена в кирпичных домах такого не подтверждает (Рисунок 8.10 справа). Оказывается, что в наихудшем состоянии находятся квартиры на средних этажах. Кратность воздухообмена на низком этаже  $0,66 \text{ ч}^{-1}$ , на среднем этаже  $0,5 \text{ ч}^{-1}$  и на самом высоком  $0,77 \text{ ч}^{-1}$ .

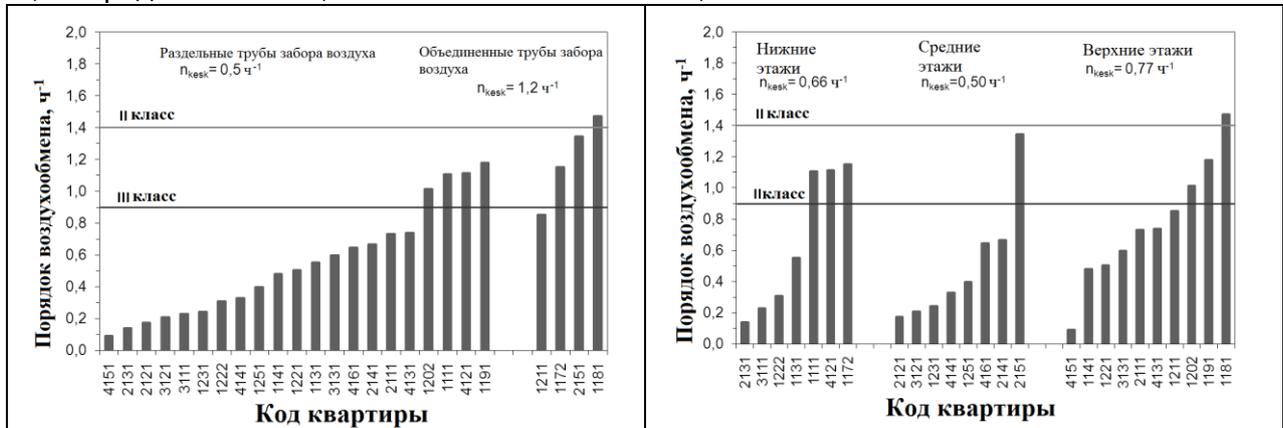


Рисунок 8.10 Влияние типа вентиляционной системы (слева) и высоты этажа (справа) на воздухообмен.

### 8.2.3 Воздухообмен на кухне и в ванной (санитарной комнате)

Для оценки вентиляционной системы кирпичного дома внешняя температура принималась равной  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ . В данной исследовательской работе измерения интенсивности воздушного потока проводились при температуре от  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  и скорости ветра  $0-8 \text{ м/сек}$ . При более низких температурах на улице, разница внешней и внутренней температуры больше и давление всасывания вентиляции растет. Исходя из этого, можно сравнить интенсивность воздушного потока со стандартами и нормами. Для уменьшения влияния погодных условий в некоторых квартирах производились повторные замеры и были записаны средние значения показаний интенсивности воздушного потока. Результаты см. в Таблица 8.10. В некоторых квартирах не было возможности измерений в санитарных комнатах, поскольку вытяжные элементы закрыты навесными потолками или

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

воздухонепроницаемым потолком, в худшем случае. Кроме того, многие владельцы квартир объединили вытяжку с вентиляционной решеткой. Сопротивление воздушному потоку вытяжки слишком высокое, что делает воздухообмен в нерабочем состоянии практически не существующим. Вытяжку требуется вывести прямо на улицу, а вентиляционную решетку оставить открытой.

Поскольку существует серьезное различие воздухообмена в различных кирпичных домах (см. Рисунок 8.8), интенсивность воздушного потока квартир также в различных домах различна (см. Рисунок 8.11 слева). Среднее значение измеренного воздушного потока 9,0 л/сек. В кухнях, где вентиляционная решетка не закрыта, среднее значение вытяжки 5,0 л/сек (см. Рисунок 8.11 справа). Граничным нормам стандарта о проектировании вентиляции EVS 845-1:2004 8 л/сек отвечают 8 % квартир, участвующих в исследовании. При наличии только естественной вентиляции уровню стандарта не соответствует ни одна квартира (согласно стандарту EVS-EN 15251:2007 III классу соответствует воздушный поток в 14 л/сек). Квартиры с вытяжкой над плитой, соответствующие III классу, не имеют особых проблем.

Таблица 8.10 Измерения вытяжки воздушного потока на кухне и в ванной.

Квартира	Этажность	Этаж	Наличие кухонной вытяжки	Вентиляция	Кухня, л/сек	Ванная, л/сек	WC, л/сек	Вытяжка, л/сек
1111	5	1	Нет	пв	13,5	0*		13,5
1131	5	1	Да	пв	6,5	0*		6,5
1141	5	5	Нет	пв	3,5	10,5	4,5	18,5
1151	9	7	Да	пв	-	-	12	12
1162	9	5	Да	пв	-	14	11,5	25,5
1171	9	6	Да	пв	0	7	1	8
1172	9	2	Да	пв	-	3,5	4,5	8
1191	5	5	Да	пв	6	4*		10
1221	3	3	Да	мех	-	17*		17
1222	3	2	Да	пв	-	3*		3
1231	5	4	Да	пв	-	5	-	5
1251	5	3	Нет	пв	1	0*		1
2121	4	3	Да	пв	1	1	0	2
2131	5	2	Нет	пв	8	-	8	16
2151	5	3	Да	пв	-	8	0	8
3111	3	2	Да	пв	-	-	1	1
3121	5	4	Нет	пв	7	-	4	11
3131	5	5	Нет	пв	6	3	3	12
3141	5	4	Да	пв	-	3	3	6
4122	5	2	Нет	пв	5	2*		7,0
4131	5	5	Нет	пв	2,5	3,3	3	8,8
4141	5	4	Нет	пв	3,3	4,5*		7,8
4151	5	5	Да	пв	2	-	1	3,0
4161	5	4	Да	пв	-	2,3	3	5,3

\* Туалет и ванная совмещены.

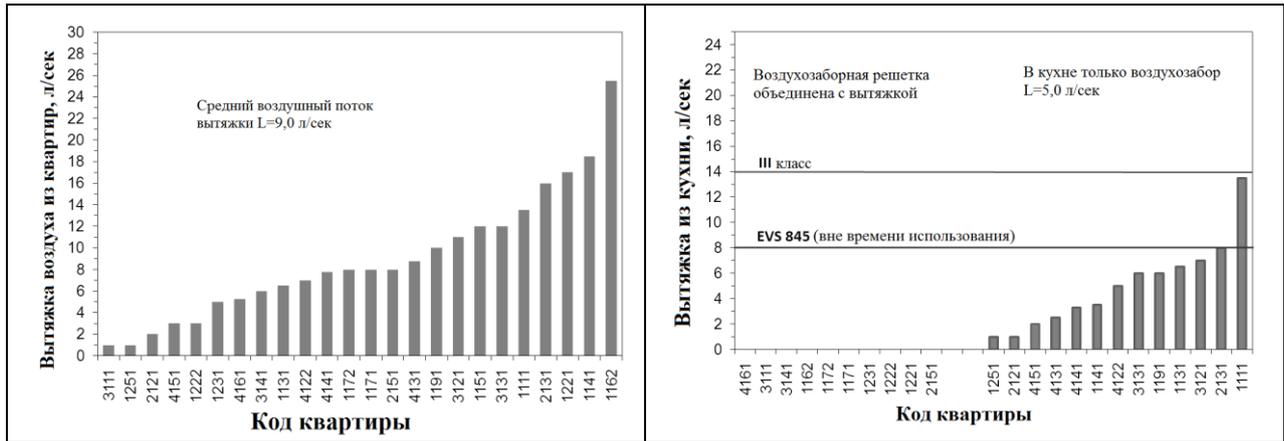


Рисунок 8.11 Вытяжка воздушных потоков из всей квартиры (слева) и из кухни (справа).

В квартирах, где санитарные комнаты (ванная и туалет) объединены, среднее измеренное значение воздушного потока 4,4 л/сек (см. Рисунок 8.12). Среднее значение в ванной 3,8 л/сек (Рисунок 8.12 слева) и в туалете 5,3 л/сек (Рисунок 8.12 справа). По стандарту EVS-EN 15251:2007 II классу отвечает 4 % ванн и 8 % туалетов. III классу соответствует 13 % как ванн, так и туалетов. Усложняет ситуацию только то, что во многих квартирах трубы воздухозаборов закрыты или забиты, из-за чего вытяжки воздуха практически не происходит. В комнатах, оснащенных вытяжными вентиляторами, должен достигаться уровень III класса, однако в ходе измерений выяснено, что многие вентиляторы недооценены или засорены.

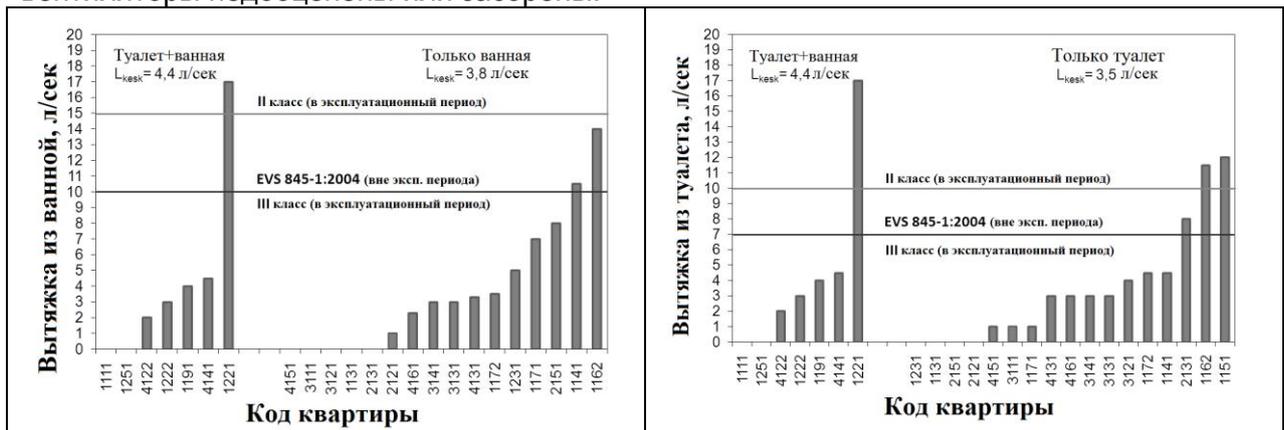


Рисунок 8.12 Вытяжка воздушных потоков из ванной (слева) и туалета (справа).

**С ПОМОЩЬЮ ТОЛЬКО ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В СТАРЫХ ДОМАХ НЕВОЗМОЖНО ДОБИТЬСЯ ЖЕЛАЕМОГО ВОЗДУХООБМЕНА!**

## 9 Микробиологическое исследование воздуха внутри помещения и строительных материалов

Техническое состояние дома и микроклимата тесно связаны, хотя точное соотношение ещё не определено. Причин достаточно много, например:

- проектирование зданий с учетом условий окружающей среды (содержание воды в почве и её движение, строительство или снос других зданий и др.);
- свойства влаго- и теплопроводности используемых в строительстве материалов не отвечают параметрам, необходимым при эксплуатации;
- недостаточное движение воздуха и воздухообмен, изменение интенсивности;
- изменения, связанные со старением здания и свойствами используемых материалов;
- низкое качество строительной технологии и используемых материалов;
- незнание свойств используемых материалов;
- существенные различия между спроектированным и используемым на практике;
- осуществление ремонтных работ фасада, которые связаны с изменением режимов влажности и тепла (замена окон, другие фасадные работы);
- своеобразность конструкции крыши и изменения в ходе процесса ремонта;
- различия эффективности отопления на разных этажах;
- внутренние работы самих жильцов, которые влияют на изменение воздушного потока, равновесие тепла и влаги (в основном, изменение использования комнат);
- и др.

В связи с этим, в ходе данного исследования проведен ещё и анализ находящихся в воздухе грибковых организмов.

В домах, подверженных воздействию влаги есть следующие микроорганизмы (так называемые индикаторы вреда от влаги):

- При высоком уровне влажности:
  - *Aspergillus fumigatus*,
  - *Exophiala*,
  - *Phialophora*,
  - *Trichoderma*,
  - *Ulocladium*,
  - *Stachybotrys*,
  - *Fusarium*,
  - *Kiirikseened*,
  - Дрожжевые грибки (особенно *Rhodotorula*),
  - Грамм-негативные бактерии (особенно *Pseudomonas*).
- При среднем уровне влажности:
  - *Aspergillus versicolor*.
- При маленьком уровне влажности:
  - *Aspergillus versicolor*,
  - *Eurotium*,
  - *Penicillium* (особенно *P.chrysogenum*, *P.aurantiogriseum*),
  - *Wallemia*.

Воздух в комнате содержит биологический материал, источником которого могут стать животные (грызуны, домашние животные, птицы, членистоногие), растения (пыльца), микроорганизмы и прочая человеческая деятельность (уборка, движение), распространяющий по всему помещению аллергены. Подобное движение аллергенов может привести к аллергии или тяжелой астме. Постоянное воздействие пыли в доме может вызывать признаки аллергии даже у совершенно здоровых людей. Микроорганизмы (бактерии, вирусы, грибки) распространены в комнатах, где много органического материала (растения, древесина, продукты питания, настенные покрытия).

Распространению микроорганизмов способствует теплая и влажная среда, из-за строительных ошибок и неправильного режима воздуха. Источников микроорганизмов

может быть и внешний воздух, особенно летом и осенью. Содержание микроорганизмов в воздухе помещения может стать причиной, как диагностируемых заболеваний (инфекции), так и расплывчатых симптомов. Основными симптомами аллергического ринита могут быть раздражения (покраснение, зуд, сухость), кашель и затрудненное дыхание. Проблемы со здоровьем вызывают только те микроорганизмы, которые выделяют токсины (Indermitte 2005).

## 9.1 Анализ проб, взятых с поверхности материалов

На поверхности строительных конструкций, материалов и в воздухе всегда есть микроорганизмы. Стерильной среды не существует, если не учитывать некоторые специальные помещения. Появление некоторых микроорганизмов на поверхностях материалов может вызывать повышенный риск здоровью.

Пробы плесени брали с помощью клейкой ленты с тех материалов, где было замечено изменение цвета поверхности. В ходе исследования наибольшая частота появления грибка из семейства *Cladosporium*, который знаком в Эстонии по обычным загрязнениям воздуха. При благоприятных условиях в домашних условиях они могут распространяться довольно быстро, и вызывать дискомфорт от обычного раздражения глаз и дыхательных путей до астмы.

Грибки из семейства *Cladosporium* можно охарактеризовать следующим образом:

- Распространение: везде, космополит, около 28–40 видов, наиболее распространенный вид.
- Площадь появления: различна: почва, листья растений, разлагающиеся органические вещества и продукты питания.
- Виды распространения: сухие споры, легкое выделение. Распространяются ветром.
- Аллерген: аллергия I типа – сенная лихорадка, простуда, астма.
- Аллергия III типа – повышенная чувствительность (например, гиперчувствительность к плесени на стенах). Раздражение глаз и дыхательных путей.
- Патогенность: не всегда.
- Токсичность: кладоспорин, эмодин (средней токсичности).
- Рост в помещении: на различных материалах – текстиль, древесина, стекло, каменные материалы. Рост начинается при 0 °C . Максимальный рост при 25 °C. Рост останавливается при температуре выше 35 °C . Оптимальная потребность влаги – 80% относительно влажности воздуха.

Образцы грибков других семейств обладали маленькой частотой появления (Таблица 9.1).

Таблица 9.1 Частота появления грибков на пробах материалов.

Найдены:	Частота
<i>Cladosporium spp.</i>	11
<i>Aspergillus spp.</i>	3
<i>Phoma spp.</i>	1
<i>Geomyces spp.</i>	1
<i>Paecilomyces spp.</i>	1
<i>Phialophora spp.</i>	1
<i>Fusarium spp.</i>	1
неидентифицированные мицелий и споры	2
пыль	1
грязь, бактерии	1
водоросль	1
Всего	24

Присутствие грибка *Cladosporium* не имеет непосредственной связи с уровнем относительной влажности в квартирах. В сравнении с панельными домами найдены грибки тех же типов и в том же количестве.

## 9.2 Анализ проб воздуха

Часто вредные воздействия грибков не заметны глазу, они могут прятаться под полом, в стенах и потолке. Грибковые споры и выделяемые ими микотоксины распространяются по воздуху и частично попадают в организм человека, нарушая работу дыхательных путей и слизистой оболочки (Indermitte 2008).

В выбранных квартирах (21) проведен анализ наличия грибков и бактерий. Пробы воздуха брали с помощью оборудования Biotest HYCON Airsampler RCS. Использовали питательный агар Y и F, время сбора проб занимало 4 минуты, время инкубации 8 дней при температуре 21 °С. После инкубации питательного агара, колонии были посчитаны, выбраны единицы для расчета (PMÜ/CFU). Виды грибковой плесени не были идентифицированы. Время сбора проб длилось с января до марта 2009 года.

В Эстонии отсутствуют численные нормы для грибковой плесени в помещении, поэтому используются граничные нормы Финского Института Охраны Гигиены Труда (Husman и др. 2002) определения количества грибковой плесени в воздухе:

- В зимний период до 10–500 PMÜ(CFU)/м<sup>3</sup>;
- В теплое время до 10–2500 PMÜ(CFU)/м<sup>3</sup>.

Результаты измерений содержания грибков в воздухе см. Рисунок 9.1.

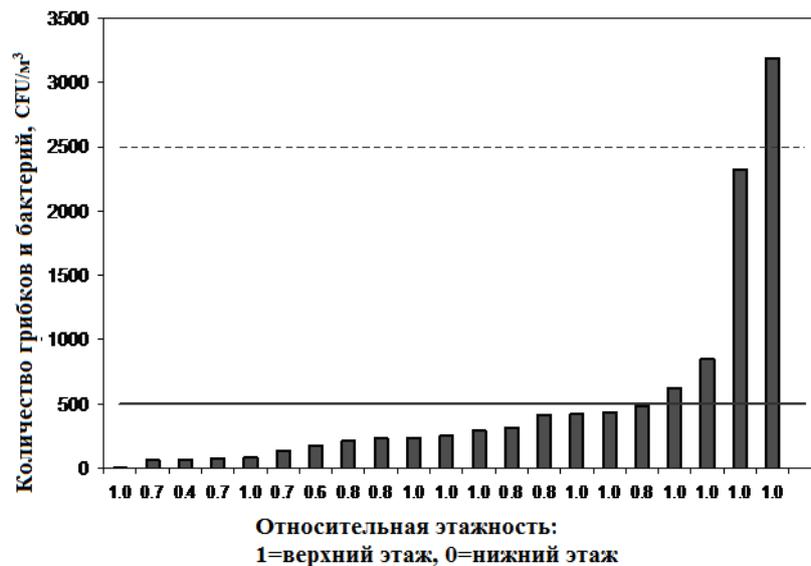


Рисунок 9.1 Количество грибков и бактерий в воздухе кирпичных домов.

В основном, проблемы есть в квартирах на верхних этажах (меньший воздухообмен по средством естественной вентиляции, мостик холода при соединении стены и перекрытия крыши). В проблемных квартирах высокая влажностная нагрузка: средняя добавочная влажность 5 г/м<sup>3</sup> (>500 PMÜ/м<sup>3</sup>) и 4 г/м<sup>3</sup> (<500 PMÜ/м<sup>3</sup>). Содержание бактерий и грибков в воздухе квартир с видимыми повреждениями от грибков и без них, отличалось не значительно. Поэтому нельзя только на основе проб воздуха точно сказать, есть в квартире вред от плесени и грибков или нет. Однако существуют и видимые доказательства присутствия плесени на материалах и в углах потолка. Это указывает на проблемы с влажностью, которые связаны с ограждающими конструкциями здания, а не внутренними параметрами.

По сравнению с панельными домами, среднее количество микроорганизмов в пробах воздуха кирпичного дома меньше. Основной причиной этого является меньшее количество мостиков холода на ограждающих конструкциях.

Из результатов анализа проб, взятых с поверхности материалов и из воздуха можно сделать выводы, что проблемы с влажностью в кирпичных и панельных домах одинаковые, однако связаны не столько со свойствами ограждающих конструкций, сколько с микроклиматом выбранных квартир. Больше проблем с плесенью замечено на верхних этажах кирпичных домов, где не проведен ремонт вентиляции.

В Эстонии не проводились обширные исследования по определению внутреннего воздуха помещений, которые могли бы предоставить данные о появлении плесени в различных типах домов. Наиболее развернутое исследование проведено Институтом охраны здоровья в Тартуском Университете в рамках международного исследования ECRHS (European Community Respiratory Health Survey), в ходе которого определялись различные параметры микроклимата 200 домов Эстонии. Исследование проведено в период 2001-2002 г.г. и общее количество грибов в домах 179 (Indermitte 2008). Сравнивая результаты предыдущего исследования (см. Рисунок 9.2 слева) с результатами кирпичных домов (см. Рисунок 9.2 справа) о грибах в воздухе помещения, видно, что в старых кирпичных домах воздух загрязнен бактериями больше, чем в среднем в Эстонии.

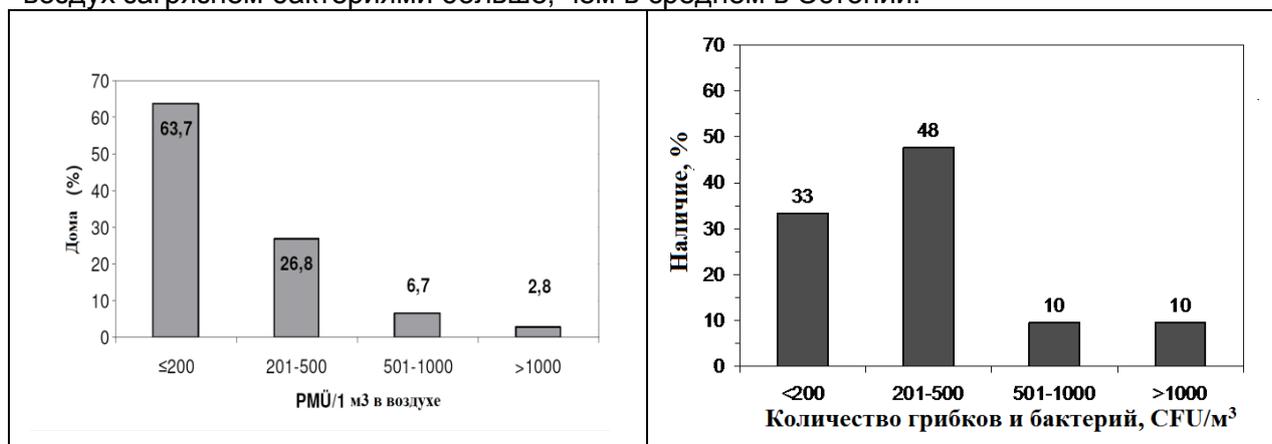


Рисунок 9.2 Наличие плесени в воздухе по исследованию ECRHS (слева) и по исследованию кирпичных домов (справа).

### 9.3 Анализ солей, движущихся с водой по кирпичу

В кирпичной кладке могут встречаться многие растворенные или гидратированные соли, которые при кристаллизации становятся белым или желтым порошком на каменном материале. Основные соли, которые движутся с водой по кладке: NaCl, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, (CaCO<sub>3</sub>), MgSO<sub>4</sub>. Их наличие может быть связано с материалом раствора, загрязнением воздуха (в том числе морскими солями) или солями из почвы.

По точной схеме взятые пробы исследованы методом рентгеновской дифракции при помощи прибора BRUKER AXS D5005.

Вообще, в кирпичах движущихся солей не обнаружено. Однако в пробах было слишком мало NaCl.

Также представлены рентгеновские спектры исследованных образцов и расчеты на их основе.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

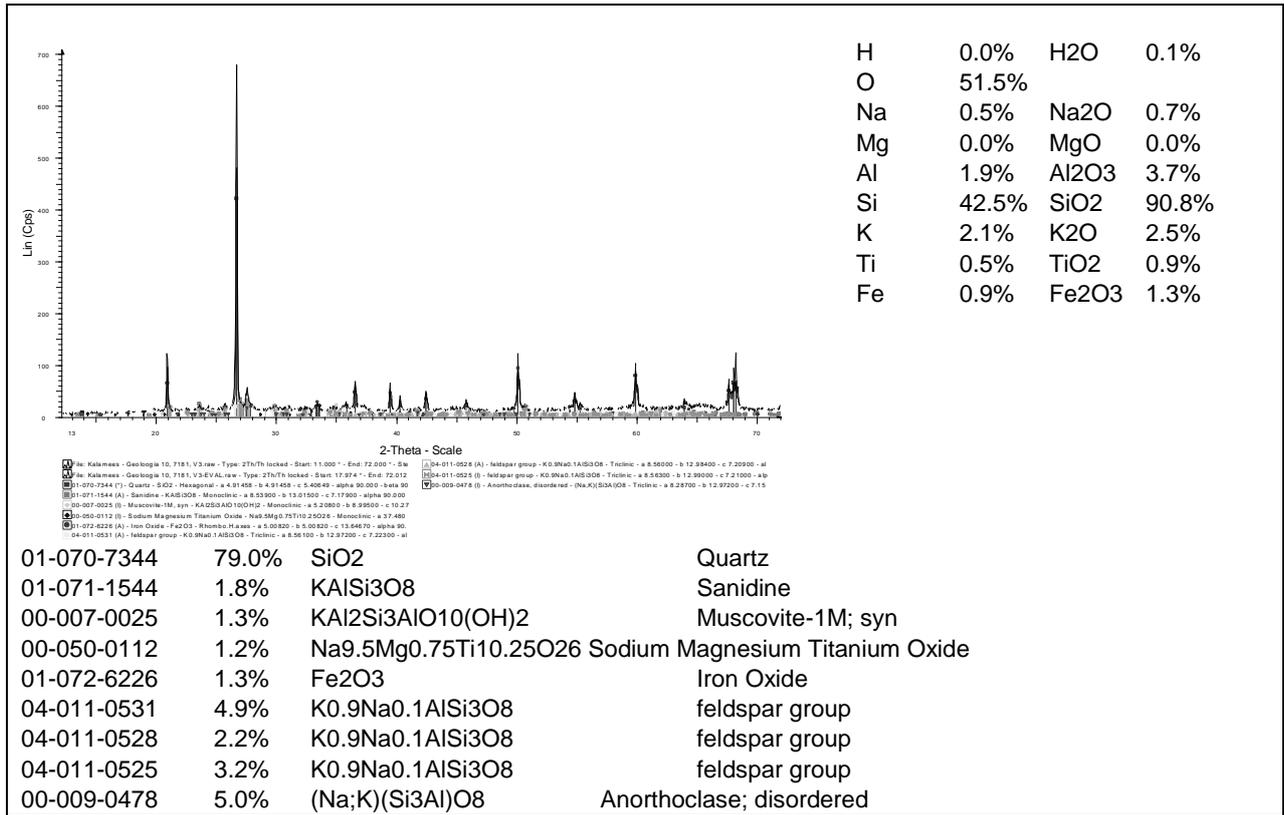


Рисунок 9.3 Рентгеновские спектры фасадного кирпича дома 2150 и расчеты, сделанные на их основе (7181, V3-EVAL.raw).

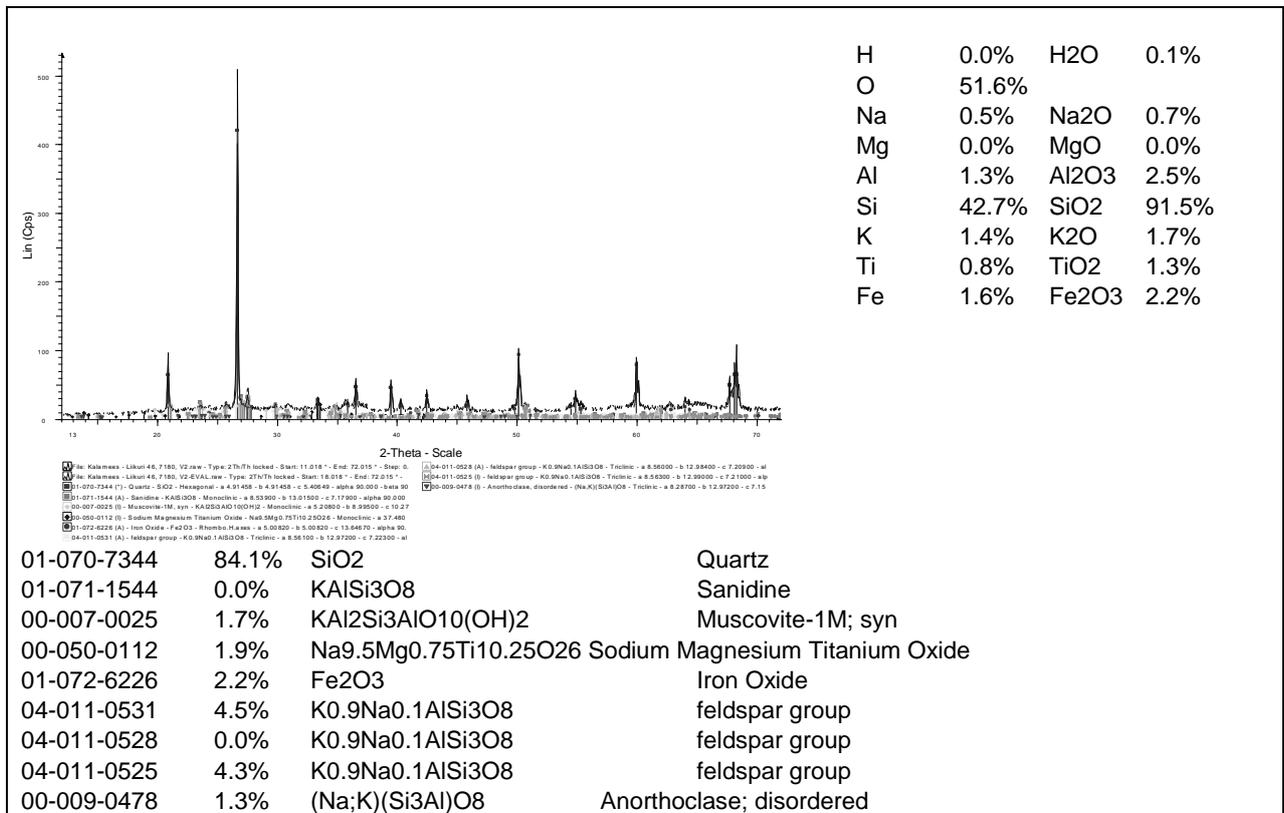


Рисунок 9.4 Рентгеновские спектры фасадного кирпича дома 1240 и расчеты, сделанные на их основе (7180, V2-EVAL.raw).

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

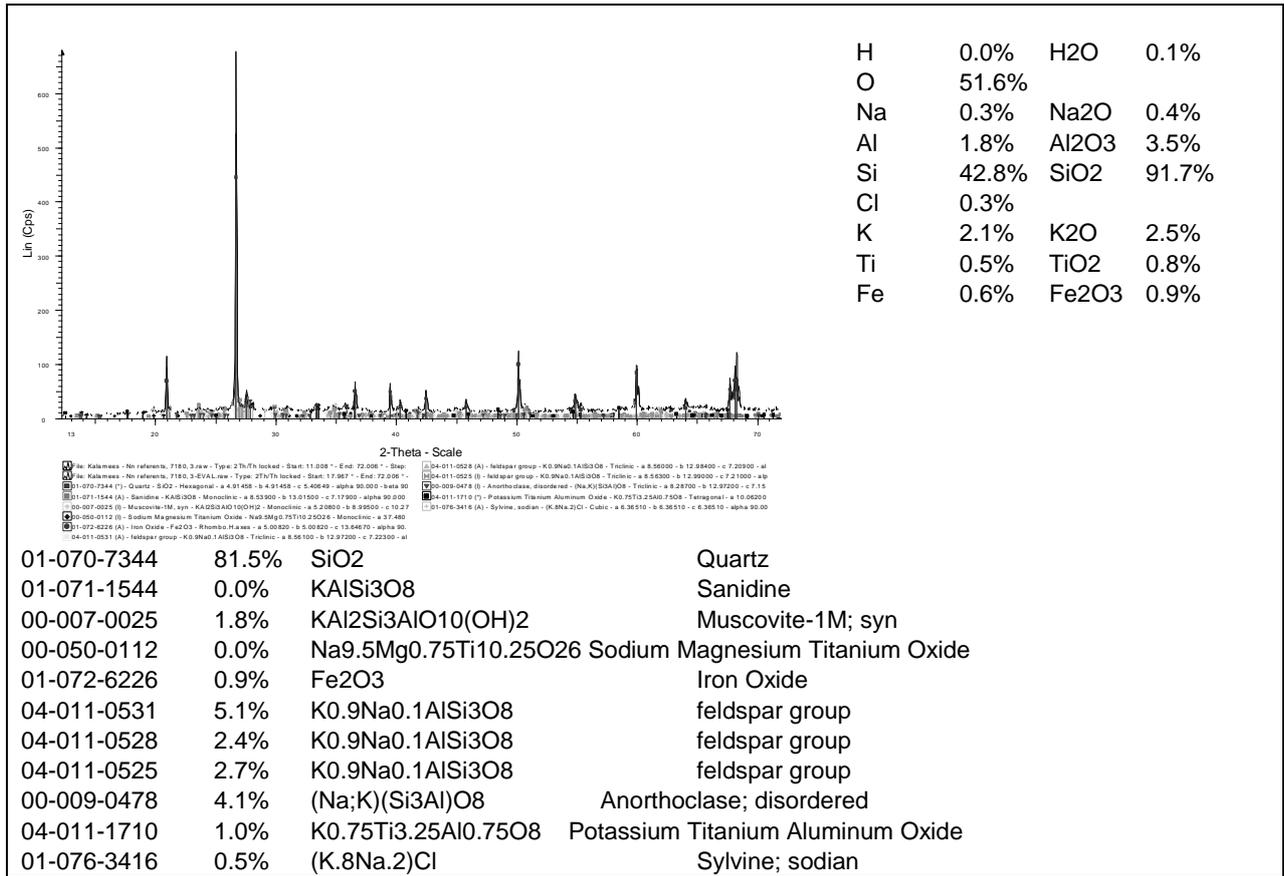


Рисунок 9.5 Рентгеновские спектры фасадного кирпича дома 1240 и расчеты, сделанные на их основе (7180, 3-EVAL.raw).

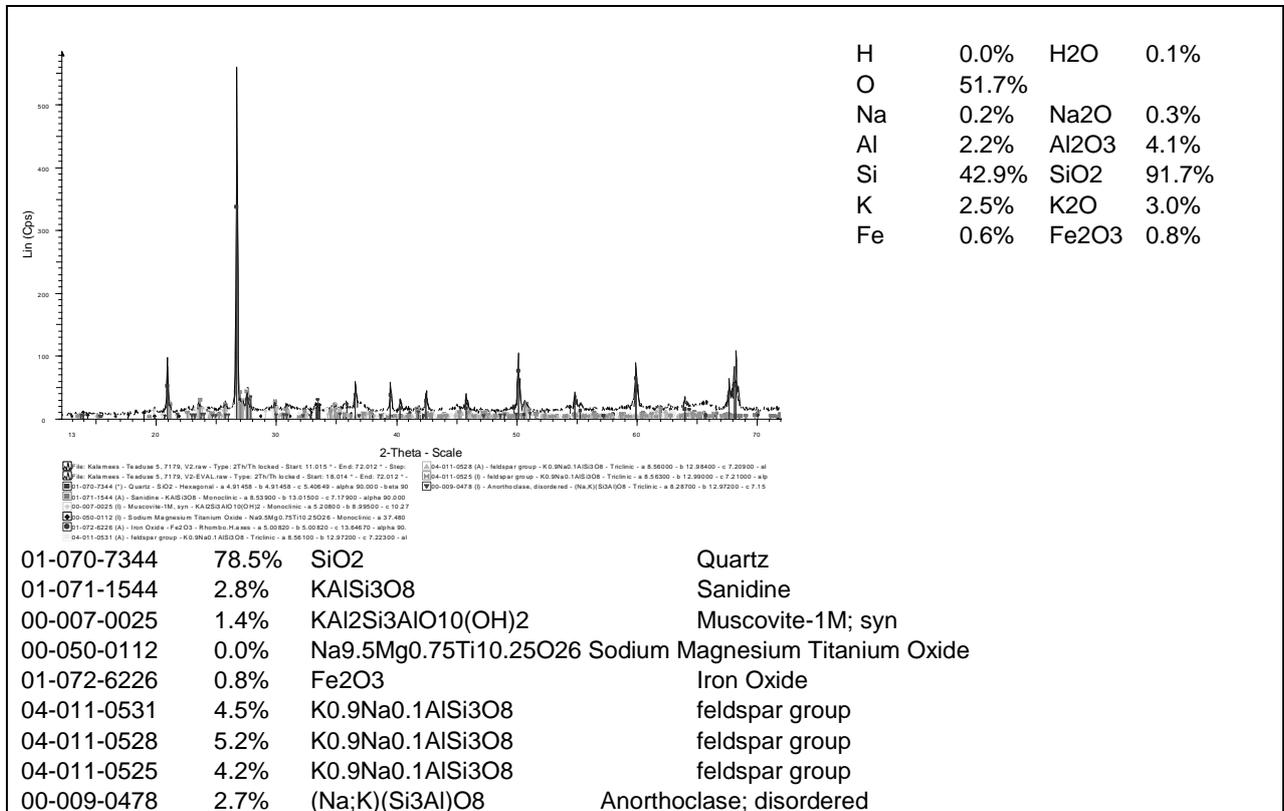


Рисунок 9.6 Рентгеновские спектры фасадного кирпича дома 1140 и расчеты, сделанные на их основе (7179, V2-EVAL.raw).

## 10 Состояние техносистем

При оценке состояния техносистем в исследуемых квартирах используются обзоры на месте, фотографии и анкеты состояния техносистем.

### 10.1 Вентиляция

#### 10.1.1 Характеристика вентиляционной системы кирпичных домов

В кирпичных домах, построенных до 1992 года естественная вентиляционная система. Свежий воздух попадает через неплотные окна и ограждения, а его вытяжка происходит через построенный кирпичный канал. Естественная вентиляция происходит за счет разницы давлений между вытяжными элементами и верхней частью канала. Разница давлений воздуха связана с разницей температур: высокой температурой в районе вытяжки и низкой температурой воздуха снаружи. Также на естественную вентиляцию влияют ветер, высота канала, местоположение здания и время года. Поскольку наружная температура, а также направление и сила ветра часто изменяются, естественная вентиляция не может обеспечить стабильный воздухообмен круглый год.

В кирпичных домах существуют две распространенные типовые системы вентиляционных каналов. В домах с этажностью не выше 6 этажей в каждой квартире разделенные вентиляционные каналы. В 9-этажных кирпичных домах на 2 двух верхних этажах разделенные каналы, а на остальных этажах вытяжки объединены с главным каналом. Основные решения вентиляционной системы см. Рисунок 10.1.

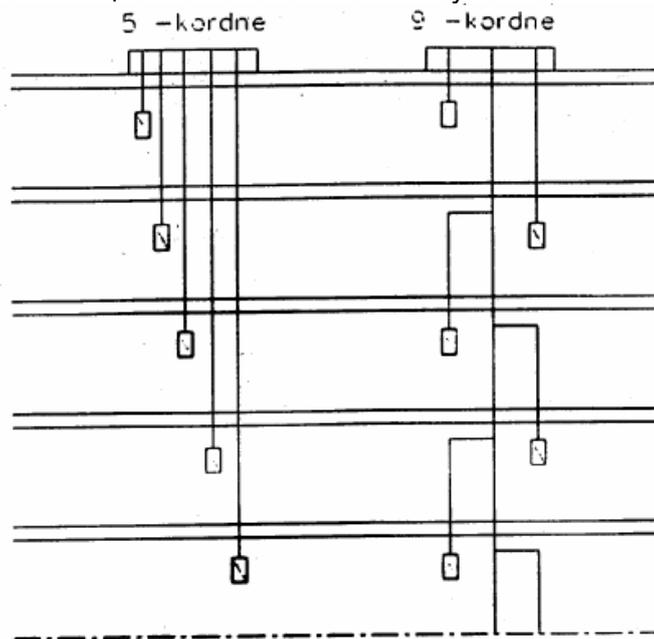


Рисунок 10.1 Схемы каналов естественной вентиляции 5 и 9-этажных домов (Kõiv 2007).

По проекту вытяжка воздуха из квартир происходит в кухнях и санитарных комнатах. В некоторых домах вытяжки присутствуют также в спальнях и гостиных комнатах. По некоторым решениям санитарных комнат вытяжки расположены либо в ванной, либо в туалете. Если вытяжка воздуха происходит только в одном из санитарных помещений, то воздухообмен в другом происходит на базе перемещения воздуха. В зависимости от типа дома в квартире могут быть 1–3 вентиляционные трубы. Вентиляционные трубы из кирпича имеют размеры 140x140 мм или 140x270 мм, размеры главного канала 270x270 мм или 270x140 мм. В случае, когда вентиляционная труба не находится непосредственно на стене комнаты с вытяжкой, используются угловые жестяные вентиляционные каналы (например, с размерами 160x160 мм). Примеры решений различных вентиляционных систем см. Рисунок 10.2.

Вентиляционная система кирпичных домов измерена при внешней температуре +5 °С. В случае естественной вентиляции из-за уменьшения ветра и высоких температур уровень воздухообмена снижается. Во многих кирпичных домах вентиляционная система повреждена в ходе перестройки или изначально построена плохо, из-за чего не может обеспечивать достаточного воздухообмена в холодную погоду.

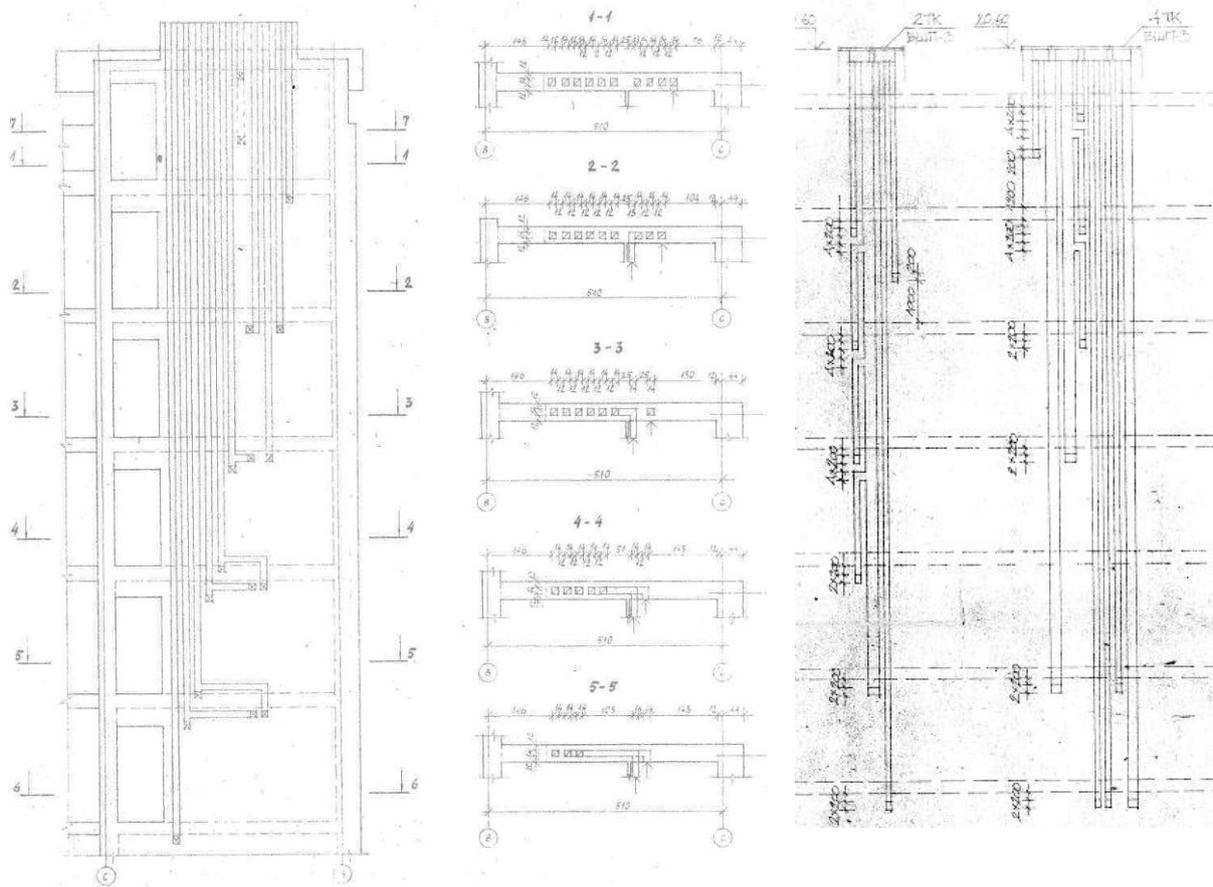


Рисунок 10.2 Схема вентиляционных труб 6-этажного 1-подъездного дома из силикатного кирпича (слева); вентиляционная система 7-этажного кирпичного дома с главных каналом (справа).

### 10.1.2 Техническое состояние вентиляции

Для кирпичных домов спроектирована система естественной вентиляции. Вытяжка происходит из кухни или санитарных комнат, а свежий воздух попадает через окна и неплотные ограждения. В условиях естественной вентиляции воздухообмен ограждающих конструкций здания (в первую очередь, окна и наружные двери) зависит от их воздухопроницаемости, разницы внешней и внутренней температур, силы и направления ветра, а также от высоты и состояния вертикальных каналов. Воздухообмен в квартирах гарантирован проектным решением ограждающих конструкций и состоянием вентиляционной системы. Также известно, что качество кирпичных домов оставляет желать лучшего и поэтому вентиляция не работает должным образом.

В 54% случаев исследуемых домов имеем дело с естественной вентиляцией, которая оснащена ещё и механической вытяжкой. 35% только естественная вентиляция, а в 5% случаев механическая вытяжка. Как механическая вытяжка и воздухозабор, так и клапаны свежего воздуха механической вентиляции в стене представлены в одинаковых случаях.

Погрешности во время строительства выявляются в низкой герметичности вентиляционных каналов и чрезмерной шершавости их внутренней поверхности (см. Рисунок 10.3). Поскольку высота вентиляционного канала верхнего этажа не позволяет достаточной вытяжки, по проекту верхние этажи должны быть снабжены вытяжными

вентиляторами. Из-за плохого качества современных вентиляторов, они были удалены после кратковременного срока использования или не были установлены вовсе.

Приток компенсированного воздуха в кирпичных домах замечен в основном за счет неплотностей окна. Нынешняя замена окон плотными деревянными или пластиковыми означает значительное снижение потока компенсационного воздуха. Таким образом, установка новых окон является одной из основных причин уменьшения воздухообмена. Он также создает проблемы при уплотнении границ, снижая инфильтрацию воздушного потока, который помогает гарантировать воздухообмен. Следовательно, причиной плохого вентилирования могут быть и сами люди, меняющие проектные решения. В дополнение можно упомянуть и об объединении кухонной вытяжки и вытяжного канала с неправильной вентиляционной трубой, что в итоге может привести к объединению всех квартир с одной трубой. Также проблемным является объединение вытяжной решетки с кухонной вытяжкой. Подобное действие приводит к положению, когда вне времени использования вытяжка не функционирует должным образом, поскольку ее сопротивление при естественной вентиляции чересчур высокое. Ещё одной причиной проблем являются неплотные соединения вытяжки с вентиляционной трубой, см. Рисунок 10.7 слева.

Большие проблемы и с состоянием вытяжных элементов. Установленные в кирпичных домах вытяжные решетки занимают небольшую площадь, поэтому имеют большое сопротивление движению воздуха. Особенно проблематичным может оказаться использование оригинальных решеток в случае механической вентиляции, поэтому их замена может стать необходимой при реновации. Зачастую вытяжные элементы вообще отсутствуют, закрыты или не установлены обратно после чистки труб (см Рисунок 10.6 слева и Рисунок 10.7 справа). Часто по причине снижения воздухообмена в санитарных комнатах устанавливаются вытяжные вентиляторы, которые увеличивают сопротивление в сравнении с решеткой. Это уменьшает воздухообмен в условиях естественной вентиляции, когда вентилятор не работает (см. Рисунок 10.6 справа). В случае, когда вентилятор в санитарной комнате работает от освещения, в нерабочее время снижается воздухообмен, а значит, вентиляция обеспечивается только во время использования помещения.

Отдельной проблемой является то, что в домах не происходит систематической очистки вентиляционных труб, вытяжных элементов и прочего вентиляционного оборудования. В результате чего снижается воздухообмен, в вентиляционной системе образуется плесень, микробы, а также поселяются птицы и грызуны (см. Рисунок 10.4 и Рисунок 10.5). Вентиляционный канал в квартире также в плохом состоянии, деформирован, вовсе удален или не имеет возможностей очистки. Единственное решение заключается в том, чтобы заменить существующие каналы новыми герметичными и округлыми, имея в виду, что реновирование вентиляционной системы разумнее начинать с выяснения существующего положения, исследования вентиляционного канала или картографии. Дальше необходимо очистить и уплотнить систему или при необходимости заменить часть системы. Важно также контролировать, с правильным ли вентиляционным каналом объединены квартиры.

По всем вышеперечисленным причинам естественная вентиляция не обеспечивает нормального воздухообмена круглый год. Плохо работающая вентиляция или её отсутствие означает, что загрязненный воздух не удаляется из помещения в полном объеме. Тогда не гарантирована циркуляция воздуха в квартире или обеспечение хорошего уровня микроклимата. Из-за отсутствия вентиляции в зданиях может начать разрастаться плесень и продукты ее распада, что приводит к «синдрому больного здания».



Рисунок 10.3 Качество строения вентиляционных каналов плохое, стены чересчур шероховатые (слева и справа).



Рисунок 10.4 Птицы строят гнезда на вентиляционных трубах, потемнение воздушных каналов (справа) или использование труб не по назначению (слева).



Рисунок 10.5 В вытяжках квартир годами скопленная грязь и пыль (справа) и неухоженное вентиляционное оборудование (слева).



Рисунок 10.6 Вытяжные отверстия испорчены (слева) и новый установленный вытяжной вентилятор (справа).

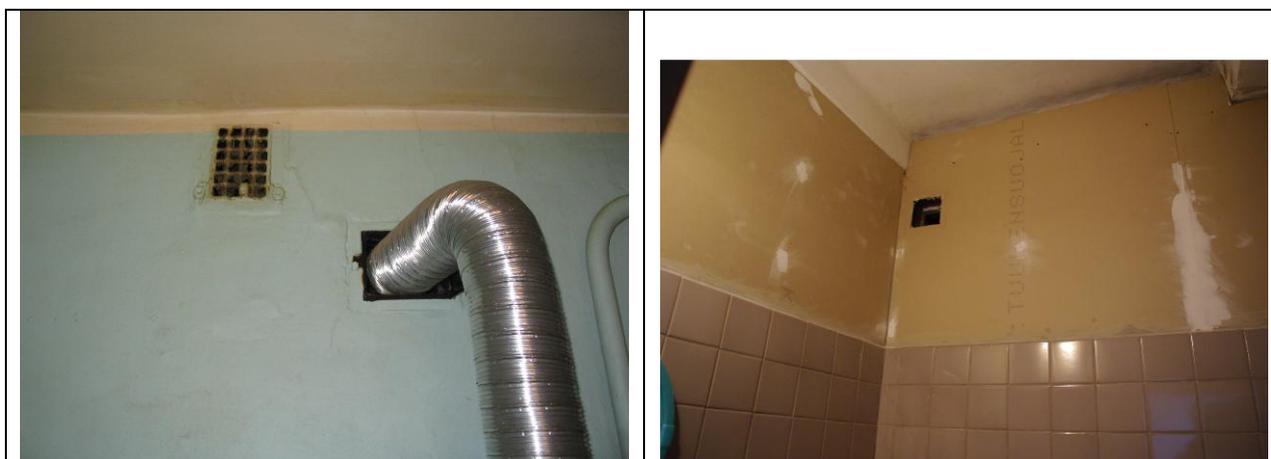


Рисунок 10.7 Вытяжная труба закреплена неплотно (слева) и удаленные вытяжные элементы (справа).

### 10.1.3 Отопительная система и теплоснабжение

В исследуемых жилищах источником тепла в 78 % является центральное отопление, в 8 % электрическое отопление (прямое электрическое отопление или теплонасос), в 8% отопление на масле и в 6 % газовое отопление. В большинстве зданий (60%) была отопительная система с одной трубой. У трех квартир, участвовавших в исследовании было прямое электрическое отопление (радиатор, отапливаемый пол, теплонасос воздух-воздух). Чугунные радиаторы есть в 65 % квартир, жестяные радиаторы в 30 % и в 5 % стоят как чугунные, так и жестяные радиаторы. Отдача тепла регулируется термостатными вентилями в 25 % квартир, обычные шаровые краны имеются у 10 % ответивших и у 65 % ответивших отсутствует возможность регулировать или перекрыть отдачу тепла у радиаторов.

В отопительной однотрубной системе носитель тепла проходит подряд все соединенные со стояком радиаторы и возвращается в тепловой узел. Особенность отопительной однотрубной системы в том, что во все соединенные со стояком радиаторы тепло доходит с разными температурами. С позиции отдачи тепла это означает, что в помещениях с одинаковыми теплопотерями в разрезе стояка площадь отопления радиатора разная (например, разное количество ребер у чугунного радиатора). Как правило, у радиаторов отсутствуют термостатные вентили, что лишает возможности

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

регулировать отдачу тепла радиатора. Для обеспечения одинаковой температуры в квартирах объем подачи стояка должен соответствовать теплопотерям. При просмотре объектов были зафиксированы также ситуации, когда в здании были случайно налажены уравнивающие вентили, поводом было недовольство людей температурой. Уравнивание отопительной системы здания, в основном, происходило в 90-х годах, когда старые элеваторные узлы заменили на современные теплоузлы с теплообменником.

Среди исследуемых кирпичных домов были также здания, у которых была своя местная котельная или решение отопления различных квартир было местным (см. 10.8), использующим газовое или электроотопление.

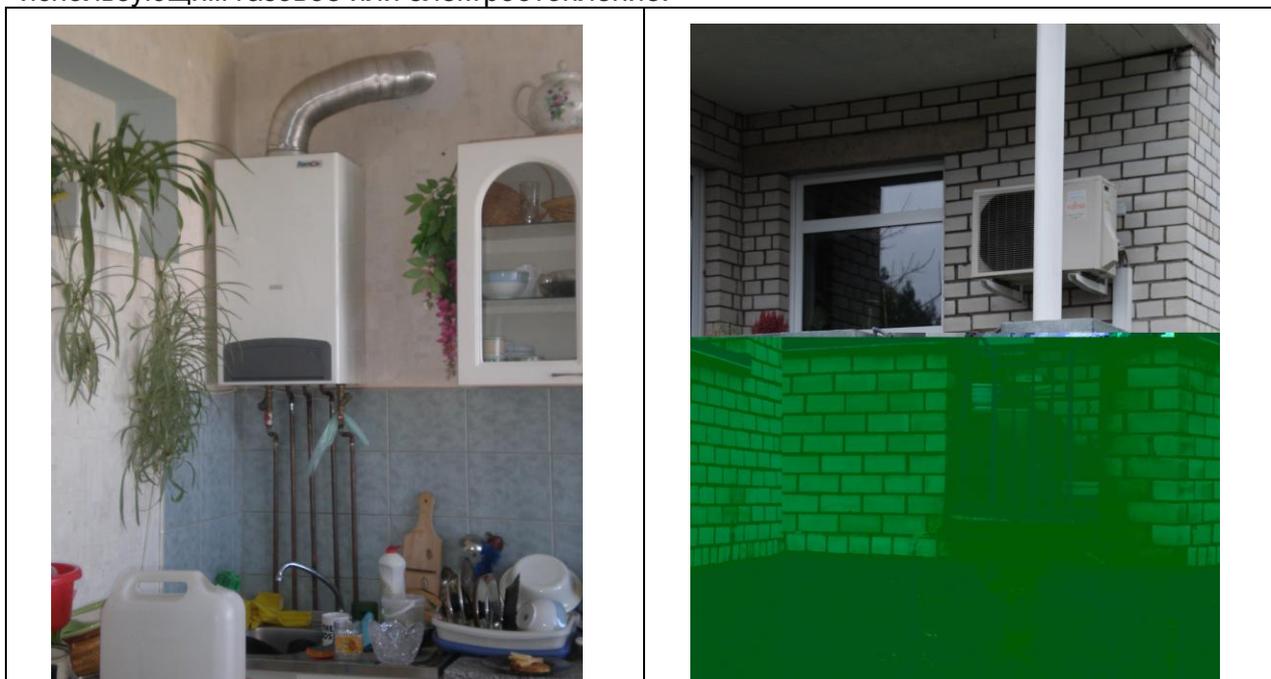


Рисунок 10.8 Расположенные в квартире местная газовая колонка или теплонасос для отопления или подогрева воды.

Трубы отопления на чердаках и в подвалах могут быть совсем не утеплены, см. Рисунок 10.9.



Рисунок 10.9 Отсутствует утепление отопительной трубы в подвале.

Проблемой можно считать и трубы горячей воды, утепленные скорлупами из вспененного полиэтилена толщиной 9 мм (например, каучуковый Armaflex), см. Рисунок 10.10.

Тепловое сопротивление подобной изоляции маленькое и поэтому теплопотери горячего трубопровода велики. Такой утеплитель можно использовать для труб с холодной водой, защищая от образования конденсата (толщина 20-30 мм), но не для утепления труб с горячей водой. Утеплитель труб отопления и горячей воды согласно стандарту EN 12828, классу изоляции 4 и с теплопроводностью  $\lambda \leq 0,04$  Вт/(м·К) должен быть толщиной 11...58 мм при диаметре трубы 10...100 мм (чем больше диаметр трубы, тем толще слой изоляции).

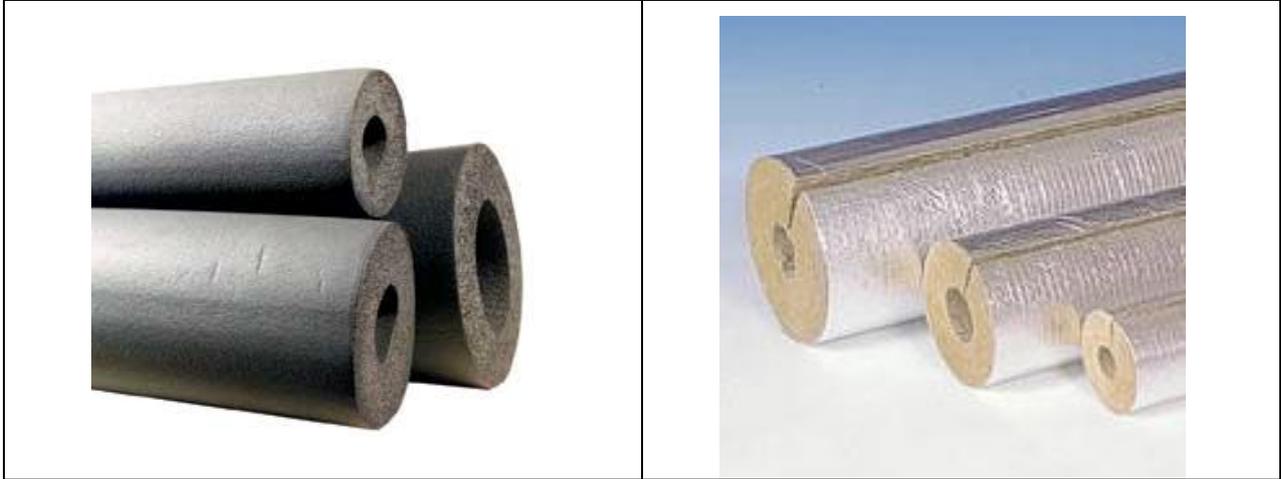


Рисунок 10.10 Скорлупы из вспененного полиэтилена (слева) имеют низкое тепловое сопротивление и не подходят для утепления труб отопления. Для утепления труб горячей воды и отопления подходят скорлупы из минеральной ваты (справа).

Изоляция из минеральной ваты, покрытая слоем алюминия, снижает теплопотери и попадание пыли и грязи на поверхность утеплителя. Слой клейкой ленты вдоль утеплителя упрощает его установку и обеспечивает хороший конечный результат.

#### 10.1.4 Система электроснабжения

Для исследованного кирпичного жилища спроектировали согласно закону об электробезопасности того времени электросистему с проводами TN-C, это означает, что для электрификации жилищ использовали кабели с двумя зонами, из которых одна была фазовая, а другая нейтральная, и заземление всей электросистемы происходило при помощи нейтральной зоны. Такая система проводов низкого напряжения предполагает устройства 0 класса безопасности, которые не нуждаются в защитном заземлении и в то же время в системе невозможно использовать защитные выключатели на случай сбоев напряжения, так как они бы срабатывали уже при нормальном функционировании. В плане электробезопасности это означает, что первейшим защитным способом от напряжения прикосновения является отдельное соединение подверженных напряжению частей с помощью защитного провода с заземлением источника питания в ближайший распределительный щит, что, однако предполагает наличие заземлителя в щите на этаже и кабеля с тремя зонами, одна из которых является защитным проводом. Также старые пробковые предохранители считаются медленно реагирующими. При превышении напряжения плавкие предохранители препятствуют напряжению путем сгорания плавкого вещества, причем при низкой нагрузке это происходит быстро.

Ориентировочно в половине зданий большая часть электросистемы еще со времен строительства, это значит, что содержание главного электрощита не обновлялось. Как правило, входящий в здание главный кабель старый и главный переключатель также времен строительства. Главным новшеством является заземленный корпус главного щита и заземление, проведенное также до щитов в подъездах, что позволяет жителям выстроить соответствующую современным нормам электросистему в своей квартире. Однако есть много домов, где, несмотря на предписания, защитное заземление

совершенно отсутствует. Главной причиной этого можно считать недостаточную компетенцию людей, занимающихся управлением дома, в области электробезопасности.

В плане электробезопасности проблемой можно считать также открытые электрокабели в квартире и перенагрузку отдельных розеток (Рисунок 10.11).



Рисунок 10.11 Наличие открытых электрокабелей в квартире (вверху) и перенагрузка розеток (внизу) очень рискованны с точки зрения электробезопасности.

### 10.1.5 Водоснабжение и канализация

При строительстве стальные водопроводные трубы могут быть как оцинкованными, так и неоцинкованными. Срок службы оцинкованных стальных труб около 20 лет, что делает обновление системы водоснабжения очень актуальным вопросом. Стальные трубы без оцинковки ухудшают качество воды, поэтому требуют немедленной замены, как и старые оцинкованные стальные трубы. Применение неоцинкованных стальных труб в водопроводных системах домов не соответствует стандарту EVS 835.

В трубах с горячей водой важна балансировка. При обновлении системы подачи горячей воды следует хорошо утеплить трубы и избежать непосредственную близость сантехнических каналов с наружным воздухом.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

В канализационной системе замены требуют дефектные части трубопровода. Основной проблемой канализации являются завалы, связанные с нечастым водопотреблением.

Во многих исследуемых домах стояки с горячей и холодной водой частично заменены. В большинстве случаев, стояк заменен из-за проблем с протекающей трубой или после визуального осмотра, для предотвращения предстоящих проблем. Преимущественно, новые водопроводные системы находятся в удовлетворительном состоянии и особых проблем нет, поэтому систематический ремонт сантехнических систем неуместен.

Некоторые простые средства для уменьшения потребления воды и расхода энергии для ее нагрева:

- использование рычажных смесителей,
- непротекаемость унитазов,
- двухсистемные унитазы.

## 11 Анализ потребления энергии в кирпичных домах

Энергоэффективность здания характеризуется годовым использованием тепла и электричества (что включает в себя все потери в техносистемах) для:

- создания благоприятного микроклимата в здании:
  - отопление,
  - охлаждение,
  - вентиляция,
  - освещение,
- нагрева воды;
- использования бытовых приборов.

Учитывая поставленную энергию для использования первичной энергии и ее влияние на окружающую среду, используются следующие показатели энергоносителей для оценки энергоэффективности:

- |   |       |
|---|-------|
| • возобновляемые виды топлива (древесина и другие виды биотоплива, кроме торфа и торфяных брикетов) | 0,75; |
| • центральное отопление   | 0,9;  |
| • горючее (мазут и сжиженный нефтяной газ)  | 1,0;  |
| • природный газ   | 1,0;  |
| • твердые ископаемые (уголь и др.)  | 1,0;  |
| • торф и торфобрикет  | 1,0;  |
| • электричество   | 1,5.  |

Для характеристики здания, а не пользователей здания, учитывается стандартное использование дома и расчетное решение для нахождения энергоинтенсивности. Энергоэффективность оценивается на основе данных измерения энергоиспользования.

### 11.1 Проведенный анализ энергопотребления

Анализ основан на данных энергопотребления, полученных из квартирных товариществ (потребления тепла и газа), а также из Eesti Energia AS (потребление электричества). Энергопотребление составлено для отапливаемой жилплощади (включая площади лестниц и лестничных клеток). Если не было возможности определить отапливаемую площадь, то значения удельного расхода энергии даны по нетто площади здания. При наличии данных для каждого дома представлены:

- электропотребление;
- потребление газа;
- расход воды;
- энергопотребление для нагрева воды;
- расход теплоты на отопление комнат и нагрев воздуха вентиляции.

#### 11.1.1 Анализ электропотребления

В анализируемых домах электричество применяется в первую очередь для освещения и использования электроприборов. В некоторых домах электричество расходуется также на нагрев воды или отопление комнат.

Среднее значение энергопотребления (освещение и использование электроприборов) в исследуемых домах за три-четыре года (2006–2009) было равным 35 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год) (22...49 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год)), см. Рисунок 11.1 слева. В домах (1180, 1200, 1210, 2120 и 4160), где первый этаж занимают магазины или другие коммерческие предприятия, расход энергии был значительно выше: 70...130 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год).

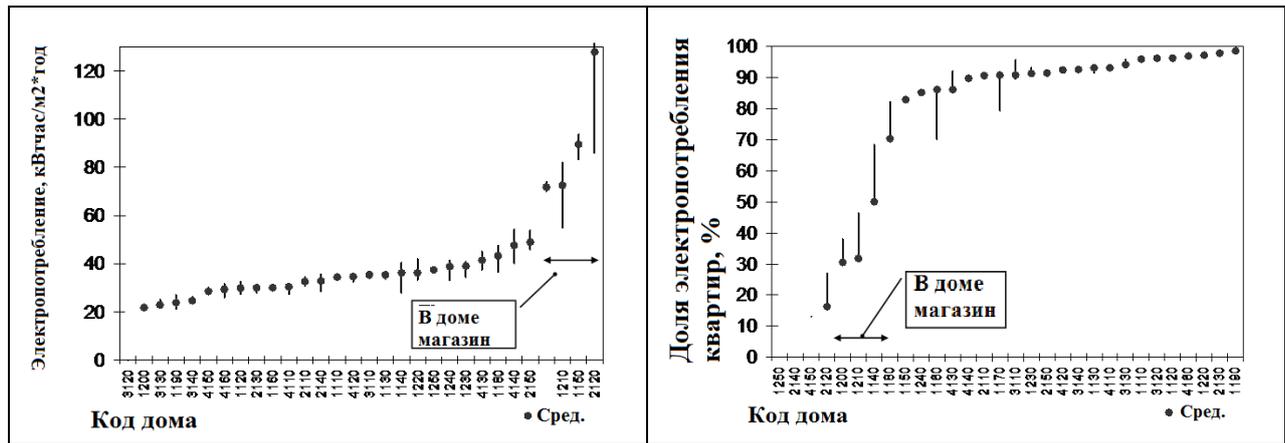


Рисунок 11.1 Среднее значение электропотребления в доме на квадратный метр отапливаемой площади (слева). Доля энергопотребления в квартире от общего энергопотребления дома (справа).

С помощью системы измерения энергии была возможность сравнить энергопотребление в квартирах и на остальной площади. Доля энергопотребления в квартирах составила 80...98% суммарного потребления энергии, см. Рисунок 11.1 справа. Меньшую долю занимает потребление энергии магазина и проч. Годовое электропотребление квартир на квад. метр жилплощади см. Рисунок 11.2 слева. В домах с газоснабжением электропотребление меньше, но разница статически ( $P=0,13$ ) не важна из-за большой расходимости данных.

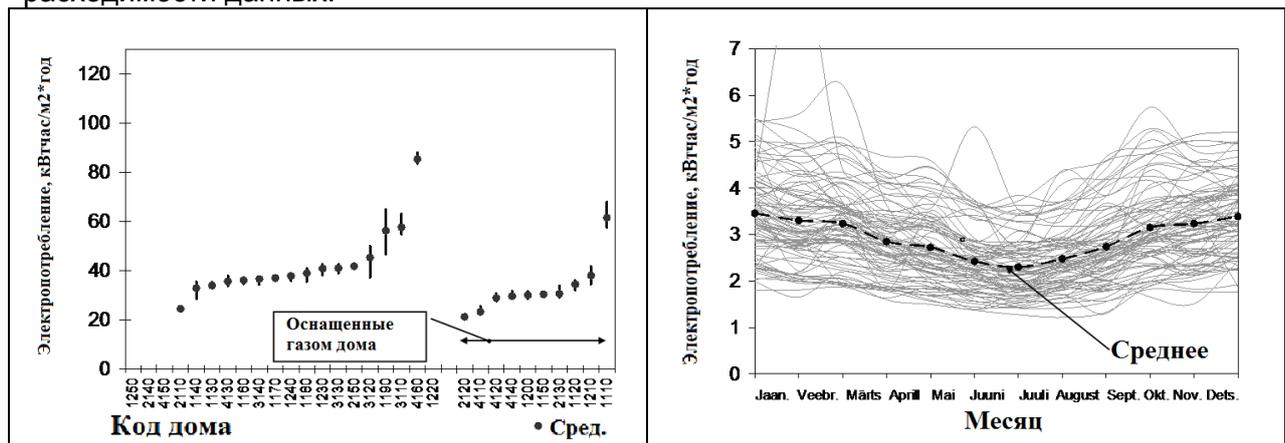


Рисунок 11.2 Годовое удельное потребление электроэнергии квартир (слева). Удельное электропотребление квартир по месяцам (справа).

Электропотребление в домах (где нет магазинов) по месяцам колеблется +15...-28% (см. Рисунок 11.2 справа). Летом электропотребление меньше, чем зимой из-за меньшего использования освещения в летний период.

### 11.1.2 Анализ газопотребления

Из анализируемых домов 10 были снабжены природным газом. Данные об одном из домов не были надежными, поэтому в исследовании не использованы. В одном из домов природный газ используется для отопления помещения (собственная котельная), для нагрева воды и в газовых плитах. В четвертом доме газ используется для нагрева воды и в газовых плитах. Среднее газопотребление на квад. метр отапливаемой площади, где природный газ используется только в плитах, было  $0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  (т.е. отклонение  $0,34 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , см. Рисунок 11.3 слева). В домах, где газ используется ещё и для нагрева воды, энергопотребление в среднем  $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  (т.е. отклонение  $1,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ). Учитывая теплотворность природного газа, равную  $9,3 \text{ кВтчас}/\text{м}^3$ , удельный расход газа см. на Рисунок 11.3 справа.

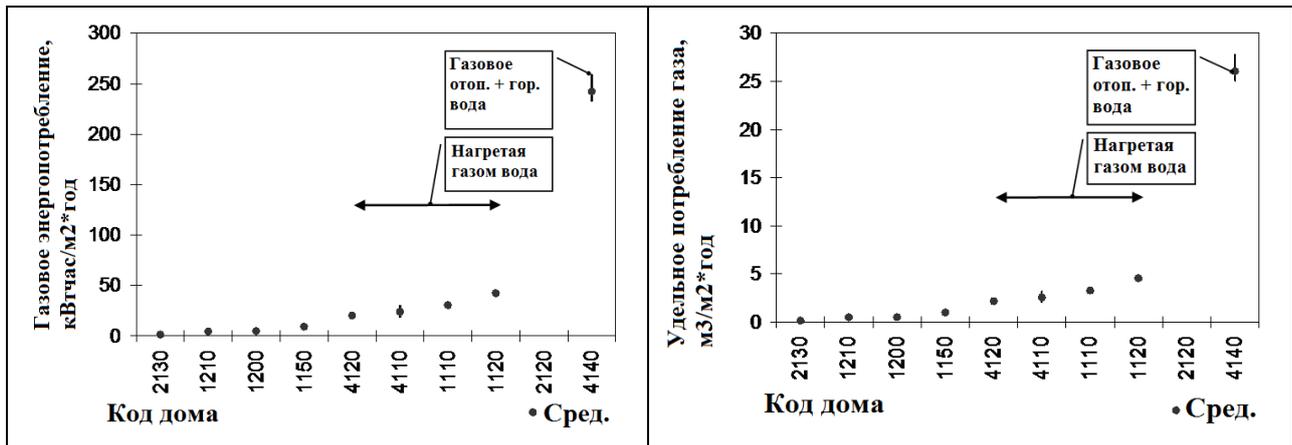


Рисунок 11.3 Среднее потребление природного газа в исследуемых домах.

### 11.1.3 Анализ потребления воды и энергии на нагрев воды

Данные о расходе воды были доступны для 26 домов. Среднее удельное потребление воды в год в исследованных домах было 3 л/(м<sup>2</sup>·д) (т.е. отклонение 0,6 л/(м<sup>2</sup>·д)) и 202 л/(кв·д) (т.е. отклонение 64 л/(кв·д)), см. Рисунок 11.4.

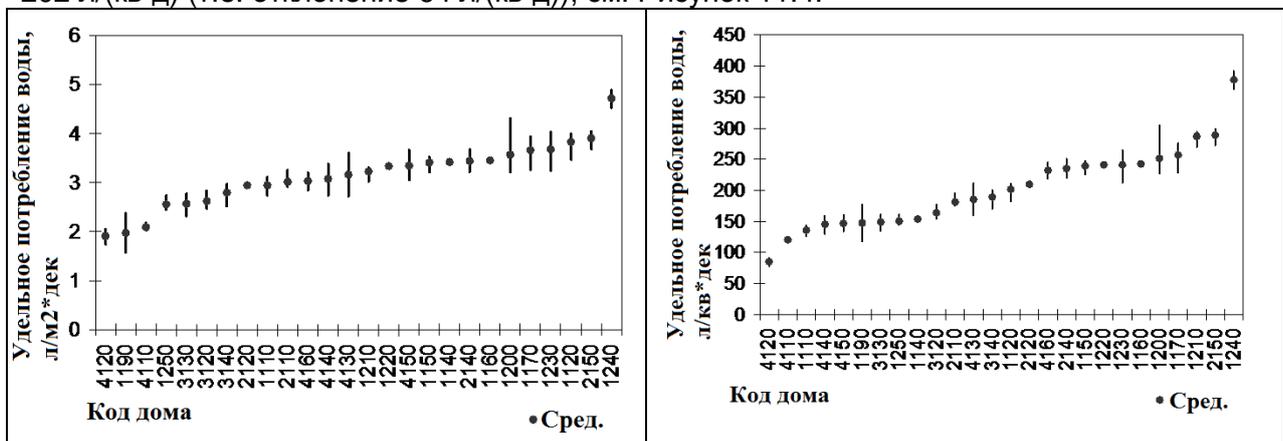


Рисунок 11.4 Среднегодовое удельное потребление воды в исследованных домах.

Среднее потребление воды в разные месяцы было одинаковым, а значит, оно не зависит от сезона, см. Рисунок 11.5 слева.

Доля потребления горячей воды от общего расхода воды (см. Рисунок 11.5 справа), проанализированная в самом начале, дала возможность сделать отдельные расчеты по расходу горячей и холодной воды. Средний расход горячей воды от общего расхода воды составил 40%. При анализе результатов использовался этот процент даже в тех домах, где расход горячей воды отдельно не измерялся. В зависимости от характера потребления доля расхода горячей воды может варьироваться в промежутке 38...45% (TLV-52 2008).

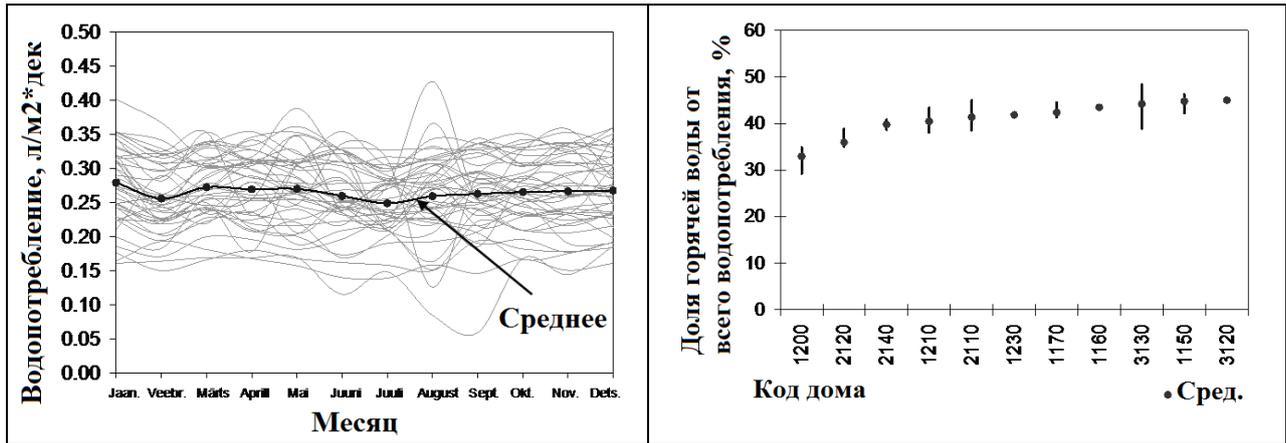


Рисунок 11.5 Удельный расход воды в исследуемых домах по месяцам (слева). Доля потребления горячей воды от общего потребления воды (справа).

В исследуемых домах среднегодовое удельное водопотребление на человека было 86 л/(чел·д) (т.е. отклонение 24 л/(чел·д)), см. Рисунок 11.6 слева. Среднее удельное потребление горячей воды на человека в год было 35 л/(чел·д) (см. отклонение 10 л/(чел·д)), см. Рисунок 11.6 справа. В сравнении с предыдущими исследованиями (45 л/(чел·д): Тооде & Кыйв 2005), Таблица 11.1 водопотребление меньше. Данные о количестве жильцов получены у председателей квартирных товариществ, которые оценили число с 10-процентной точностью. К сожалению, многие из председателей не в курсе истинного числа жильцов в квартирах, так как многие из них сдаются в аренду.

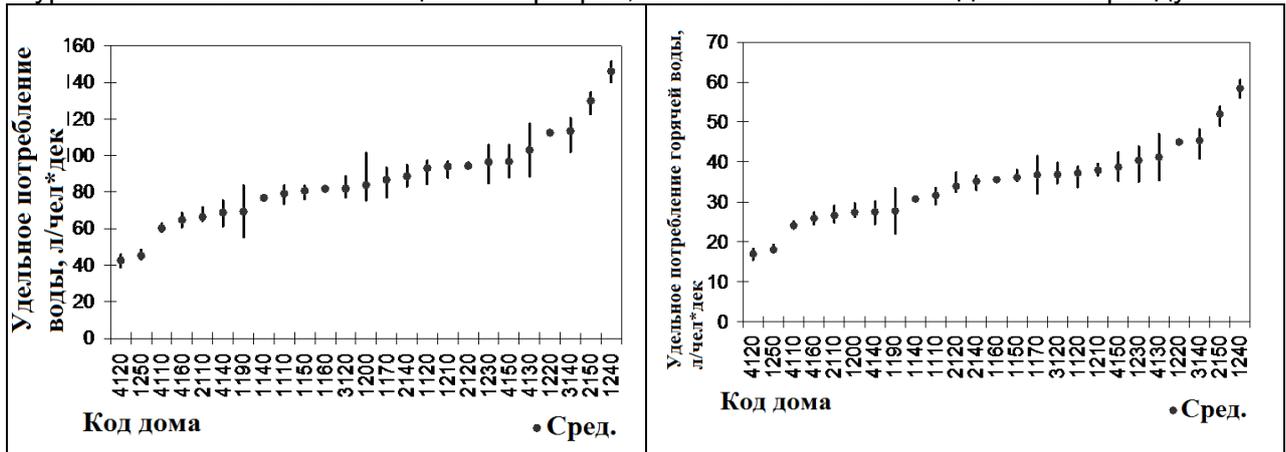


Рисунок 11.6 Удельный расход воды на человека в исследуемых домах: слева общее водопотребление, справа потребление горячей воды.

Таблица 11.1 Изменение удельного потребления горячей воды (на человека) в жилых домах Эстонии в период 1999-2009.

Удельное потребление горячей воды, л/(чел·д)							
	Кыйв & Тооде 2005 (жилые дома в Мустямяэ)						Нынешнее исследование
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2009
Среднее	60	56	49	46	45	44	35
Интервал	34...77	44...71	38...66	37...59	35...56	36...58	17...58

Среднегодовое удельное водопотребление на квад. метр в исследуемых домах было 1,3 л/(м<sup>2</sup>·д) (т.е. отклонение 0,3 л/(м<sup>2</sup>·д)), см. Рисунок 11.7 слева. В ходе проведенного в ТТУ исследования в 2005–2008 годах потребление горячей воды в 75 жилых домах 1,5 л/(м<sup>2</sup>·д). В сравнении с предыдущими исследованиями водопотребление понизилось. (~2 л/(м<sup>2</sup>·д): Тооде & Кыйв 2005, Кыйв & Тооде 2006), Таблица 11.2.

Таблица 11.2 Изменение удельного потребления горячей воды (на квадратный метр) в жилых домах Эстонии в период 1999–2009.

Удельное потребление горячей воды, л/(м <sup>2</sup> ·д)							
	Кыйв & Тооде 2006 (жилые дома в Мустамяэ)						Нынешнее исследование
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2009
Среднее	2,8	2,6	2,3	2,2	2,1	2,0	1,3
Интервал	1,6...3,6	2,1...3,3	1,8...3,1	1,7...2,8	1,6...2,6	1,7...2,7	0,8...1,9

Среднегодовой расход энергии на нагревание воды в исследуемых домах был 27 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год) (т.е. отклонение 6 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год)), см. Рисунок 11.7 справа. В сравнении с предыдущими исследованиями расход энергии на нагревание воды уменьшился (в 1999 году 53 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год), Кыйв & Тооде 2001).

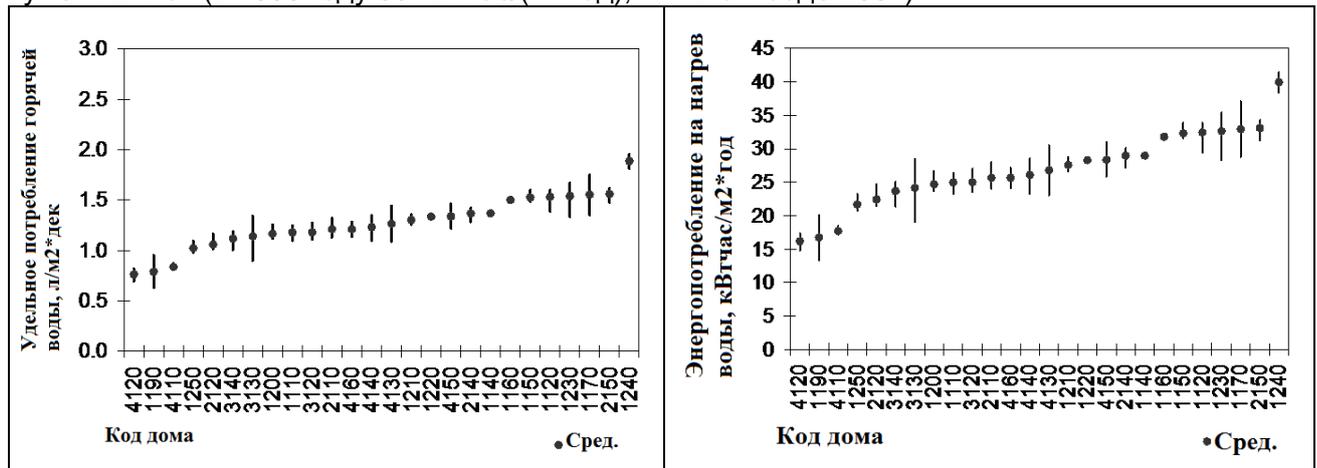


Рисунок 11.7 Среднегодовое удельное потребление горячей воды (слева) и расход энергии на нагревание воды (справа) в исследуемых домах.

### 11.1.4 Анализ потребления теплоэнергии на отопление помещения и вентиляцию

Теплоэнергия на отопление помещения состоит из:

- потерь теплопроводности через ограждающие конструкции;
- потерь теплопроводности через мостики холода;
- теплотерь за счет неплотности внешних границ (инфильтрация);
- энергорасходов на нагрев воздуха инфильтрации.

Расход теплоэнергии на отопление помещений зависит от:

- теплопроводности граничных конструкций;
- компактности здания;
- внутренней температуры;
- воздухопроницаемости ограждающих конструкций;
- управления теплоснабжения и отопительной системы;
- системных потерь теплоснабжения и отопления.

Анализ потребления теплоэнергии проводился в течение четырех лет на основе измеренных данных, которые за среднюю температуру нормального года брали 17 °С. Из 26 исследованных домов среднее значение потребленной теплоэнергии на квадратный метр отапливаемой площади составило 150 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год) (т.е. отклонение 41 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год)).

Удельное энергопотребление теплоэнергии на квадратный метр отапливаемой площади и характеристику исследуемого жилья см. в Таблица 11.3.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Таблица 11.3 Характеристика исследованных домов и потребление теплоэнергии в них на квадратный метр отапливаемой площади.

Код дома	Год постройки	Этажность	Допол. утепление внешних стен	Сист. труб отопления	Площ. внеш. границ/объем, 1/м	Удельное потребление тепла на отапливаемую площадь, кВтчас/(м <sup>2</sup> ·год)				
						Среднее	2004	2005	2008	2009
1110	1961	4		2-труб.	0,39	153	190	151	142	128
1120	1965	5	Торцевые стены с доп. утеплением	1- труб.	0,33	123	153	125	122	91
1140	1974	5		2- труб.	0,18	153	168	151	139	
1150	1972	10	Торцевые стены с доп. утеплением	2- труб.	0,26	140	153	139	128	
1160	1973	10		2- труб.	0,25	145	147	142		
1170	1970	10		2- труб.	0,25	134	135	136	133	133
1190	1971	5		2- труб.	0,51	252	259	245		
1200	1972	10		2- труб.	0,30	160		165	167	149
1210	1972	10		2- труб.	0,28	137	140	138	139	131
1220	1989	3		Эл. отопл.	0,44	103	102	105	107	97
1230	1981	5		1- труб.	0,35	168	182	176	159	157
1240	1987	9		1- труб.	0,30	115	120	119	106	
1250	1985	5		1- труб.	0,32	151	177	157	149	120
2110	1967	5	Торцевые стены с доп. утеплением	1- труб.	0,17	121	110	136	118	118
2120	1956	4		2- труб.	0,15	110	111	127	113	91
2140	1972	5			0,15	121		138	122	104
2150	1988	9		1- труб.	0,15	116		120	120	107
3120	1978	4		1- труб.	0,18	144	142	139	151	
3130	1971	5		1- труб.	0,32	112	120	116	108	104
3140	1986	5	Все стены с доп. утеплением	1- труб.	0,16	133	143	137	131	122
4110	1960	3		1- труб.	0,39	232	231	231	233	
4120	1962	4		1- труб.	0,38	182		198	186	164
4130	1974	6		1- труб.	0,46	184	194	197	198	149
4140	1975	5		1- труб.	0,36	237		251	239	219
4150	1985	5	Все стены с доп. утеплением	1- труб.	0,26	103	109	102	103	96
4160	1989	5		1- труб.	0,33	178	176	179	180	

При сравнении отопительных систем домов видно, что средний расход теплоэнергии в домах с 2-трубной отопительной системой и радиаторами с термостатными вентилями меньше (146 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год)), чем без термостатных вентилей (153 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год)), см. Рисунок 11.8 слева. В компактных домах, т.е. домах, где на отапливаемую площадь или объем меньше внешних границ, расход теплоэнергии меньше, см. Рисунок 11.8 справа.

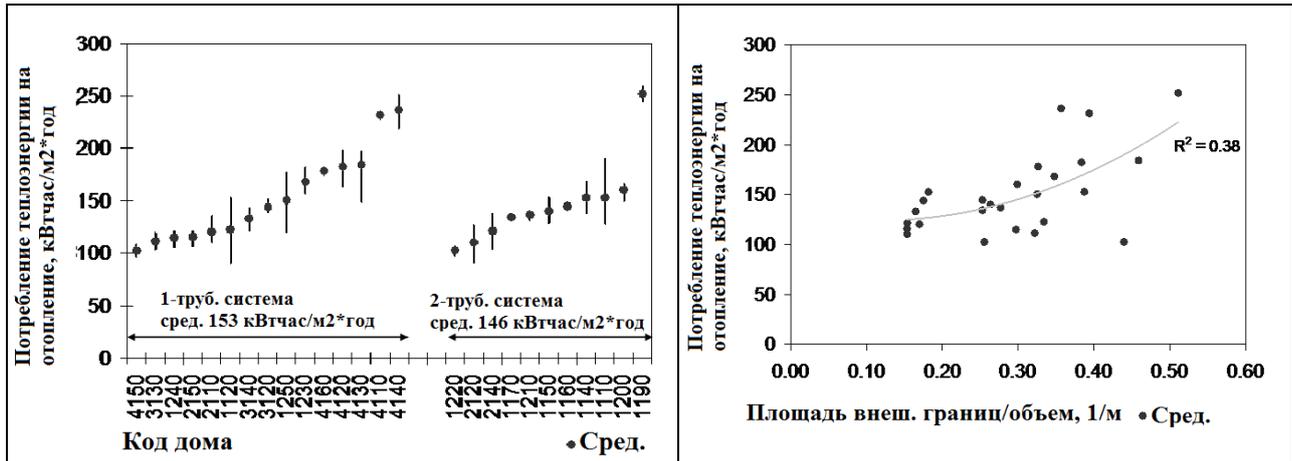


Рисунок 11.8 Удельный расход теплоты на отопление помещений при 1- и 2-трубной системе отопления (слева) и в зависимости от компактности здания (справа).

Среднее значение удельного энергопотребления в домах с дополнительным утеплением стен было ниже (124 кВтчас/(м²·год)), чем среднее значение остальных домов (157 кВтчас/(м²·год)). Хотя в разное время в типовых домах использовались ограждающие конструкции с различными теплопроводностями, данное исследование не выявило существенных различий в зависимости расходов на теплоту от решения внешних стен и возраста здания, см. Рисунок 11.9.

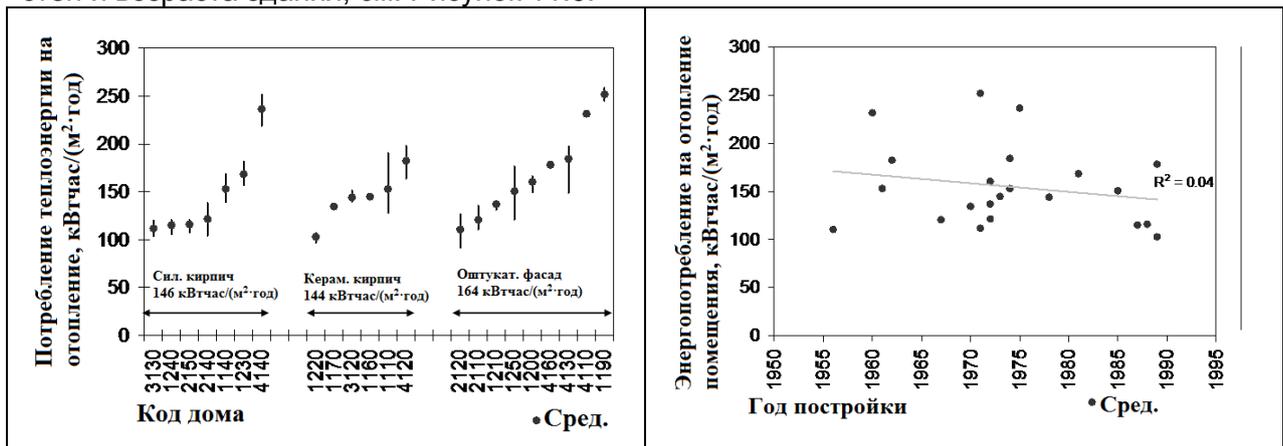


Рисунок 11.9 Удельное потребление теплоты на отопление помещения в зависимости от решения внешних стен здания (слева) и года постройки (справа).

### 11.1.5 Анализ взвешенного использования энергии

При выдаче энергетической маркировки данного здания исходят из взвешенного использования энергии, это значит, что находится умноженное на взвешенный коэффициент годовое использование энергии энергоносителями в киловатт-часах на квадратный метр отапливаемой площади здания. В зависимости от использования здания основанный на стандартном использовании расчетный показатель энергосберегаемости (ЕТА) и измеренные взвешенные величины удельного использования энергии могут не совпасть.

Энергоэффективность старых кирпичных жилищ можно оценить на основании суммарного взвешенного использования энергии участвовавшими в исследовании жилищами, см. Рисунок 11.10. Ни одно из исследуемых зданий не отвечает современным требованиям энергоэффективности: энергетическая маркировка С (показатель энергетической эффективности или взвешенное удельное использование энергии <math><150 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})</math>). Из существующих, значительно реконструированных зданий поставленным требованиям

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

энергоэффективности (энергетическая маркировка D (показатель энергоэффективности или взвешенное удельное использование энергии  $<200 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) соответствовали 24% домов. Эти здания можно охарактеризовать следующим образом:

- здания дополнительно утеплены;
- здания компакты;
- регулированию внутренней температуры зданий уделено особое внимание.

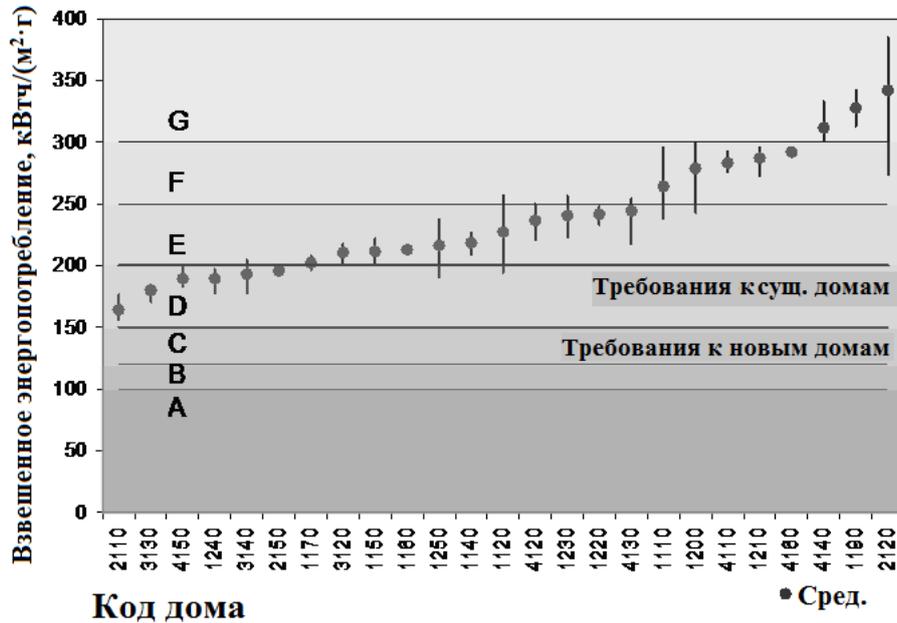


Рисунок 11.10 Распределение зданий на классы энергетической маркировки в соответствии со взвешенным энергопотреблением.

Среднее здание энергопотребления зданий было  $238 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  (т.е. отклонение  $48 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) (Рисунок 11.11 слева).

В домах, где используется газ, количество теплоты на вентиляцию и отопление помещений составило 62%, теплоты на нагрев воды 13% и потребление электроэнергии 25% от взвешенного общего энергопотребления (Рисунок 11.11 справа).

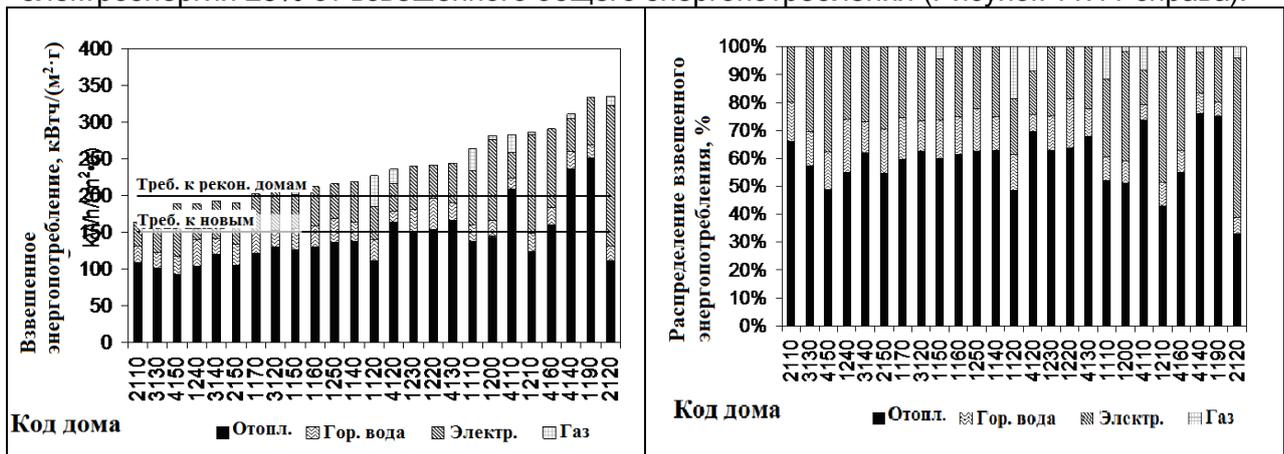


Рисунок 11.11 Структура взвешенного энергопотребления (слева) и процентное распределение (справа).

## 11.2 Анализ энергоэффективности кирпичного дома и его строительно-экономический расчет

### 11.2.1 Методы

#### Энергорасчеты

Чтобы избежать влияния использования здания на оценку энергоэффективности, энергорасчет следует делать при стандартном использовании и на основании одной методики. При анализе энергетической эффективности кирпичных жилищ в данном исследовании использованы основы расчета (свободное тепло, удельное использование теплой воды, количества вентиляционного воздуха и т.п.) и стандартное использование постановления ПР номер 258 (20.12.2008) „Минимальные требования энергетической эффективности“. Для анализа энергетической эффективности кирпичных домов типовые дома смоделированы при помощи динамической симуляционной программы IDA ICE 4.0. Упомянутая вычислительная программа отвечает приведенным в постановлении требованиям к проверенному программному обеспечению.

На первом этапе работы расчетные модели жилищ проверили по измеренным данным внутреннего климата и энергопотребления. Для проверки были взяты данные потребления 2-3 лет, которые были изменены на стандартную годовую уравновешенную температуру 17 °С. Для исследования влияния единичных компонентов различных решений реновации существующая ситуация жилища приведена к стандартному использованию и к ситуации последующей строительству (вариант 0) и в случае каждого нового варианта расчета изменен только один компонент энергетической эффективности (например, только возврат тепла вентиляции или только дополнительное утепление внешних ограждений).

На втором этапе работы составили показательные пакеты для достижения различных решений реновации и классов энергетической маркировки.

Внутренняя температура в учитываемых квартирах 21 °С и в подъездах 17 °С.

При вычислении количества воздушного потока вентиляции исходили из расчетных моделей естественной вентиляции класса (III) внутреннего климата и расчетных моделей с механической вентиляционной системой класса (II) согласно эстонскому стандарту EVS-EN-15251. Для суммарного количества потока воздуха квартиры выбрана большая из следующих величин:

- 0,42 л/(с·м<sup>2</sup>) для замкнутой нетто площади,
- 0,6 л/(с·м<sup>2</sup>) для жилой площади (спальни, гостиная, кабинет) (класс III внутреннего климата),
- 1,0 л/(с·м<sup>2</sup>) для жилой площади (спальни, гостиная, кабинет) (класс II внутреннего климата)

Внешний воздух подается внутрь главным образом в гостиные и спальни. В соответствии с количеством свежего наружного воздуха количество потока воздуха вентиляции согласовано с вытяжкой из кухни, ванной комнаты и туалета.

В подъездах кратность воздухообмена учитывается как 0,5 1/ч.

Расход на подогрев потребляемой воды учитывается как 45 л на человека и учитываемое количество людей получено из числа комнат в квартире: число спален плюс один (в трехкомнатной квартире живет по расчетам три человека).

#### Разобранные методы энергосбережения

Энергоэффективность это единое целое, поэтому при разработке методов энергосбережения следует исходить из суммарного использования энергии, учитывая также влияние на окружающую среду источника энергии и выбросы парниковых газов, или следует исходить из первичного расхода энергии. Не стоит сосредотачиваться только на

нетто-потребности теплоэнергии. Это создает однобокую картину энергетически эффективного здания и цель остается недостигнутой. Хороший внутренний климат должен быть достигнут с маленьким расходом первичной энергии. Поэтому в данном исследовании при разработке методов энергосбережения исходили из цели достичь определенного уровня суммарного взвешенного потребления энергии, или определенного класса энергоэффективности.

Для вычисления определенного процента экономии энергии исходили из ситуации последующей строительству жилища. При поэтапной реновации мотивация для осуществления каждой последующей инвестиции меньше и хорошего конечного результата не достичь.

В целях пакетов методов энергоэффективности исходили также из постановления министра экономики и коммуникации номер 52 от 17 августа 2010 г. «Условия и порядок использования зеленой инвестиционной схемы «Поддержка реконструкции квартирных жилищ»».

При взвешенном удельном использовании энергии учитывалось, что:

- отопление помещений и подогрев воды осуществлены на базе центрального отопления (взвешенный коэффициент 0,9);
- в случае вентиляционных агрегатов в помещении и в квартире подогрев вентиляционного воздуха осуществлен на базе электричества (взвешенный коэффициент 1,5).

**Энергосберегающий пакет E** (обеспечение минимальных требований микроклимата + небольшая энергоэкономия :  $ETA \leq 250 \text{кВтчас}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ )

В результате проведения работ по реконструкции обеспечивается:

- соответствие микроклимата здания стандартам (EVS-EN 15251);
- класс энергосбережения не ниже E (показатель энергоэффективности  $\leq 250 \text{кВтчас}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ );
- достижение не менее 20% энергосбережения в зданиях закрытой нетто-площади менее  $2000 \text{м}^2$  и не менее 30% энергосбережения в домах в закрытой нетто-площадью более  $2000 \text{м}^2$ .

**Энергосберегающий пакет D** (существенное выполнение требований к реконструируемому дому:  $ETA \leq 200 \text{кВтчас}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ )

В результате проведения работ по реконструкции обеспечивается:

- соответствие микроклимата здания стандартам (EVS-EN 15251);
- класс энергосбережения не ниже D (показатель энергоэффективности  $\leq 200 \text{кВтчас}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ );
- достижение не менее 40% энергосбережения.

В дополнение в работах по реновации:

- местная система отопления (радиаторные термостаты);
- внешние стены утеплены в полном объеме до уровня теплопроводности  $U \leq 0,22 \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , где конечное значение величины теплопроводности вытекает из необходимого энергосбережения и требуемой энергоинтенсивности;
- все старые окна заменяются новыми энергосберегающими: комплексная теплопроводность проемов  $U \leq 1,1 \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;
- крыша утепляется на заявленном уровне теплопроводности  $U \leq 0,15 \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , где конечное значение величины теплопроводности вытекает из необходимого энергосбережения и заявленного энергопотребления.

**Энергосберегающий пакет C** (новые дома выполняют требование:  $ETA \leq 150 \text{кВтчас}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ )

В результате проведения работ по реконструкции обеспечивается:

- соответствие микроклимата здания стандартам (EVS-EN 15251);

- класс энергосбережения не ниже С (показатель энергоэффективности  $\leq 150 \text{ кВтчас}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ );
- достижение не менее 50% энергосбережения.

В дополнение в работах по реновации:

- локальная система отопления (радиаторные термостаты);
- внешние стены утеплены в полном объеме до уровня теплопроводности  $U \leq 0,22 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , где конечное значение величины теплопроводности вытекает из необходимого энергосбережения и требуемой энергоинтенсивности;
- все старые окна заменяются новыми энергосберегающими: комплексная теплопроводность проемов  $U \leq 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;
- крыша утепляется на заявленном уровне теплопроводности  $U \leq 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , где конечное значение величины теплопроводности вытекает из необходимой энергосбережения и заявленного энергопотребления.
- все здание оснащено вентиляционной системой с рекуперацией тепла.

#### Энергосберегающий пакет В (энергосберегающий уровень новых домов)

В результате проведения работ по реконструкции обеспечивается:

- соответствие микроклимата здания стандартам (EVS-EN 15251);
- класс энергосберегаемости не ниже В ( $\text{ETA} < 120 \text{ кВтчас}/(\text{м}^2 \cdot \text{г})$ ).

### Проанализированные типы домов

Расчетный анализ энергоэффективности был проведен для четырех типов домов, см. Таблица 11.4.

Таблица 11.4 Типы домов, для которых проводились энергорасчеты.

---

#### 4-5-этажный 2-4-подъездный дом типа I-317 и I-318

- Коды домов в ходе исследования: 1110, 1120, 1130, 2130, 3130, 4120;
- Основные показатели для сравнения (дом 4120):
  - площадь застройки,  $394 \text{ м}^2$ ;
  - закрытая площадь нетто:  $1383 \text{ м}^2$ ;
  - отапливаемая площадь:  $1154 \text{ м}^2$ ;
  - площадь наружных стен:  $756 \text{ м}^2$ ;
  - площадь окон-дверей:  $267 \text{ м}^2$ ;
  - число квартир: 31;
  - число жителей: 45;
  - площадь наружных ограждающих конструкций/отап. объем:  $0,52 \text{ м}^{-1}$ .



---

#### 5-9-этажный секционный дом из керамического кирпича

- Коды домов в ходе исследования: 1140, 1230, 1240, 2140, 2150.
- Основные показатели для сравнения (дом 1230):
  - площадь застройки,  $684 \text{ м}^2$ ;
  - закрытая площадь нетто:  $3147 \text{ м}^2$ ;
  - отапливаемая площадь:  $2623 \text{ м}^2$ ;
  - площадь наружных стен:  $1944 \text{ м}^2$ ;
  - площадь окон-дверей:  $544,8 \text{ м}^2$ ;
  - число квартир: 40;
  - число жителей: 112;
  - площадь наружных ограждающих конструкций/отап. объем:  $0,35 \text{ м}^{-1}$ .



### 5-этажный жилой дом из силикатного кирпича с одним подъездом

- Коды домов в ходе исследования: 1190, 1220, 4110, 4130.
- Основные показатели для сравнения (дом 1190):
  - площадь застройки, 98 м<sup>2</sup>;
  - закрытая площадь нетто: 598 м<sup>2</sup>;
  - отапливаемая площадь: 480 м<sup>2</sup>;
  - площадь наружных стен: 583 м<sup>2</sup>;
  - площадь окон-дверей: 164 м<sup>2</sup>;
  - число квартир: 8 ;
  - число жителей: 18;
  - площадь наружных ограждающих конструкций/отап. объем: 0,69 м<sup>-1</sup>.



### 10-этажный 5-подъездный жилой дом из силикатного кирпича

- Коды домов, присвоенные в ходе исследования: 1150, 1160, 1170.
- Основные показатели для сравнения (дом 1170):
  - площадь застройки, 1634 м<sup>2</sup>;
  - закрытая площадь нетто: 12196 м<sup>2</sup>;
  - отапливаемая площадь: 10781 м<sup>2</sup>;
  - площадь наружных стен: 4941 м<sup>2</sup>;
  - площадь окон-дверей: 2614 м<sup>2</sup>;
  - число квартир: 162;
  - число жителей: 430;
  - площадь наружных ограждающих конструкций/отап. объем: 0,25 м<sup>-1</sup>.



## 11.2.2 Результаты энергорасчета

Результаты энергорасчета представлены взвешенным удельным энергоиспользованием, т.е. исходя из типа источника энергии для производства первичной энергии и его влияния на окружающую среду, исходя из представленного в постановлении 258 ПР взвешенного коэффициента.

### 4-этажный 2-подъездный дом типа I-317 и I-318

Здание было разделено на 19 частей таким образом, чтобы каждая квартира, подъезд и подвал располагались в отдельной зоне, см. Рисунок 11.12.

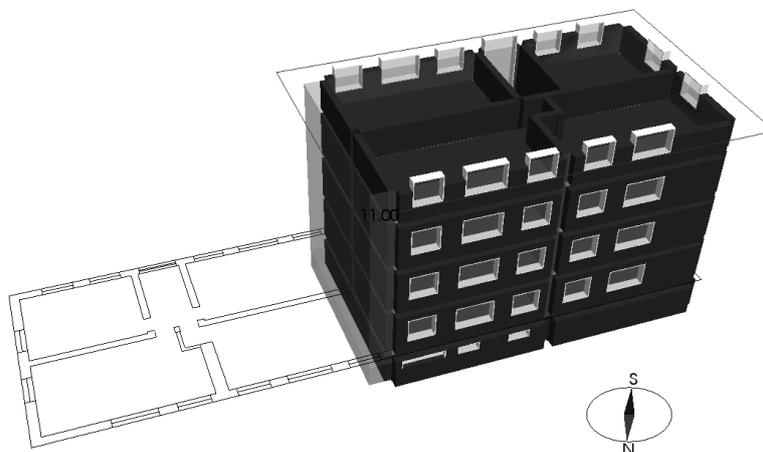


Рисунок 11.12

Внешний вид модели здания для расчета энергии.

Основные данные, используемые в энергорасчетах см. в Таблица 11.5.

Таблица 11.5 Основные свойства вентиляции и ограждений при различных расчетных вариантах 4-этажного 2-подъездного дома типа I-317 и I-318.

	Расчетный вариант	
	T (состояние дома в измеряемый период)	0 (состояние дома согласно постановлению 258 ПР)
Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> ·К) Внеш. стена	1,1	1,1
Цоколь	0,9	0,9
Покрытие крыши	1,2	1,2
Пол подвала	4,4	4,4
Окно: стекло / рама (доля рамы 15%)	1,9 / 2,0	3,0 / 2,0
Солнечный фактор g, -	0,55	0,76
Входная дверь	2,0	2,0
Число воздушных утечек q <sub>50</sub> , м <sup>3</sup> /(ч·м <sup>2</sup> )	6	6
Поток воздуха инфильтрации, л/(сек·м <sup>2</sup> )	0,09	0,09
Поток воздуха вентиляции, л/(сек·м <sup>2</sup> )	0,38	0,45
Использование горячей воды, л/(м <sup>2</sup> ·д)	1,03	2,18

Профиль использования энергии в доме в существующем состоянии (расчетный вариант T) и состоянии после постройки (расчетный вариант 0), см. Таблица 11.6.

Таблица 11.6. Сравнение расчетного взвешенного энергоиспользования 4-этажного 2-подъездного дома типа I-317 и I-318 в существующем состоянии (T) и состоянии после постройки (0).

Расч. вариант	Взвешенное удельное потребление энергии, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год)						
	Всего	Отоп. комнат	Нагрев воздуха вентиляции	Вент. трубы и смесители	Электро-приборы	Освещ.	Горячая вода
T, МВтч	298	222	(отоплением)	1,5	39,6	11,1	22,6
T, кВтч/м <sup>2</sup>	257	192	(отоплением)	1,4	34,4	9,6	19,6
0, МВтч	354	254	(отоплением)	1,5	39,0	12,2	48,2
0, кВтч/м <sup>2</sup>	307	220	(отоплением)	1,4	33,8	10,5	41,7

Для того, чтобы установить влияние отдельных методов реновирования на энергоэффективность, а также удельный расход теплоты на отопление и нагрев воздуха вентиляции, представлено существующее состояние здания (вариант T) и состояние после постройки (вариант 0, класс внутреннего климата III), и в ходе каждого последующего варианта изменен только один из компонентов (при реновации вентиляции класс микроклимата II). Влияние отдельных методов реновирования на энергоэффективность и удельное использование теплоты см. Таблица 11.7.

Таблица 11.7. Энергоиспользование и энергосбережение различных вариантов реновации 4-этажного 2-подъездного дома типа I-317 и I-318.

Ремонтное действие	Энергопотребление после реновации и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки		Удел. энергоиспользование на отопление и нагрев воздуха вентиляции, и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки	
	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%
Замена окон, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (стеклопакет с тройным селективным стеклом и аргоновым наполнителем, рама с низкой теплопроводностью)	270	11	206	16

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Ремонтное действие	Энергопотребление после реновации и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки		Удел. энергоиспользование на отопление и нагрев воздуха вентиляции, и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки	
	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%
Доп. утепление внешних стен U=0,29 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+10 см)	241	21	173	29
Доп. утепление внешних стен U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+15 см)	236	22	169	31
Доп. утепление внешних стен U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+20 см)	234	23	166	32
Доп. утепление крыши U=0,19 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+20 см)	273	10	209	15
Доп. утепление крыши U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+30 см)	271	11	207	15
Вент. система с тепловым насосом (COP ≥ 4,0)	299	2	226	8
Вент. система с рекуперацией тепла (отношение температур 0,6)	313	-3	209	14
Вент. система с рекуперацией тепла (отношение температур 0,8)	286	6	192	22

В ходе достижения энергосбережения следует учитывать, что максимальная экономия существует только в случае правильно работающей системы отопления, а значит, она реновирована, регулируема и сбалансирована. Это всегда требует цельного решения при реновировании. Сделанный анализ воздействия отдельных компонентов и частей может помочь при составлении плана реновирования, если делать все по порядку. Тем не менее, цельное реновирование всегда предпочтительнее.

При сравнении отдельных компонентов наибольшее энергосбережение дают утепление наружных стен и эффективное использование вентиляционной системы. В случае утеплителя толщиной 20 см или больше, улучшение энергоинтенсивности относительно меньше. Однако иногда от толщины изоляции может зависеть класс энергоэффективности.

Увеличение количества энергопотребления в случае маленькой эффективности (отношение температур 0,6) притока-вытяжки вентиляционной системы связано с увеличением воздушного потока в гостиных и спальнях с (0,6 л/(сек·м<sup>2</sup>) до (1,0 л/(сек·м<sup>2</sup>)), поскольку после реновации достигнут II класс внутреннего климата.

### 5-этажный 3-подъездный секционный дом из керамического кирпича

Здание было разделено на 31 часть таким образом, чтобы каждая квартира, подъезд и подвал располагались в отдельной зоне, см. Рисунок 11.13

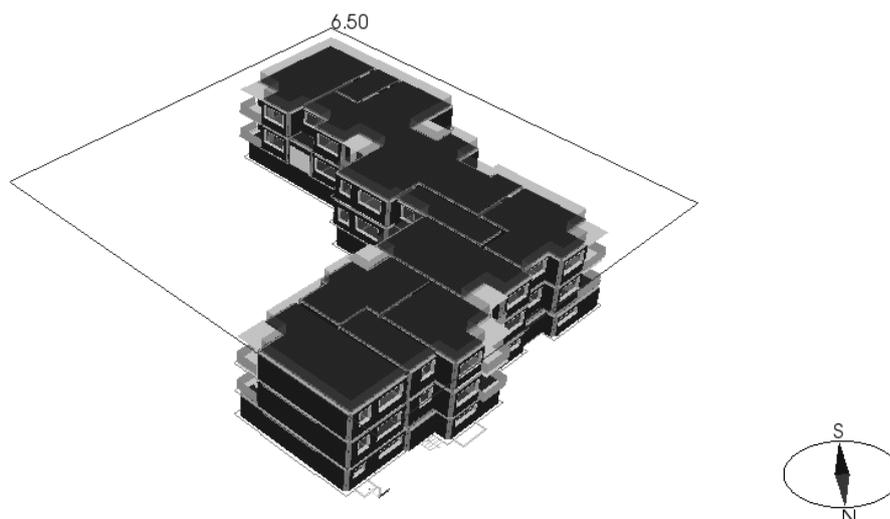


Рисунок 11.13 Внешний вид модели здания для расчета энергии.

Основные данные, используемые в энергорасчетах см. Таблица 11.8. Профиль использования энергии в доме в существующем состоянии (расчетный вариант Т) и состоянии после постройки (расчетный вариант 0) см. Таблица 11.9.

Таблица 11.8 Основные свойства вентиляции и ограждений при различных расчетных вариантах 5-этажного дома из керамического кирпича.

	Расчетный вариант	
	Т (состояние дома в измеряемый период)	0 (состояние дома согласно постановлению 258 ПР)
Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> ·К) Внеш. стена	1,0	1,0
Цоколь	1,0	1,0
Покрытие крыши	0,8	0,9
Пол подвала	3	3
Окно: стекло / рама (доля рамы 15%)	1,6 / 2,0	3,0 / 2,0
Солнечный фактор g, -	0,55	0,76
Входная дверь	1,4	2,0
Число воздушных утечек q <sub>50</sub> , м <sup>3</sup> /(ч·м <sup>2</sup> )	6	6
Поток воздуха инфильтрации, л/(сек·м <sup>2</sup> )	0,11	0,11
Поток воздуха вентиляции, л/(сек·м <sup>2</sup> )	0,11	0,56
Использование горячей воды, л/(м <sup>2</sup> ·д)	1,42	1,81

Таблица 11.9. Сравнение расчетного взвешенного энергоиспользования 5-этажного дома из керамического кирпича в существующем состоянии (Т) и состоянии после постройки (0).

Расчетный вариант	Взвешенное удельное потребление энергии, кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)						
	Всего	Отоп. комнат	Нагрев воздуха вентиляции	Вент. трубы и смесители	Электр-приборы	Освещ.	Горячая вода
Т, МВтч	639	402	(отоплением)	3,4	115,9	40,4	77,0
Т, кВтч/м <sup>2</sup>	244	153,3	(отоплением)	1,3	44,2	15,4	29,4
0, МВтч	745	529,4	(отоплением)	3,4	88,6	27,6	96,3
0, кВтч/м <sup>2</sup>	284	201,8	(отоплением)	1,3	33,8	10,5	36,7

Для того, чтобы установить влияние отдельных методов реновирования на энергоэффективность, а также удельный расход теплоэнергии на отопление и нагрев

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

воздуха вентиляции, представлено существующее состояние здания (вариант Т) и состояние после постройки (вариант О, класс внутреннего климата III), и в ходе каждого последующего варианта изменен только один из компонентов (при реновации вентиляции класс микроклимата II). Влияние отдельных методов реновирования на энергоэффективность и удельное использование теплоты см. Таблица 11.10

Таблица 11.10 Энергоиспользование и энергосбережение различных вариантов реновации 5-этажного дома из керамического кирпича.

Ремонтное действие	Энергопотребление после реновации и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки		Удел. энергоиспользование на отопление и нагрев воздуха вентиляции, и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки	
	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%
Замена окон, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (стеклопакет с тройным селективным стеклом и аргоновым наполнителем, рама с низкой теплопроводностью)	262	8	180	10,9
Доп. утепление внешних стен U=0,29 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+10 см)	213	25	131	35,2
Доп. утепление внешних стен U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+15 см)	207	27	125	38,3
Доп. утепление внешних стен U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+20 см)	204	28	122	39,8
Доп. утепление крыши U=0,19 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+20 см)	270	5	187	7,1
Доп. утепление крыши U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+30 см)	269	5	187	7,6
Вент. система с тепловым насосом (COP ≥ 4,0)	273	4	181	10
Вент. система с рекуперацией тепла (отношение температур 0,6)	294	-3	193	4,5
Вент. система с рекуперацией тепла (отношение температур 0,8)	271	5	171	15,5

В ходе достижения энергосбережения следует учитывать, что максимальная экономия существует только в случае правильно работающей системы отопления, а значит, она реновирована, регулируема и сбалансирована. Это всегда требует цельного решения при реновировании. Сделанный анализ воздействия отдельных компонентов и частей может помочь при составлении плана реновирования, если делать все по порядку. Тем не менее, цельное реновирование всегда предпочтительнее.

При сравнении отдельных компонентов наибольшее энергосбережение дают утепление наружных стен и эффективное использование вентиляционной системы. В случае утеплителя толщиной 20 см или больше, улучшение энергоинтенсивности относительно меньше. Однако иногда от толщины изоляции может зависеть класс энергоэффективности.

Увеличение количества энергопотребления в случае маленькой эффективности (отношение температур 0,6) вытяжки-воздухозабора вентиляционной системы связано с увеличением воздушного потока в гостиных и спальнях с (0,6 л/(сек·м<sup>2</sup>) до (1,0 л/(сек·м<sup>2</sup>)), поскольку после реновации достигнут II класс внутреннего климата.

### 5-этажный 1-подъездный дом из силикатного кирпича

Здание было разделено на 19 частей таким образом, чтобы каждая квартира, подъезд и подвал располагались в отдельной зоне, см. Рисунок 11.14.

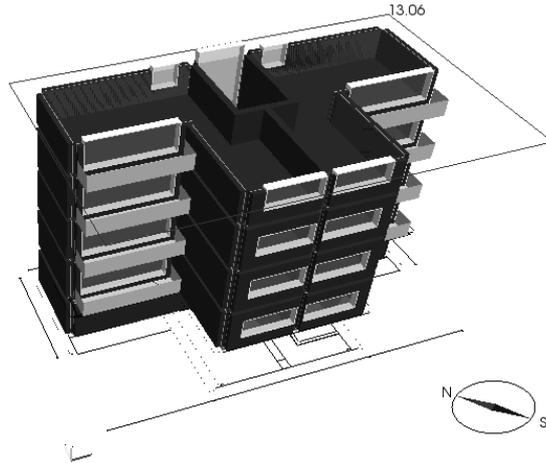


Рисунок 11.14 Внешний вид модели здания для расчета энергии.

Основные данные, используемые в энергорасчетах см. в Таблица 11.11.

Таблица 11.11 Основные свойства вентиляции и ограждений при различных расчетных вариантах 5-этажного 1-подъездного дома из силикатного кирпича.

	Расчетный вариант	
	T (состояние дома в измеряемый период)	0 (состояние дома согласно постановлению 258 ПР)
Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> ·К) Внеш. стена	1,2	1,2
Цоколь	1,2	1,2
Покрытие крыши	0,8	0,8
Пол подвала	3,2	3,2
Окно: стекло / рама (доля рамы 15%)	1,9 / 2,0	3,0 / 2,0
Солнечный фактор g, -	0,62	0,76
Входная дверь	2,0	2,0
Число воздушных утечек q <sub>50</sub> , м <sup>3</sup> /(ч·м <sup>2</sup> )	6	6
Поток воздуха инфильтрации, л/(сек·м <sup>2</sup> )	0,18	0,18
Поток воздуха вентиляции, л/(сек·м <sup>2</sup> )	0,30	0,39
Использование горячей воды, л/(м <sup>2</sup> ·д)	0,98	1,50

Профиль использования энергии в доме в существующем состоянии (расчетный вариант T) и состоянии после строительства (расчетный вариант 0), см. Таблица 11.12.

Таблица 11.12. Сравнение расчетного взвешенного энергоиспользования 5-этажного 1-подъездного дома из силикатного кирпича в существующем состоянии (T) и состоянии после постройки (0).

Расчет. вариант	Взвешенное удельное потребление энергии, кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)						
	Всего	Отоп. комнат	Нагрев воздуха вентиляции	Вент. трубы и смесители	Электро-приборы	Освещ.	Горячая вода
T, МВтч	187	150	(отоплением)	0,6	15,6	5,9	14,8
T, кВтч/м <sup>2</sup>	389	312	(отоплением)	1,3	33	12	31
0, МВтч	188	152	(отоплением)	0,6	16,2	5,1	13,8
0, кВтч/м <sup>2</sup>	392	319	(отоплением)	1,3	34	11	29

Для того, чтобы установить влияние отдельных методов реновирования на энергоэффективность, а также удельный расход теплоэнергии на отопление и нагрев

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

воздуха вентиляции, представлено существующее состояние здания (вариант Т) и состояние после постройки (вариант О, класс внутреннего климата III), и в ходе каждого последующего варианта изменен только один из компонентов (при реновации вентиляции класс микроклимата II). Влияние отдельных методов реновирования на энергоэффективность и удельное использование теплоты см. Таблица 11.7.

Таблица 11.13. Энергоиспользование и энергосбережение различных вариантов реновации 5-этажного 1-подъездного дома из силикатного кирпича.

Ремонтное действие	Энергопотребление после реновации и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки		Удел. энергоиспользование на отопление и нагрев воздуха вентиляции и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки	
	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%
Замена окон, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (стеклопакет с тройным селективным стеклом и аргоновым наполнителем, рама с низкой теплопроводностью)	345	12	303	14
Доп. утепление внешних стен U=0,29 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+10 см)	268	31	218	39
Доп. утепление внешних стен U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+15 см)	259	34	207	42
Доп. утепление внешних стен U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+20 см)	254	35	201	43
Доп. утепление крыши U=0,19 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+20 см)	365	7	325	8
Доп. утепление крыши U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+30 см)	363	7	323	9
Вент. система с тепловым насосом (COP ≥ 4,0)	384	2	322	9
Вент. система с рекуперацией тепла (отношение температур 0,6)	397	-1	316	11
Вент. система с рекуперацией тепла (отношение температур 0,8)	373	5	300	15

В ходе достижения энергосберегаемости следует учитывать, что максимальная экономия существует только в случае правильно работающей системы отопления, а значит, она реновирована, регулируема и сбалансирована. Это всегда требует цельного решения при реновировании. Сделанный анализ воздействия отдельных компонентов и частей может помочь при составлении плана реновирования, если делать все по порядку. Тем не менее, цельное реновирование всегда предпочтительнее.

При сравнении отдельных компонентов наибольшее энергосбережение дают утепление наружных стен и эффективное использование вентиляционной системы. В случае утеплителя толщиной 20 см или больше, улучшение энергоинтенсивности относительно меньше. Однако иногда от толщины изоляции может зависеть класс энергоэффективности. В случае маленьких поверхностей крыш даже толщина изоляции ≥20 см не улучшает энергоэффективности. При теплоизоляции крыши нужно анализировать влажно-техническое состояние, при котором для экономии необходим толстый слой изоляции.

Увеличение количества энергопотребления в случае маленькой эффективности (отношение температур 0,6) вытяжки-воздухозабора вентиляционной системы связано с увеличением воздушного потока в гостиных и спальнях с (0,6 л/(сек·м<sup>2</sup>)) до (1,0 л/(сек·м<sup>2</sup>)), поскольку после реновации достигнут II класс внутреннего климата.

### 10этажный 5-подъездный жилой дом из силикатного кирпича

Здание было разделено на 5 частей таким образом, чтобы каждая квартира, подъезд и подвал располагались в отдельной зоне, см. Рисунок 11.15

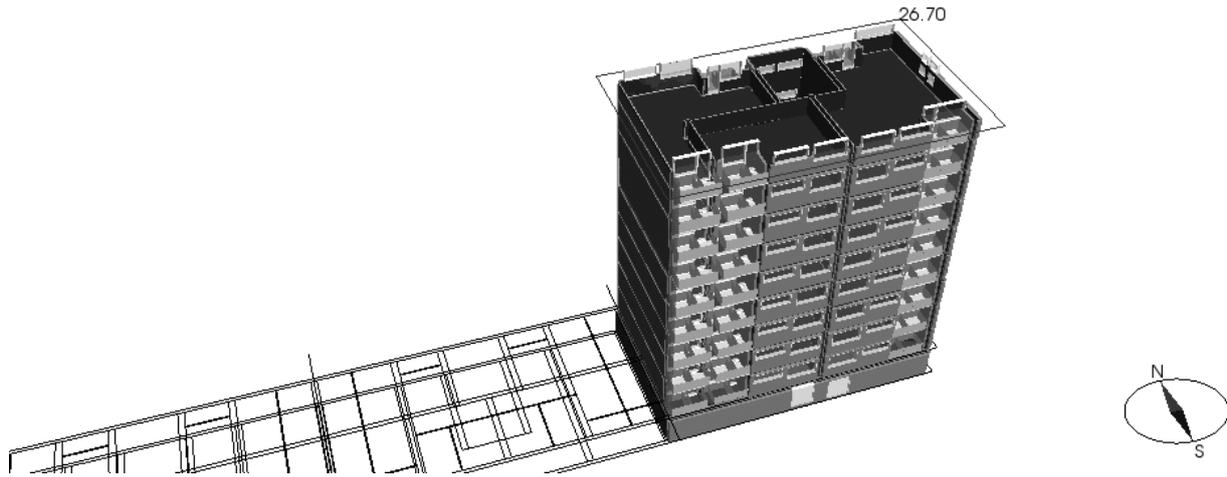


Рисунок 11.15 Внешний вид модели здания для расчета энергии.

Основные данные, используемые в энергорасчетах см. в Таблица 11.14.

Таблица 11.14 Основные свойства вентиляции и ограждений при различных расчетных вариантах 10-этажного 5-подъездного дома из силикатного кирпича.

	Расчетный вариант	
	Т (состояние дома в измеряемый период)	0 (состояние дома согласно постановлению 258 ПР)
Теплопроводность, Вт/(м <sup>2</sup> ·К) Внеш. стена	1,1	1,1
Цоколь	0,9	0,9
Покрытие крыши	1,2	1,2
Пол подвала	3	3
Окно: стекло / рама (доля рамы 15%)	1,9 / 2,0	3,0 / 2,0
Солнечный фактор g, -	0,55	0,76
Входная дверь	2,0	2,0
Число воздушных утечек q <sub>50</sub> , м <sup>3</sup> /(ч·м <sup>2</sup> )	6	6
Поток воздуха инфильтрации, л/(сек·м <sup>2</sup> )	0,11	0,11
Поток воздуха вентиляции, л/(сек·м <sup>2</sup> )	0,30	0,58
Использование горячей воды, л/(м <sup>2</sup> ·д)	1,50	1,51

Профиль использования энергии в доме в существующем состоянии (расчетный вариант Т) и состоянии после строительства (расчетный вариант 0), см. Таблица 11.15.

Таблица 11.15. Сравнение расчетного взвешенного энергоиспользования 10-этажного 5-подъездного дома из силикатного кирпича в существующем состоянии (Т) и состоянии после постройки (0).

Расчет. вариант	Взвешенное удельное потребление энергии, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год)						
	Всего	Отоп. комнат	Нагрев воздуха вентиляции	Вент. трубы и смесители	Электро- приборы	Освещ.	Горячая вода
Т, МВтч	2259	1370	0	16,1	407	127	340
Т,кВтч/м <sup>2</sup>	210	127	0,0	1,5	38	12	32
0, МВтч	2632	1770	0	14,2	364	113	370
0,кВтч/м <sup>2</sup>	244	164	0,0	1,3	34	11	34

Для того, чтобы установить влияние отдельных методов реновирования на энергоэффективность, а также удельный расход теплоты на отопление и нагрев воздуха вентиляции, представлено существующее состояние здания (вариант Т) и состояние после постройки (вариант 0, класс внутреннего климата III), и в ходе каждого

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

последующего варианта изменен только один из компонентов (при реновации вентиляции класс микроклимата II). Влияние отдельных методов реновирования на энергоэффективность и удельное использование теплоты см. Таблица 11.16.

Таблица 11.16. Энергоиспользование и энергосбережение различных вариантов реновации 10-этажного 5-подъездного дома из силикатного кирпича.

Ремонтное действие	Энергопотребление после реновации и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки		Удел. энергоиспользование на отопление и нагрев воздуха вентиляции и % уменьшение по сравнению с состоянием после постройки	
	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%	кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)	%
Замена окон, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (стеклопакет с тройным селективным стеклом и аргоновым наполнителем, рама с низкой теплопроводностью)	209	14	129	22
Доп. утепление внешних стен U=0,29 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+10 см)	194	21	114	31
Доп. утепление внешних стен U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+15 см)	190	22	110	33
Доп. утепление внешних стен U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+20 см)	188	23	108	34
Доп. утепление крыши U=0,19 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+20 см)	237	3	157	5
Доп. утепление крыши U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+30 см)	236	3	156	5
Вент. система с тепловым насосом (COP ≥ 4,0)	229	6	139	16
Вент. система с рекуперацией тепла (отношение температур 0,6)	244	-0	152	7
Вент. система с рекуперацией тепла (отношение температур 0,8)	224	8	132	20

В ходе достижения энергосбережения следует учитывать, что максимальная экономия существует только в случае правильно работающей системы отопления, а значит, она реновирована, регулируема и сбалансирована. Это всегда требует цельного решения при реновировании. Сделанный анализ воздействия отдельных компонентов и частей может помочь при составлении плана реновирования, если делать все по порядку. Тем не менее, цельное реновирование всегда предпочтительнее.

При сравнении отдельных компонентов наибольшее энергосбережение дают утепление наружных стен и эффективное использование вентиляционной системы. В случае утеплителя толщиной 20 см или больше, улучшение энергоинтенсивности относительно меньше. Однако иногда от толщины изоляции может зависеть класс энергоэффективности. В случае маленьких поверхностей крыш даже толщина изоляции ≥20 см не улучшает энергоэффективности. При теплоизоляции крыши нужно анализировать влажно-техническое состояние, при котором для экономии необходим толстый слой изоляции.

Увеличение количества энергопотребления в случае маленькой эффективности (отношение температур 0,6) вытяжки-воздухозабора вентиляционной системы связано с увеличением воздушного потока в гостиных и спальнях с (0,6 л/(сек·м<sup>2</sup>) до (1,0 л/(сек·м<sup>2</sup>)), поскольку после реновации достигнут II класс внутреннего климата.

## 12 Оценки собственников квартир и стратегический подход: сводка опроса

В ходе опроса, проведенного среди жителей квартир исследуемых домов, определены оценки собственников квартир и стратегические решения. Вопросы касались технического состояния квартиры, использования комнат, микроклимата и температурного комфорта. В дополнение были вопросы, связанные с проблемами отопления и вентиляции, а также влажностного режима, но были отмечены и проблемы шума, проблемы со здоровьем и необходимость ремонта квартир. Некоторые вопросы предполагали точный ответ о наличии или отсутствии чего-либо (да-нет). В тоже время были вопросы, где требовалось выбрать одну из крайностей (например, горячо-холодно или свежий воздух-спертый воздух). Жильцам не задавались вопросы, касающиеся оплаты: ни расходы на содержание квартиры, ни траты на хозяйство. Во всех квартирах, где проходил опрос, проводились долгосрочные измерения микроклимата.

При исследовании получено 40 заполненных анкет от жителей исследуемых квартир (83% исследованных квартир). Такое количество отнюдь не достаточно для надежного обобщения. Однако обзор положения все же можно представить. Распределение квартир, в которых проводился опрос см. в Таблица 12.1.

Таблица 12.1 Распределение квартир.

Местоположение	Количество, шт.	Процентное количество
Таллинн	25	62%
Тарту	7	18%
Пярну	4	10%
Ида-Вирумаа	4	10%
Всего	40	100%

### 12.1 Жилые условия

Из квартир, принимающих участие в исследовании, только одна была сдана в аренду, в остальных жили собственники жилья. Средняя жилплощадь (здесь и далее используется среднее арифметическое) 25 м<sup>2</sup> на человека, см. Рисунок 12.1 слева. Для сравнения, средняя заселенность Эстонии (28 м<sup>2</sup>/жителей) несколько выше плотности застройки. Среднее количество жильцов было 2,8 см. Рисунок 12.1 справа.

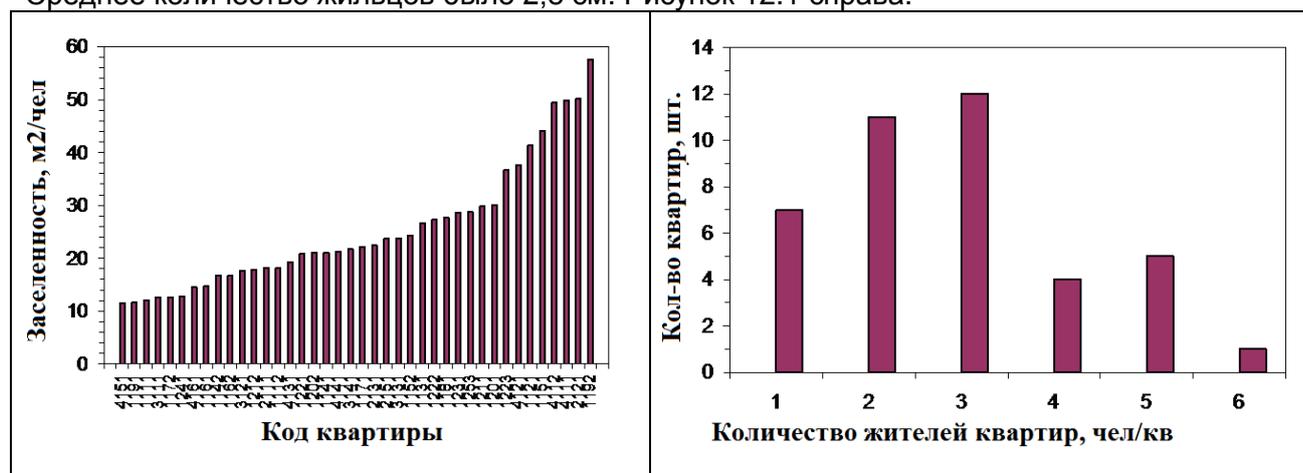


Рисунок 12.1 Заселенность квартир (слева) и количество жителей в квартирах (справа).

Интенсивность использования исследуемых квартир в летний и зимний период примерно одинаковая, но количество жителей днем меньше, чем утром и ночью.

## 12.2 Характеристика окон

Для оценки стратегического поведения владельца квартиры (как прямо, так и косвенно) можно использовать замену окон. В каждом случае замена окон показывает заботу владельца квартиры и интерес в экономии.

Все окна заменены в 77% квартир и в 10% квартир окна частично заменены. Это значение такой же величины как удельный вес новых и частично замененных окон в панельных домах. Самый распространенный среди материалов для рам пластик (в основном, новые, замененные окна): 53%, следом идет дерево (в основном, старые, незамененные окна): 37% и в 10% квартир есть окна, как с деревянными, так и с пластиковыми рамами. Самый распространенный тип окна в кирпичных домах это стеклопакет, стоящий в одной раме: 46%. Реже встречающимися типами были спаренные стеклопакеты: 19%, окна с двойным остеклением: 18%, окна с двумя рамами с одним стеклопакетом (всего три стекла): 7% и в 10% представлена комбинация из разных вариантов, поскольку в квартирах есть как новые, так и старые окна. Из исследованных квартир была только одна такая, где нельзя открыть окно; во всех остальных в каждой комнате было хотя бы одно открывающееся окно. Возможность открыть окно важна с точки зрения проветривания помещений, так как при нереновированной вентиляции в старых квартирных домах воздухообмен, как правило, недостаточный.

## 12.3 Повреждения от влаги

70% респондентов утверждали, что в их квартирах за последние 10 лет были повреждения из-за влаги, у некоторых исследованных даже несколько. У большинства протекали трубы и были повреждения влажностью в туалете и в ванной комнате, что преимущественно было связано с неполадками стиральной машины. Аналогичное количество (66%) повреждений, вызванных влагой, было также в крупнопанельных жилых домах, где в основном повреждения были в туалете и ванной комнате (17%)

Главной причиной повреждений, вызванных влагой, можно считать плохо сделанные работы по гидроизоляции. Опираясь на опрос, гидроизоляция сделана как в полу, так и в стене только в 22% квартир, в 25% квартир вообще нет гидроизоляции, в 9% гидроизоляция сделана только в полу, и только у 2% в стене, 42% ответивших не знали установлена ли в их туалете и ванной комнате гидроизоляция.

Согласно опросу жителей, в 37% квартир была плесень на внутренней поверхности помещений и у половины этих случаев эта проблема появляется часто.

Конденсация пара на внутренней поверхности окна была в половине квартир (51% ответивших) и у 13% ответивших был иней на внутренней поверхности окна. Главные причины конденсации пара связаны с сушкой белья в помещении и приготовлением пищи, однако в некоторых случаях был пар на окнах в спальнях по утрам. Все эти причины указывают на большую влажностную нагрузку и отсутствие действующей вентиляции. Почти половина ответивших сушат белье внутри помещений, в ванной комнате или в комнате и половина из них сушит белье летом по возможности на улице или на балконе. Сушилка для белья была только в одной исследуемой квартире. Сушки белья внутри помещения или на лоджии следует избегать. Сушка белья в помещениях и на лоджиях с недостаточной или обычной вентиляцией значительно увеличивает влажность. Рисунок 12.2 приводит пример двух квартир, где от большой влажности и недостаточной вентиляции образовалась плесень на границах внутренней поверхности. Увлажнители воздуха используются только в одной исследуемой квартире круглогодично и в одной только в зимний период. 95% ответивших не используют увлажнители воздуха.



Рисунок 12.2 Не следует сушить белье в помещениях или на застекленных балконах.

## 12.4 Проблемы отопления и вентиляции

Жители квартир считали самой большой отопительной и вентиляционной проблемой спертый воздух (60 % ответивших) и проблемы, связанные с температурой в помещениях: температура в комнатах неодинаковая (58 % ответивших) или возможность регулировки температуры недостаточная (55 % ответивших), см. Рисунок 12.3. В исследовании крупнопанельных жилищ самой большой проблемой в зимний период было статическое электричество, однако в летний период температура была слишком высока, как и в кирпичных домах. Вдобавок к этому в панельных домах отметили сквозняк и низкую температуру на поверхности пола в зимний период и неустойчивую температуру летом. Наименее значимой проблемой считали сквозняк в квартире, как летом, так и зимой.

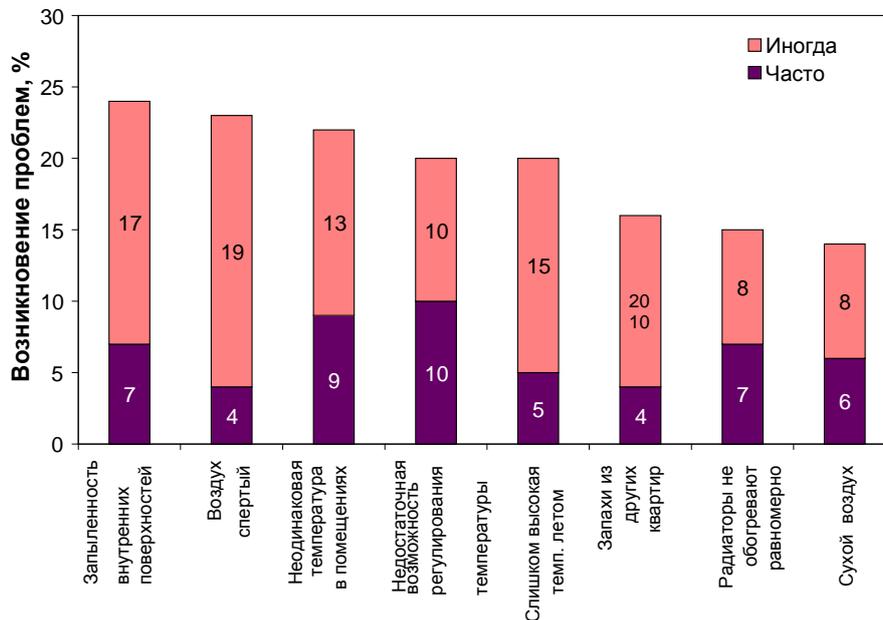


Рисунок 12.3 Главные проблемы внутреннего климата в исследуемых квартирах.

Самой большой проблемой в процентах являлась запыленность внутренних поверхностей. В то же время эта проблема зависит от того, как часто убирается квартира и только с вентиляционными проблемами это связывать нельзя.

К примеру можно привести, что в Финляндии в новых квартирах провели исследование, которое разъяснило, что самой большой вентиляционной проблемой считали запыленные внутренние поверхности (50%) и недостаточную вентиляцию в летний период (45 %) и наименее важной проблемой считали неприятный запах в квартире. Более 20 % ответивших считали проблемой холодный пол, спертость воздуха и исходящий из вентиляционного оборудования шум, что в исследовании, проходящем в Эстонии,

посчитали наименее важной проблемой. На холодные полы жаловались в основном жители первых этажей.

Больше всего было квартир (37%), в которых были проблемы с отопительной или вентиляционной системами, но 13 % опрошенных жителей утверждали, что проблемы отсутствуют (см. Рисунок 12.4). У половины квартир, участвующих в исследовании было две или более проблем. В одной квартире было вместе 9 отопительных и вентиляционных проблем. В аналогичном исследовании в Финляндии были квартиры, в которых проблемы вовсе отсутствовали 40% (в Эстонии 13%), в 20 % квартир можно заметить две или более проблем (в Эстонии 50 %).

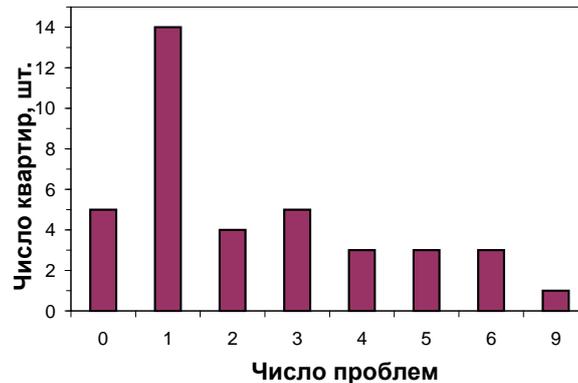


Рисунок 12.4 Частота отопительных и вентиляционных проблем.

Анализируя отопительные и вентиляционные системы, важно дать обзор на решение технических систем, поскольку они являются главными причинами проблем.

Главной (60%) системой распределения тепла является единая система труб. В трех квартирах, участвующих в исследовании (один дом) было прямое электрическое отопление ( радиатор, пол с подогревом, тепловой насос воздух-воздух). Чугунные радиаторы есть в 65 % квартир, жестяные радиаторы в 30 % и у 5% ответивших в квартире как чугунные, так и жестяные радиаторы. Радиаторы, регулируемые термостатом, есть в 25 % квартир, в 10 % регулируемые обычным краном и у 65 % ответивших отсутствует возможность регулировать радиаторы. Из типов отопления используется в 78 % центральное отопление, в 8 % прямое электрическое отопление, в 8 % масляное отопление и в 6 % газовое отопление.

Из вентиляционных систем в 54 % случаев имеет место естественная вентиляция, вдобавок к этому кухонная вытяжка. В 35 % естественная вентиляция и в 5 % механическая общая вытяжка. Механическое втягивание и вытяжка, принудительная вентиляция с клапанами свежего воздуха в стенах и окнах представлена вместе в одном случае.

Половина ответивших утверждала, что использует для проветривания помещений (из-за недостаточной работы вентиляционной системы) вдобавок систематическое открывание окон. 75 % опрошенных проветривает летом квартиру основательно минимум один раз в день более чем 30 минут, 43 % проветривает квартиру ежедневно и зимой минимум 10 минут. Главной причиной проветривания помещений является спертость воздуха и жара.

### 12.5 Проблемы, связанные с шумом и здоровьем

Из проблем, связанных со здоровьем ответившие называли больше всего сухость в горле и аллергический кашель при нахождении дома, но только у троих ответивших эта проблема проявлялась часто. Часто проявляющейся проблемой назвали в некоторых случаях астматические и аллергические симптомы, но они в основном были связаны с уже ранее имеющимся состоянием здоровья и не были связаны полностью с микроклиматом квартиры. Иногда проявляющейся проблемой называли необъяснимую усталость, головную боль и раздражение глаз при нахождении дома, однако это случалось реже. Более точное распределение представлено на рисунке (см. Рисунок

12.5) У крупнопанельных домов были названы также сухость в горле и кашель, однако в меньшем количестве (16%).

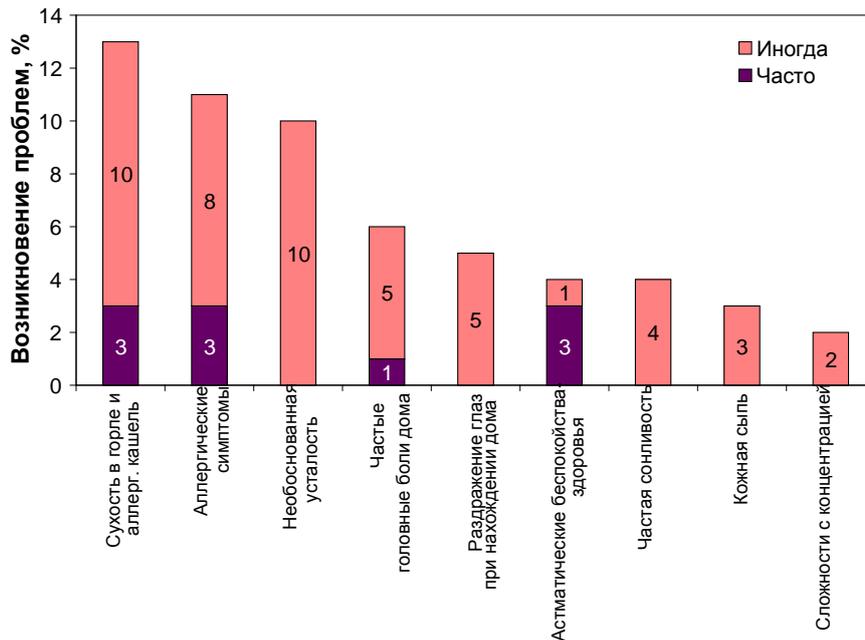


Рисунок 12.5 Проблемы здоровья участвующих в исследовании жителей квартир.

Самой распространенной проблемой шума являлся шум, исходящий из потолка, на который жаловались 69 % ответивших. 29% ответивших утверждали, что проблема еженедельная и 40 % утверждали, что проблема проявляется иногда. 51% опрошенных считали проблемой шум, исходящий из соседних стен, 37 % считает проблему еженедельной и 14 % считает, что иногда. (см. Рисунок Рисунок 12.6).

Исходящий из технических устройств временный или постоянный шум считали проблемой менее 15 % опрошенных, что может быть обусловлено тем, что в исследуемых квартирах в основном отсутствует механическая вентиляция или другие, создающие шум, технические устройства.

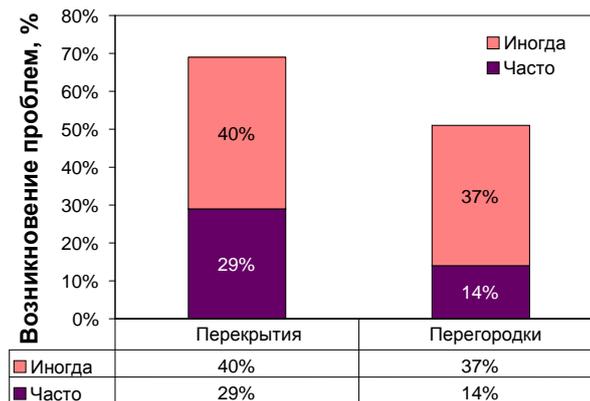


Рисунок 12.6 Проблемы с шумом в исследованных жилищах.

В исследовании выяснили мнение жителей квартир по поводу дневного освещения помещений. 11% ответивших утверждали, что в помещениях квартиры недостаточно дневного освещения и 17% ответивших считали недостаточно оборудованными дневным освещением коридоры и подъезды.

## 12.6 Санитарный ремонт квартир

В большинстве квартир, участвующих в исследовании, был сделан в большей или меньшей степени санитарный ремонт. Есть так же квартиры, которые полностью реновированы, но ремонт сделан преимущественно по нужде и возможности комната за комнатой. Больше всего внимания уделено замене окон, ремонту ванной комнаты, туалета и кухни.

Проведение санитарного ремонта через 5-10 лет и 2-5 лет было наиболее часто встречающейся с частотой, соответственно 39 % и 36%. (см. Рисунок 12.7). Хотя 6% ответили, что делают санитарный ремонт каждый год, было большинство квартир, где реновация комнат проходит годами. Лишь одна квартира, находящаяся в Пярну, делает ежегодно санитарный ремонт, потому что в квартире очень серьезная проблема с влажностью и появляется в больших количествах плесень, которую хозяева квартиры раз в год понапрасну закрашивают. Реже, чем в 10 лет, делает ремонт 19 % ответивших. Для сравнения можно привести пример, что в крупнопанельных домах было больше всего квартир (53%), где интервал между частотой санитарного ремонта составлял 5-10 лет.

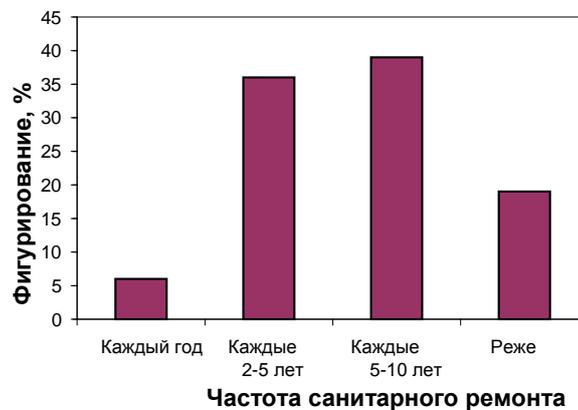


Рисунок 12.7 Частота проведения санитарного ремонта в исследуемых квартирах.

## 12.7 Оценка жителями микроклимата квартир на основании энергетического аудита

Следующий опрос оценки жителей проведен с помощью Termopilt Tartu OÜ, используя на базе анкеты-опроса составленную упрощенную форму анкеты. Состоящая из нескольких страниц анкета разработана так, чтоб это было подходящим для использования вспомогательным средством энергетического аудита для отображения внутреннего климата и отопительных проблем. Анкету использовали при проведении энергоаудита 19 кирпичных домов в 2010 году и анкеты заполнили всего в 402 квартирах. Доля заполнения анкет для больших домов была 45%-75% и для маленьких домов (12-18 квартир) до 100 % от общего количества квартир. В двух домах из этого образца местное отопление и их отапливают в основном электричеством. Следовательно, в этих домах индивидуальный учет тепловой энергии. Оставшиеся дома на центральном отоплении и оснащены однотрубной системой отопления. Как правило, системы отопления были не сбалансированы (ситуация, когда требуется реновация) или это старались сделать на основании опыта без проекта или без измерительных устройств. Газ использовали 31 % квартир. Три дома из них были с момента постройки оснащены отверстиями свежего воздуха, которые должны были обеспечить на кухне эффективную замену спораемого воздуха газовых плит. Внутренний климат этих трех домов был проанализирован отдельно.

### 12.7.1 Температура внутреннего воздуха

При центральном отоплении средняя температура внутреннего воздуха зимой была 20°C, что ниже рекомендованной комфортной внутренней температуры 21-22°C. Скачкообразное подорожание теплоэнергии за последние три года вынудило квартирные

товарищества найти возможности для ограничения роста затрат на отопление. Зачастую это делается за счет внутреннего климата и комфорта, балансируя на границе удовлетворенности большинства жителей (см. Рисунок 12.8).

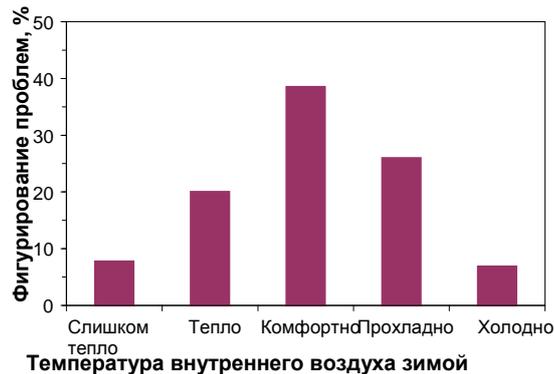


Рисунок 12.8 Уровень комфорта внутреннего воздуха на основании мнений жителей.

Поскольку отопительные системы неуравновешенны и у радиаторов отсутствует возможность регулировки, температура в квартирах довольно широко варьируется в зависимости от местоположения и у жителей отсутствует возможность оперативно повлиять на свои условия проживания, см. Рисунок 12.9.

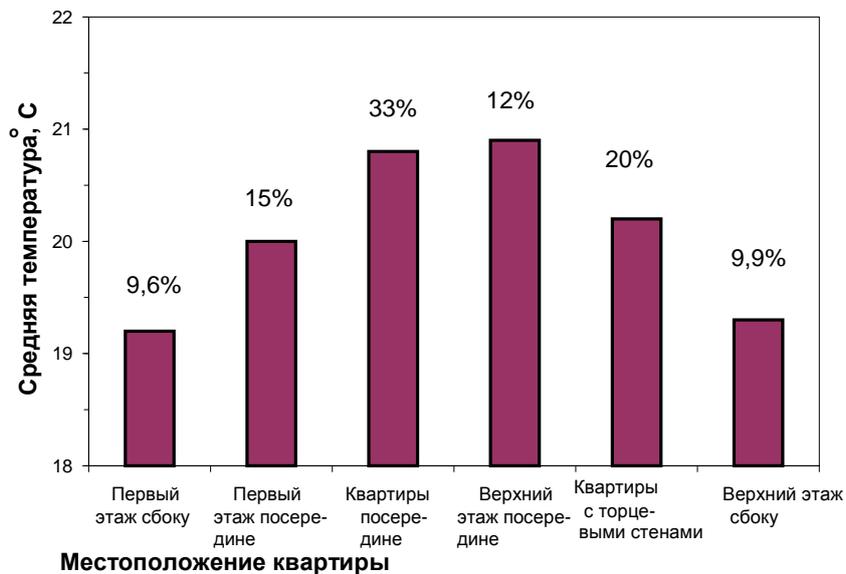


Рисунок 12.9 Температура опрошенных квартир в зависимости от местоположения квартиры. Над столбцами дан удельный вес квартир данной группы от общего числа.

Вследствие низкого качества строительных работ торцевые стены в большинстве холодные (41 %) или прохладные (33 %) и построенная по проекту отопительная система не может обеспечить в этих квартирах нормальную температуру. Такая же проблема на первом этаже, где полы в большинстве (48 %) прохладные. Автоматика отопительной системы не налажена согласно теплотребностям дома и работа автоматики исправляется вручную, если колебания внешней температуры большие. Колеблущаяся температура беспокоит иногда 40 % жителей. Неравномерное отопление радиаторов было проблемой для 34% жителей.

Деревянные окна времен строительства устарели как морально, так и физически и в меньшинстве случаев для таких окон позаботились, чтобы они исправно сохраняли тепло. Экономия расходов на отопление во многих случаях доведена до такой ситуации, когда предприимчивые жители стали активно искать возможности для уменьшения теплопотерь, чтобы температура в квартирах не падала ниже терпимой границы. Замена окон - одно из наименьших начинаний, которое реально помогает поднять температуру в

квартире. Все окна заменены в 67% квартир, и все старые окна сохранились в 18% квартир. При установке более уплотненных окон возникает, однако проблема с вентиляцией, так как в большинстве домов в стенах отсутствуют отверстия для свежего воздуха.

### 12.7.2 Плесень в квартирах

Наибольшей связанной с внутренним климатом проблемой в плане здоровья является образование плесени в квартире, о которой было предварительно подробно написано.

На основании анкетного опроса плесень замечена в 85 квартирах среди общего числа в 309 квартир, что составляет 28 %. Возникновение плесени связывается обычно с заменой окон, впоследствии которой уменьшается воздухообмен и возрастает уровень влажности в квартире. Эта связь заметна также в результате данного опроса, см. Таблица 12.2.

Из этой зависимости, однако нельзя делать преждевременный вывод, что замена окон является главной причиной возникновения плесени. Для получения лучшего обзора целесообразно разделить квартиры на 6 групп в соответствии с показателем внешних ограждений 1 квартиры, см. Таблица 12.3

Таблица 12.2 Замена окон и возникновение плесени в квартирах

Ситуация с окнами	Удельный вес квартир, %	Удельный вес квартир с плесенью в данной группе, %
Окна не заменены на пластиковые	18	14
Окна частично заменены на пластиковые	15	24
Все окна заменены на пластиковые	67	32

Таблица 12.3 Группировка квартир по местоположению

Группа	Местоположение квартиры	Наружные ограждения	Конструктивные мосты холода
1	Первый этаж сбоку	Торцевые стены, перекрытие подвала, боковые стены	Соединения цоколя, пола и стены, наружные углы стен
2	Первый этаж посередине	Торцевые стены, перекрытие подвала	Соединения цоколя, пола и стены
3	Квартиры на средних этажах	Торцевые стены	
4	Квартиры на средних этажах сбоку	Торцевые стены, боковые стены	Наружные углы стен
5	Верхний этаж посередине	Торцевые стены, перекрытие чердака или кровельное перекрытие	Соединения кровельного перекрытия и стены
6	Верхний этаж сбоку	Торцевые стены, перекрытие чердака или кровельное перекрытие, боковые стены	Соединения кровельного перекрытия и стены, наружные углы стен

Обзор квартир показал, что возникновение плесени во многом связано с конструктивными мостиками холода и с внутренней температурой квартир. Если отопительные системы не уравновешены, тогда квартиры отапливаются неравномерно. Воздухообмен в недостаточно отапливаемых квартирах ограничивается настолько возможно, чтобы немного сохранить комнаты тёплыми. В середине квартир дома тепла хватает, и там воздухообмен хороший или чрезмерно хороший. Нижеприведенная таблица (

Таблица 12.4) выводит зависимость между возникновением плесени и положением квартиры.

Таблица 12.4 Появление плесени в зависимости от местоположения квартиры.

Группа	Число квартир	Средняя температура, °С	Замененные окна, %	Плесень в квартирах с замененными окнами, %	Плесень в квартирах со старыми окнами, %
1	30	19,1	80	38	50
2	47	20,1	70	24	21
3	104	20,9	62	25	5
4	59	20,3	66	41	20
5	38	20,9	61	30	33
6	31	19,1	74	39	38

Замена окон влечет за собой образование плесени по двум причинам:

- ограниченный из-за уплотненных окон воздухообмен влечет за собой повышение уровня влажности, что как лакмусовая бумага в виде плесени выводит конструктивные мостики холода,
- вследствие небрежной или неумелой установки окон возникают новые мостики холода по периметру окна. Видимость этих мостов холода также даёт плесень.

Во избежание проблем владелец квартиры вместе с заменой окон должен позаботиться о том, чтобы постоянно обеспечивалась вытяжка загрязненного воздуха и чтобы была возможность для проникания свежего воздуха в квартиру. В целях энергосбережения целесообразнее использовать решение вентиляции с возвратом тепла.

Значительную роль свежего воздуха наглядно подтверждает группа жилищ, у которых вентиляционные отверстия в стенах сделаны уже во время строительства. Это имеет значение для жилья, где для подогрева потребляемой воды используются газовые бойлеры. Для обеспечения газовых конфорок воздухом для сгорания в кухнях этих домов есть отверстия для свежего воздуха. Анализ проведен в 3 жилищах, в опросе приняли участие 67 квартир, см. Таблица 12.5. В этих домах возникновение плесени нельзя связать с заменой окон.

Таблица 12.5 Замена окон и возникновение плесени в квартирах с вентиляционными отверстиями.

Ситуация с окнами	Удельный вес квартир, %	Удельный вес квартир с плесенью в данной группе, %
Окна не заменены	24	13
Окна заменены частично	22	7
Все окна заменены	54	8

В маленьких поселках много квартирных домов, которые изначально были связаны с центральным отоплением этой местности, однако сейчас по воле ситуации переведены на местное отопление. Квартиры в этих домах отапливаются, в основном, электричеством, которое поддерживается каминами или печами. В каждом случае дело имеется с регулировкой и распределением теплоты в квартирах. В таких жилищах данные представлены на 26 квартир. Средняя температура квартир 20,0 °С и плесень присутствует в 42% квартир, окна полностью заменены в 77 % квартир. Относительно маленькое число участвовавших в опросе квартир делает невозможным вывести причины по местоположению квартиры, однако на основе результатов обзора домов можно сказать, что во имя экономии расходов на отопление помещения внутри квартир

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

отапливаются неравномерно и вентиляция ограничивается настолько возможно. В жилище с наружными ограждениями времен строительства индивидуальный учет расходов на отопление может привести к неизбежному ухудшению внутреннего климата.

## 13 Заключение об основных принципах решений реновирования

Недостаточное техническое обслуживание и ремонт жилых домов стали причиной долгов, из-за невыплаты которых многие здания могут стоять на грани банкротства: многоквартирные дома больше не отвечают основным строительным требованиям, таким как:

- механическая прочность и стабильность;
- пожарная безопасность;
- гигиеничность, безопасность для здоровья и экологии;
- меры безопасности;
- защита от шума;
- энергосбережение и энергоэффективность.

Поскольку необходимость в реновации высокая, она требует больших расходов. Важный вопрос при выборе ремонтного решения связан с масштабностью и желаемым уровнем реновации. Проблемы находятся всегда, но их возможно решить. Приоритет в безопасности зданий и обеспечении здорового микроклимата (первые четыре и частично пятое являются важнейшими требованиями), затем идет энергосбережение и улучшение уровня удобства. В зависимости от проведения работ, работы по реновации делятся на три типа: А, В, С:

- **Уровень А.** Речь идет в первую очередь о **безопасности** (несущая способность, пожарная безопасность, безопасное использование, экологическая безопасность) и **пользе здоровью**. Представленное решение сосредоточено на соблюдении важнейших минимальных требований без ущерба здоровью и безопасности;
- **Уровень В.** В ходе решения реновации на уровне В есть возможность улучшить **энергоэффективность** и продлить **срок службы**;
- **Уровень С.** Реновирующие решения направлены на улучшения **качества** здания и предоставления дополнительных **удобств** жителям. При обеспечении энергоэффективности, решения обеспечивают меньший расход энергии, однако при нынешних ценах на энергию, доходность инвестиций может быть ниже, чем при уровне В. Поврежденные конструкции заменяются или строятся новые. В определенной части можно сравнить реновированный дом уровня С с уровнем качества нового дома.

При реновирующем пакете должен соблюдаться принцип, что следующий уровень работ выполняется только тогда, когда выполнен предыдущий. Не правильно делать инвестиции в удобство, если работы энергоэффективности (например, утепление ограждающих конструкций, реновация отопительной или вентиляционной систем и др.) не сделаны или не гарантирована безопасность (несущая способность конструкций) или здоровая среда (например, реновация вентиляции). Таким образом, эти работы не повторяются в различных пакетах.

При разработке принципиального пакета реновации исходили из результатов не только данного исследования, но и предыдущих исследований (EstKONSULT 1996, ЕКК 1994, ЕКННЛ 2002). Решения скорректированы, учитывая промежуточные (в течение 13–16 лет) исследования в рамках более общих задач.

В различных частях здания можно использовать различные решения реновации. Однако для выбора решения необходимо рассматривать комплекс работ (например, замена окон и реновация вентиляции или дополнительное утепление ограждающих конструкций и уравнивание системы отопления). В данном докладе представлены фундаментальные решения реновации. Хотя кирпичные квартирные дома построены на основе типовых проектов, у каждого из них разная потребность в реновации. Лучшее решение реновации уровня А следует выбирать исходя из конкретного дома, учитывая строительно-техническое состояние и микроклимат, удлинение срока службы здания,

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

энергоэффективность здания, сокращение загрязнения окружающей среды (как городской, так и природной среды), экономическую целесообразность и т.д.

При реновировании поврежденных конструкций или неработающих систем в первую очередь необходимо ликвидировать причину проблемы, а только потом устранять её последствия.

Поскольку ресурсов всегда недостаточно, следует проводить ремонтные работы экономно. Большая экономия состоит в качественном исполнении, а не переделывании несколько раз одной и той же работы.

Примером может быть анализируемое кирпичное здание, отремонтированное наполовину (см. Рисунок 13.1). Фасад квартирного дома отремонтирован, однако без учета целостности решения:

- внешние стены оштукатурены;
- дополнительная теплоизоляция установлена на стены без окон;
- не отремонтированными остались системы вентиляции и отопления.



Рисунок 13.1 Кирпичный дом до (слева, 2002 г.) и после ремонта фасада (справа, 2009 г.).

Так как внешние стены с окнами остались без дополнительного утепления, образовался мостик холода в месте соединения окна и внешней стены (см. Рисунок 13.2). Из-за низкой температуры внутренней поверхности в области мостика холода высокая относительная влажность, что благоприятно для роста плесени. Температурный индекс области вокруг окна находится в интервале  $f_{Rsi} 0,37...0,42$ .

В квартирах с проблемами плесени на протяжении двух недель (Рисунок 13.3 слева) проводили измерения микроклимата ( $t$ ,  $RH$ ,  $CO_2$ ), и в начале измерений (Рисунок 13.3 справа) четко видно, что влажностная нагрузка в квартире высокая:  $\Delta v > 6 \text{ г/м}^3$ . В ночное время, когда жильцы точно находятся дома, содержание углекислого газа в воздухе в среднем  $> 1840 \text{ ppm}$ .

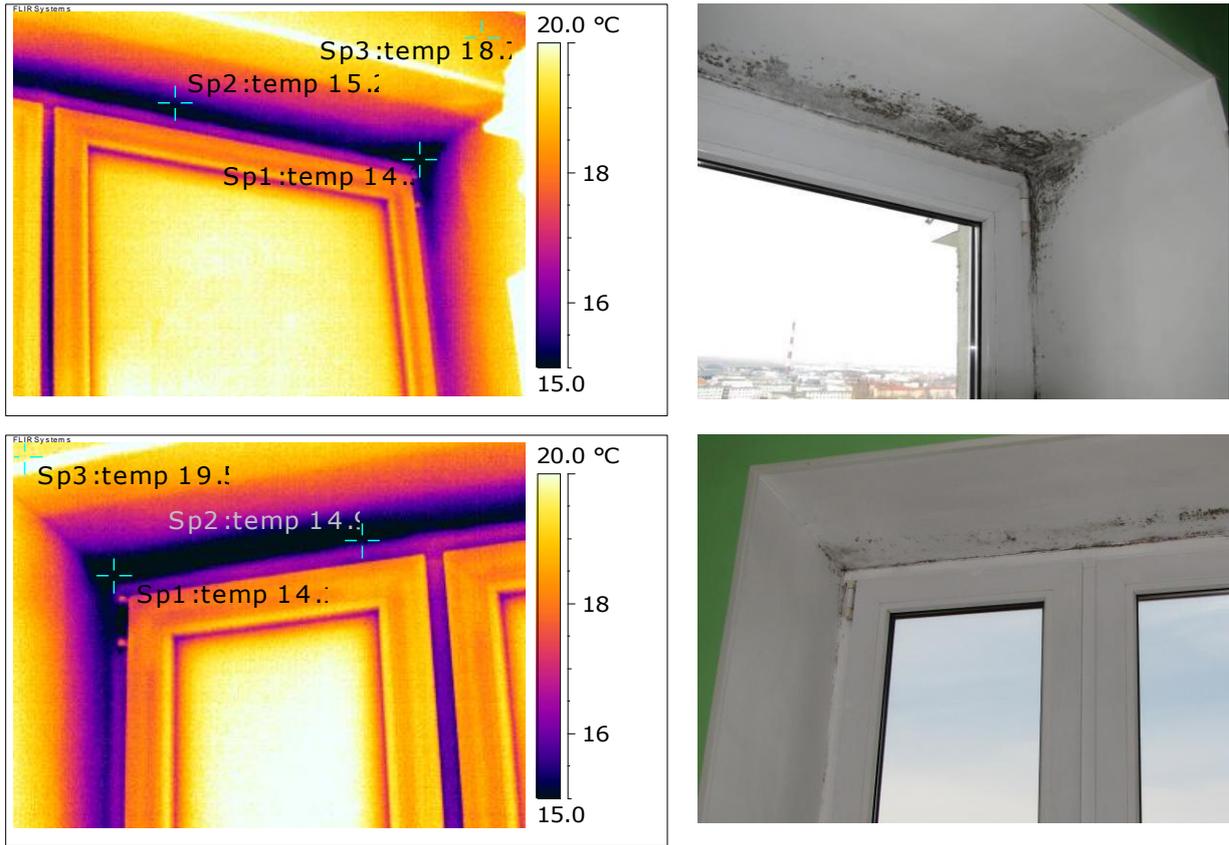


Рисунок 13.2 Низкие температуры (слева) в месте соединения окна и стены стали причиной высокой относительной влажности, что привело к росту плесени вокруг окна.

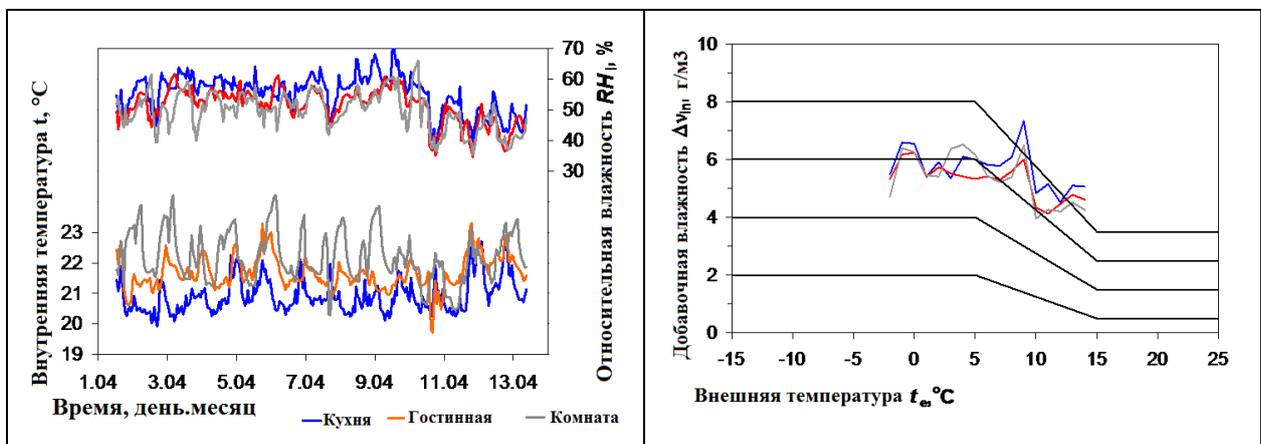


Рисунок 13.3 Микроклимат (слева) и влажностные нагрузки (справа) в квартирах с проблемой плесени.

Содержание углекислого газа в воздухе и высокая влажностная нагрузка указывают на некоторые недостатки вентиляции. Динамика углекислого газа в воздухе оценивает качество вентиляции. Средний воздухообмен в комнате 0,6 л/сек (0,3...0,8 л/сек) и средняя кратность воздухообмена 0,1 1/ч.

Производительность вентиляции ухудшает расположенная на кухне вытяжная труба и маленькая высота трубы на верхних этажах. Сопротивление воздушному потоку вытяжной трубы велико, и в случае, когда вытяжка не работает, воздушного потока через нее практически нет. Отверстие в вентиляционную шахту также небольшое, что не подходит для естественной вентиляции.



Рисунок 13.4 Решетка вентиляционного канала на кухне закрыта вытяжкой.

В ходе правильной реновации нужно утеплять все стены и переносить окна ближе к внешней части стены, на изоляцию. Только так возможно ликвидировать мостики холода в месте соединения окна со старой кирпичной стеной. Возможно также утеплить откосы окна снаружи. В данном доме поверхность откоса утеплена, и мостик холода ликвидирован даже без перенесения окна. Вместе с дополнительным утеплением внешних ограждений необходима реновация отопительной и вентиляционной систем. В данном случае реновация техносистем осталась без внимания.

## 13.1 Ограждения и строительные конструкции

### 13.1.1 Наружные стены

Перед реновационными работами и дополнительным утеплением всегда следует проверять общее строительно-техническое состояние наружных стен:

- состояние креплений у кирпича и стали во внешней обшивке (сверление местами: минимально 5-10 мест на каждой стене); при помощи её образцов можно определить также морозостойкость или прочность на сжатие кирпича, коррозию арматуры, увидеть толщину слоев стены и т.д.;
- контроль вмятин на внешней обшивке;
- выяснение причин трещин в стенах;
- контроль мостов холода: плесень, конденсация водяного пара на внутренних поверхностях, возможная недостаточность теплоизоляции.

По причине большой теплопроводности наружных стен кирпичных жилищ и находящихся в стенах мостов холода дополнительное утепление наружных стен, учитывая требования по безопасному и здоровому внутреннему климату и потребность в энергосбережении, можно считать неизбежным (если не имеется дело с объектами культурной значимости или со зданиями, которые находятся на территории, представляющей ценность). В ходе дополнительного утепления существующая внешняя обшивка получает защиту от дальнейшего разрушения. Если повреждения фасада из-за холода обширные, может возникнуть потребность в замене кирпичей новыми или пенобетоном.

Главные решения по дополнительному утеплению наружных стен:

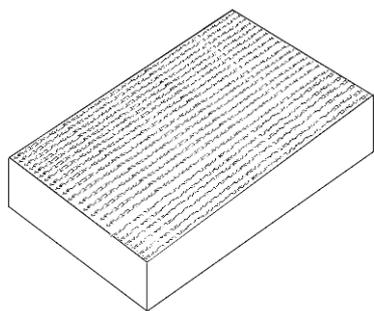
- заранее изготовленные (вместе с окнами) монтируемые теплоизоляционные панели, которые помещаются целиком на фасад (см. <http://www.empa-ren.ch/A50.htm>, [http://www.empa-ren.ch/A50/Prefab\\_Retrofit.pps](http://www.empa-ren.ch/A50/Prefab_Retrofit.pps), <http://www.tesenergyfacade.com/index.php>);
- теплоизоляция+ветрозащитная плита+фасадное покрытие с проветриваемым пространством (например, цементно-волокнистая плита, легкие фасадные камни, крепящиеся панели с имитацией кирпича и т.п.) между деревянным или металлическим каркасом;
- крепящаяся система с теплоизоляцией из минеральной ваты или пенополистирола.

Конкретное решение по дополнительному утеплению проектируется исходя из постановленных целей энергетической эффективности здания, свойств материала и существующей конструкции наружной стены. Очень важно, чтобы между дополнительной теплоизоляцией и существующей наружной стеной не осталось воздушного пространства: теплоизоляция должна плотно прилегать к существующей наружной стене, см. Рисунок 13.5.

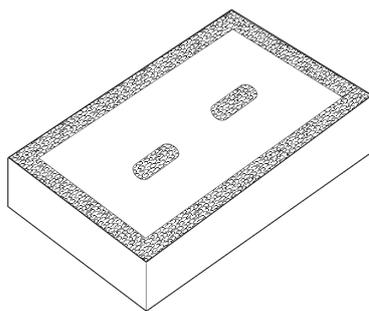


Рисунок 13.5 Некачественно установленное дополнительное утепление: на поверхности не использован клей и внешний воздух попадает на стену или на слой между стеной и утеплителем.

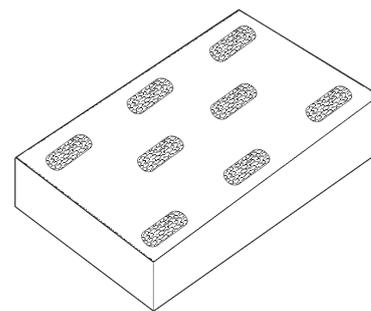
Для приклеивания теплоизоляционных плит следует предпочесть метод приклеивания на полную площадь (см. Рисунок 13.6 слева). В случае метода приклеивания на полую площадь клей наносится на обратную сторону плиты смесительным шпателем 10x12 мм, что с точки зрения теплотехники является лучшим методом укладки. Ограничением для использования этого метода являются неровные поверхности стен. Метод используется только для абсолютно ровных стен, так как при этом методе плиту больше нельзя выпрямить относительно поверхности основания. В случае краево-точечного метода (см. Рисунок 13.6 посередине) клей наносится на края обратной стороны плиты и в середину теплоизоляционной плиты ставятся точки (обычно две штуки с диаметром примерно 10 см). Под дюбелями не должно быть места без клея. При этом методе основание теплоизоляционной системы можно слегка сдвинуть относительно поверхности основания. Запрещено использовать точечный метод, когда теплоизоляция клеится с помощью единичных точек из смеси (см. Рисунок 13.6 справа).



**Предпочтительное** решение:  
метод приклеивания на полную  
площадь



**Акцептированное** решение:  
краево-точечный метод



**Запрещенное** решение:  
точечный метод

Рисунок 13.6 Некачественно установленная дополнительная изоляция: на поверхности не использован клей и внешний воздух попадает на стену или на слой между стеной и утеплителем.

Впрыскиваемую через просверленные в фасадном кирпиче дырки в пространство между слоями кирпичей термопену нельзя считать достаточным решением по причине того, что она не дает как энергоэффективность, так и защиту для фасадов. Термопена, конечно, заполняет пустоты в слое старой теплоизоляции при её оседании или наличии недостатков, однако не устраняет естественные для кирпичных жилищ мосты холода (связывающие камни, соединения конструкций и т.д.). Также толщина теплоизоляции наружной стены 5-6 см недостаточна с точки зрения энергетической эффективности (нужно минимум 15 см), и защиту от разрушения фасадов придется делать в любом случае. Хотя термопена не подходит в качестве единственного решения для дополнительной теплоизоляции наружной стены, она подходит как совершенствующее решение для наружной дополнительной изоляции внешней стены. Поскольку хорошие свойства текучести материала гарантируют заполнение пустот и трещин, улучшается воздухопроницаемость внешних стен.

Повреждения, вызванные холодом, у фасадов из керамических кирпичей самые распространенные. Для защиты и замедления их дальнейшего разрушения фасады оштукатурены (Рисунок 13.7). К сожалению, дополнительная теплоизоляция часто остается невыполненной. Стоимость теплоизоляции по сравнению с реновацией всего фасада не так значительна, чтобы её можно было оставить невыполненной. На нижних фото (см. Рисунок 13.8) приведено сравнение температуры поверхности стены без дополнительной теплоизоляции (сверху) и с ней. Температуры поверхности оштукатуренного фасада такие же, как у обшивки из кирпича. Это наглядно показывает, что тепловое равновесие на внешней поверхности то же самое. Для уменьшения теплового потока наружные стены надо дополнительно утеплить (см. Рисунок 13.8, внизу).



Рисунок 13.7 Оштукатуренная облицовка из керамического кирпича.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Дополнительное утепление фасадов возможно сделать, не повредив общий архитектурный вид кирпичного жилища (Рисунок 13.9). При сохранении архитектурного вида здания следует обратить внимание также на детали, например, места соединений окна и стены. По новому решению окно расположено от внешней поверхности стены на 12 см внутрь (в части зданий также на 25 см). В сравнении с крупнопанельными домами (5...7 см), это значительно больше. При дополнительном утеплении наружных стен (15...20 см) есть опасность, что окно останется в «дыре» на глубине более 30 см (см. Рисунок 13.10). Во избежание этого окна надо переместить к внешней поверхности существующих наружных стен. Это лучше делать тогда, когда с дополнительным утеплением внешних стен, в жилище меняются также окна. Вторая, но не менее значимая причина, почему окна хорошо передвинуть к наружной поверхности, техническая. Без перемещения окон невозможно корректно ликвидировать находящиеся в местах соединения окна и внешней стены мосты холода. Поскольку замена окна и отделка внутренних откосов – работа на 1-2 дня, больше времени не возьмет также перемещение окон к наружной поверхности внешней стены и отделка откосов заново.

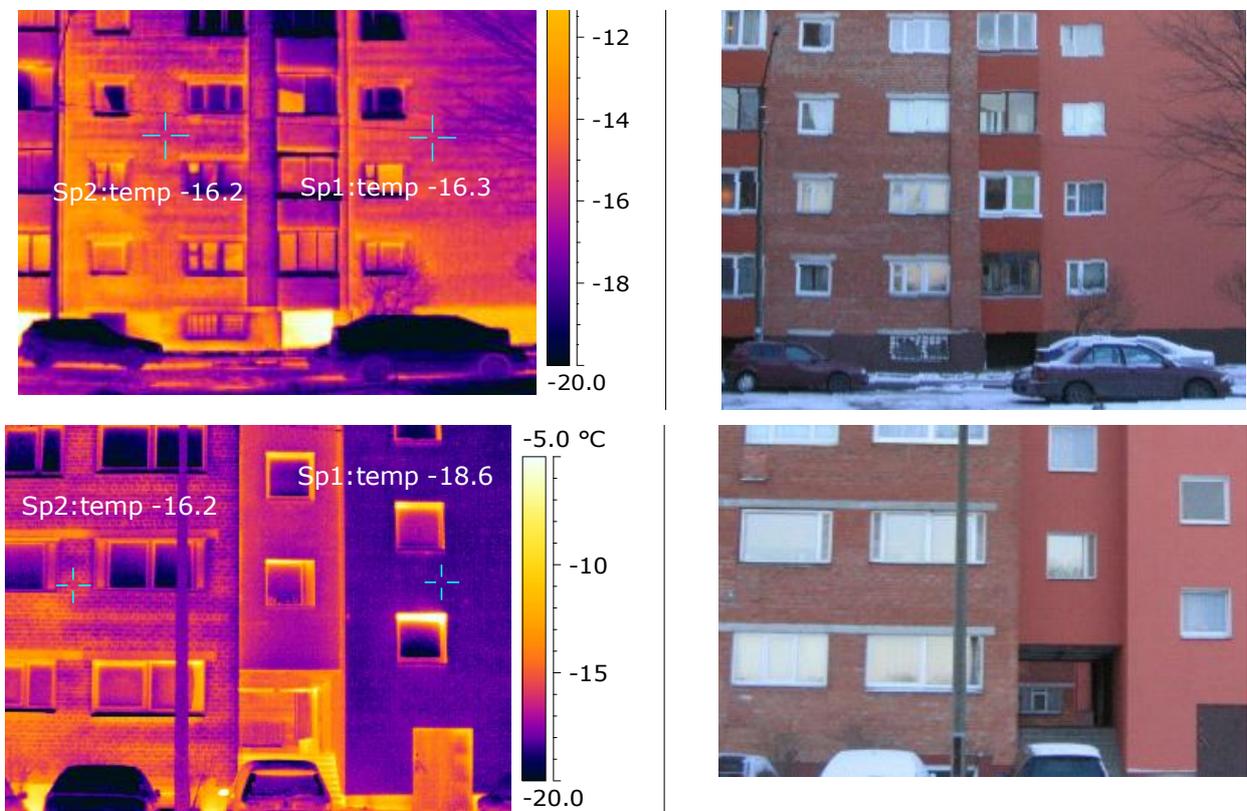


Рисунок 13.8 Сравнение температур внешних стен без дополнительного утепления (вверху) и утепленные (внизу).



Рисунок 13.9 Дополнительная изоляция соседних домов: новое (справа) решение отличается от предыдущего (слева) лучшим техническим и архитектурным качеством.



Рисунок 13.10. Чтобы избежать «дырок» окна при дополнительном утеплении, необходимо располагать окно ближе к внешней части внешней стены.

Проблему «дырок» окна можно устранить, переместив его ближе к слою дополнительной теплоизоляции, см. Рисунок 13.11.

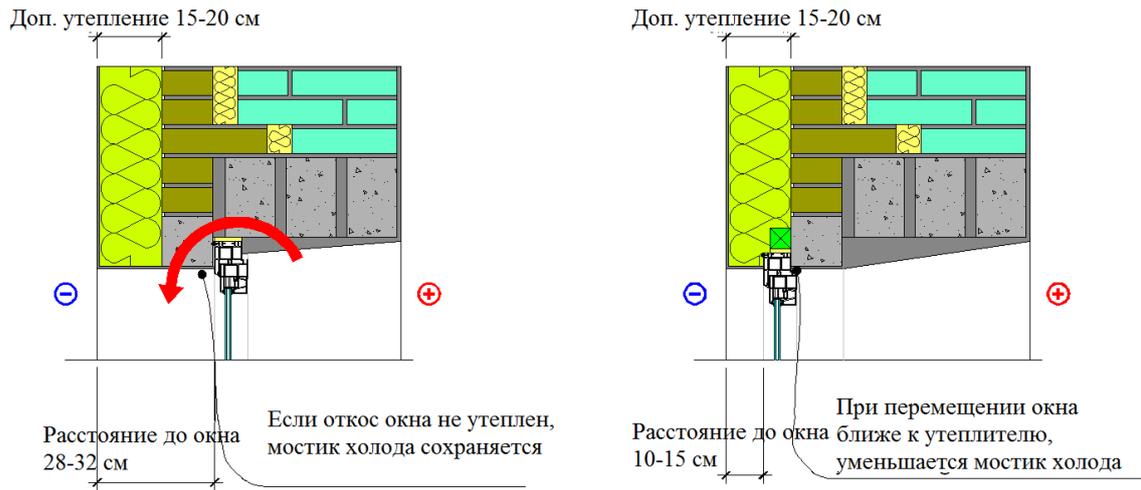


Рисунок 13.11 Мостика холода в месте соединения окна и стены (слева) можно избежать перемещением окна (справа).

Подобно внешним стенам необходимо утеплить также внешнюю стены лоджии и балкона. Во избежание мостов холода надо утеплить также перегородки лоджии. В перегородках лоджии можно ограничиться более тонкой, толщиной 50-70 мм теплоизоляцией.

Перед дополнительным утеплением наружных стен необходимо обязательно выяснить состояние соединений (стальные соединения или соединительные камни из кирпичей) между фасадными кирпичами и несущей стеной. Для этого следует местами открыть наружные стены с удалением фасадных кирпичей. Если нет уверенности в исправности соединений и/или для внешней стены с крепящейся легкой теплоизоляционной системой планируется тяжелая дополнительная теплоизоляция, совершенно необходимо дополнительное крепление фасада при помощи анкеров к несущей стене. Возможные варианты крепления кирпичной обшивки см. Рисунок 13.12.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

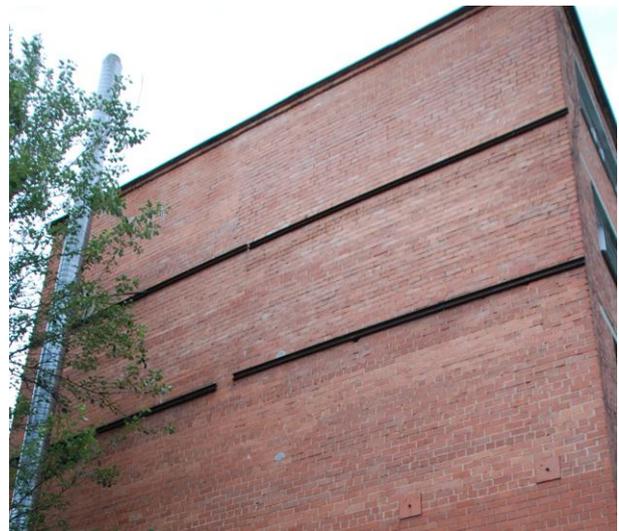
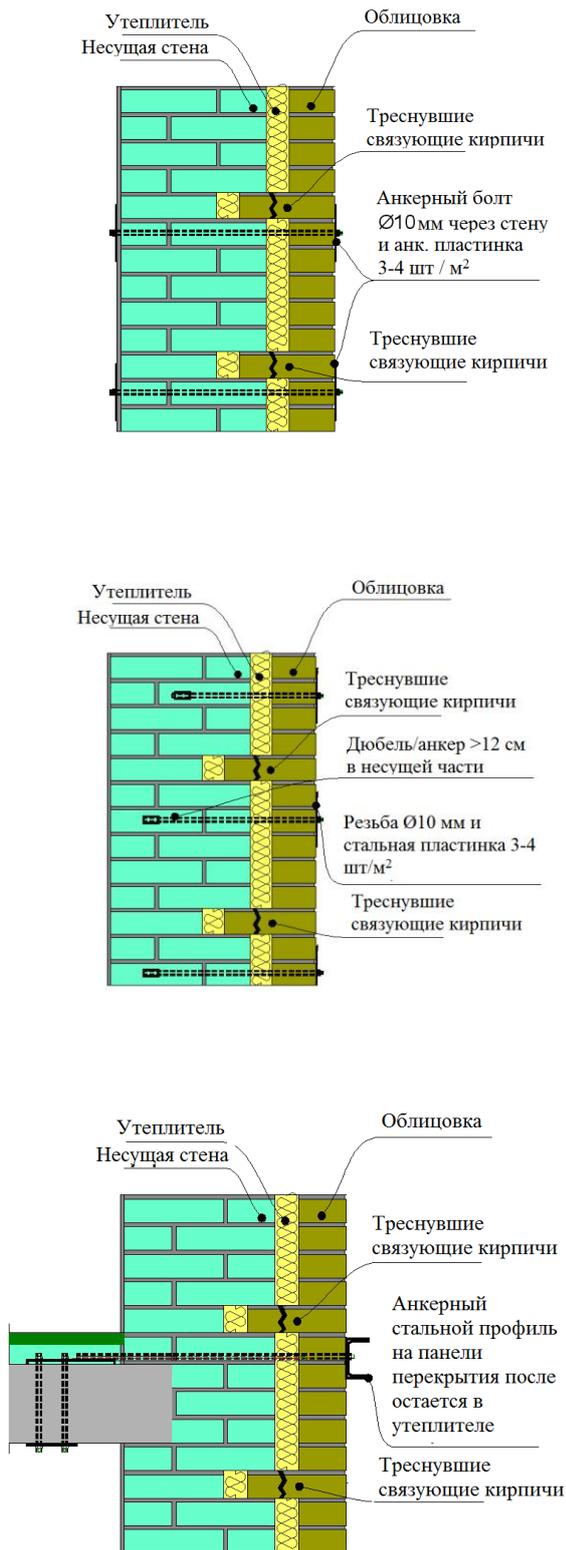


Рисунок 13.12 Основные схемы анкеровки кирпичного фасада несущей стены.

При дополнительном утеплении внешних стен необходимо соопутствие регулируемой системы отопления.

В ходе дополнительного утепления внешней стены требуется заменить все покрытия. Указания, касаемые защитных покрытий см. RT 80-10817 и RT 80-10632.

Список работ, выполненных в ходе реновации, см. Таблица 13.1.

Таблица 13.1 Итог работ по реновации внешних стен.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Внешние стены			
Внешние стены	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проверка связей между несущей стеной и облицовкой, по необходимости укрепление;</li> <li>• Замена поврежденных кирпичей или штукатурки;</li> <li>• Ликвидация существующих мостиков холода на внешних стенах;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Дополнительный 20...10 см слой теплоизоляции согласно энергосберегающему пакету;</li> </ul>	
Покрытия	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Исправление покрытий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Новые покрытия.</li> </ul>	

### 13.1.2 Балконы, козырьки

Перед работами по реновации всегда следует контролировать общее строительно-техническое состояние балконов и козырьков. Независимо от типа у них возникают похожие проблемы:

- отделение защитного слоя арматуры плиты балкона или козырька;
- повреждения плиты балкона или козырька вследствие влажности, холода или соли;
- коррозия арматуры;
- отделение ограждений балкона;
- недостаточные уклоны балконов и лоджий, что не обеспечивает отток воды.

Железобетонные элементы балконов и козырьков всегда в большей или меньшей степени повреждены. Поэтому решение по их реновации зависит прямо от масштаба повреждений. Наиболее важно остановить распространение повреждений конструкций и обеспечить несущую способность. Для сохранения существующих элементов следует удалить раскрошившийся бетон, очистить арматуру от коррозии и защитить, после чего надо восстановить бетонные части (при необходимости надо укрепить арматуру). Необходимо следить, чтобы используемый бетон был с достаточной морозоустойчивостью (например, класса ККЗ в случае открытых балконов) – у горизонтальных поверхностей, в сравнении с вертикальными, заметно большая влажностная нагрузка, и они требуют обычного устойчивого материала. При отсутствии больших повреждений для продления жизни балконной плиты можно установить дополнительный защитный слой (в случае дополнительного слоя из бетона проверить несущую способность балкона).

Когда балконные конструкции изношены настолько, что их действие в виде консоли сомнительно, следует установить поддержку из столбов или полностью убрать балконы и построить новые.

Крепление ограждений балконов и лоджий должно быть таким, чтобы избежать падения ограждений вниз и обеспечить безопасность находящихся на балконе. Часто достаточной может быть замена поврежденных частей ограждения и/или поврежденных креплений.

Кирпичные дома не спроектированы с застекленными балконами или лоджиями. Городскую среду загрязняют решения, когда каждый балкон застекляется по-разному. Технически застройка может быть обоснована, так как она уменьшает вызываемую осадками влажностную нагрузку на балконы и лоджии. Застекление балконов и лоджий продуманно только на основании единого решения для всего здания целиком. Предпочтительнее решение, когда используются системы балконных стекол без рам (через щели между стеклами балкон проветривается), и балкон/лоджия остается холодным помещением. Если балконы или лоджии застекляются, и образуемая площадь соединяется с внутренним помещением, балконные ограждения должны отвечать установленным требованиям для наружных ограждений, это значит, что они должны быть

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

дополнительно утеплены наподобие внешних стен. Торцевые стены лоджии обычно толщиной ~10-15 см, что не подходит для наружных ограждений отапливаемого помещения.

Старые и разрушенные тяжелые козырьки из железобетона разумно заменить на более легкое новое решение и не начинать реновировать старый козырек.

Таблица 13.2 Итог работ по реновации поврежденных балконов, лоджий или козырьков.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
<b>Балконы, козырьки</b>			
Несущие конструкции балконов	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт несущих конструкций, защита анкеров и арматурных стержней от коррозии.</li> <li>Устранение мостиков холода путем дополнительного утепления.</li> <li>Обновление материалов балконом и козырьков.</li> <li>Улучшение покрытий (как краев, так и центра).</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Поврежденные конструкции удаляются и строятся новые балконы и козырьки с опорой на земле (устранение мостика холода в месте бетонной опорной плиты).</li> </ul>
Ограждения балконов	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт границ балконов для обеспечения безопасности. Части, которые нельзя улучшить, заменяются.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Балконы и лоджии остекляются по единому проекту при едином утеплении ограждающих конструкций.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Установка новых граничных конструкций балкона (в случае открытого балкона).</li> <li>Объединение остекленных и утепленных балконов с помещением квартиры.</li> </ul>

### 13.1.3 Крыши

В сравнении с приведенным в более ранних исследованиях (ЕКК, Estkonsult) состояние крыш и кровельных перекрытий исследованных жилищ было лучше. У обновленных кровельных покрытий заметных проблем с водонепроницаемостью не возникает. У зданий с чердаком, где протекание кровельного покрытия не отражается прямо на квартире, к водоизоляции кровельного покрытия не относятся как к чему-то обязательному, как в случае с плоской крышей.

В случае зданий с наклонной крышей кровельное покрытие из этернита или жести в большинстве достигло стадии, когда нужна замена. При замене кровельного покрытия необходимо обратить внимание также на состояние несущих конструкций. Несущую способность настила и стропил следует обеспечить укреплением существующих стропил, их заменой или добавлением новых. Все поврежденные конструкции (поврежденная гнилью древесина и т.д.) следует заменить.

Чердачные и кровельные перекрытия по причине их большой теплопроводности надо дополнительно утеплить. Причина дополнительной теплоизоляции исходит, прежде всего, из потребности уменьшить мостики холода и теплопотери здания. Очень правильно поступили с жилищами, где в ходе замены кровельного покрытия перекрытие крыши дополнительно утеплили. Совместные работы по замене кровельного покрытия и дополнительному утеплению являются самой затратной деятельностью.

При замене покрытия крыши на новое дополнительное утепление можно считать совершенно обязательным. Снимать покрытие позднее и утеплять крышу неправильно больше в экономическом плане, эта деятельность требует больших затрат. Увы, но на данный момент для многих квартирных домов этот этап уже позади, так как кровельных покрытий с устаревшим уже рубероидом осталось мало. К сожалению, ремонт крыш часто

ограничивался только заменой покрытия, без укладки дополнительной теплоизоляции. В любом случае, дополнительное утепление крыши следует предпринять, если есть намерение заменить кровельное покрытие.

Дополнительное утепление кровельного перекрытия реально осуществить лишь установкой дополнительной теплоизоляции на существующую крышу, с удалением старого кровельного покрытия или без. После дополнительного утепления старые отверстия для проветривания необходимо закрыть, в противном случае внешний воздух проникнет под теплоизоляцию и её эффективность упадет. Дополнительное утепление и закрытие отверстий для проветривания меняет влаго-техническое действие кровельного перекрытия: в крыше образуется несколько пароизоляционных слоев и между двумя теплоизоляциями большое воздушное пространство. Толщина дополнительной теплоизоляции и решение с закрытием отверстий для проветривания должны обеспечить влаго-техническое действие крыши. Если старое кровельное покрытие остается, и дополнительная теплоизоляция устанавливается на него, толщина дополнительной теплоизоляции должна быть такой, чтобы под старым покрытием не возникло критических влаго-технических условий среды: не возникала бы конденсация водяного пара или опасность роста плесени. При закрытии отверстий для проветривания надо быть уверенным, что лишняя влага (вызванная, например, при более раннем протекании крыши) испарилась с крыши. Если есть страх, что в прежнем пространстве для проветривания по причине протекания крыши есть лишняя влага, тогда на крышу можно установить временные трубы для проветривания. Через трубы для проветривания влага сможет испариться. Если вероятный период испарения один год, тогда после трубы для проветривания можно закрыть монтажной пеной. Сделанные в крыше отверстия для проветривания легче закрыть, так как не требуется менять отделку фасада и работу можно делать с крыши.

Дополнительное утепление крыши разумно проводить вместе с утеплением фасада. Такое решение обеспечивает лучший конечный результат. При небольших денежных возможностях есть вариант утеплить сначала только боковые стены здания и крышу, а для торцевых стен ограничиться утеплением только мест соединения крыши и наружной стены (см. Рисунок 13.13).

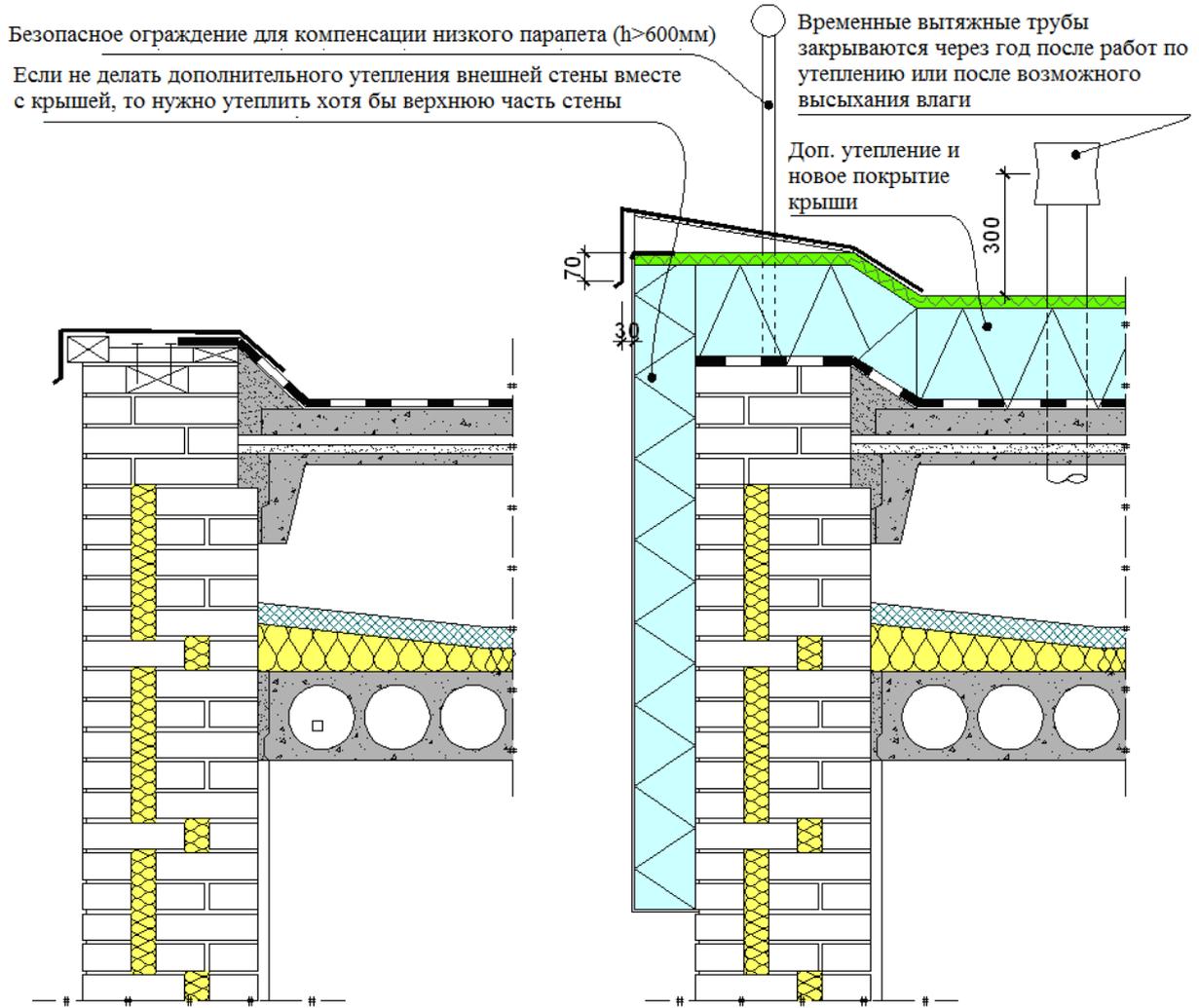


Рисунок 13.13 Основная схема утепления места соединения крыши и стены, где утепление угловой стены проходит в два этапа: слева положение до утепления, справа утепленный узел парапета.

Необходимую толщину дополнительной теплоизоляции определяют расчет энергетической эффективности, влажностный режим крыши и оптимальное строительно-техническое решение. По строительно-техническим меркам минимальной границей толщины теплоизоляции можно считать 20-25 см, однако с позиции энергетической эффективности, возможно, будет нужна изоляция большей толщины. Утепление пола на чердаке требует от альтернатив меньше работ по перестройке, подходит в таком случае, когда остальные кровельные конструкции в хорошем состоянии и пользование чердаком ненужно или невозможно. При дополнительном утеплении чердака целесообразно (для уменьшения толщины и массы перекрытия) убрать находящийся там наполнитель (песок, стружки, ТЕР-плита, старая минеральная вата и т.п.) с перекрытия, и заменить его на новый теплоизоляционный материал с меньшей массой и удельной теплопроводностью.

При перемещении поверхности крыши необходимо обеспечить, чтобы поднятие влагоизоляции к трубам и другим кровельным втулкам было хотя бы 30 см. Находящиеся на крыше вентиляционные трубы возможно выложить выше. При низком парапете может возникнуть потребность установить на крыше карнизный барьер высотой 600 мм для обеспечения безопасности передвигающихся по крыше, пожарной и спасательной команд.

Если кровельное покрытие протекает, действовать надо быстро и времени искать решение по утеплению всего здания нет. Если денежные возможности не позволяют дополнительно утеплить кровельное покрытие, следует старое и новое кровельные

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

покрытия разделить между собой жесткой или полужесткой плитой из минеральной ваты толщиной 20-30 мм, что обеспечит новому покрытию равномерную основу, и деформации старого покрытия не повлияют на новое. В долгосрочной перспективе установка нового кровельного покрытия без дополнительной теплоизоляции может считаться нецелесообразной.

Вдобавок к существующей дополнительной теплоизоляции плоской крыши есть еще два общепризнанных решения по реновации: постройка крыши с низким уклоном и надстройка дополнительного этажа.

Низкую наклонную крышу можно считать надежнее плоской, хотя в то же время это решение дороже. Поскольку правильно выполненная плоская крыша выполняет свое назначение хорошо, следует основательно взвесить экономическую целесообразность постройки низкой наклонной крыши. С низкой наклонной крышей возможно улучшить также решение вентиляции: удлинить дымоход трубы, что важно, учитывая вентиляцию последнего этажа, и установить под крышу вентиляционные устройства. Вентиляционный дымоход и стояки канализации в каком-то случае можно закончить под наклонной крышей, только трубы надо удлинить так, чтобы был требуемый подъем над поверхностью крыши.

При постройке дополнительного этажа экономическая целесообразность зависит в большинстве от ситуации на рынке недвижимости и на данный момент явно неразумна, что однако не означает, что ситуация не может измениться. Вдобавок, разумность дополнительного этажа зависит от местоположения здания и открывающихся из окон видов. Естественно, при постройке дополнительного этажа необходимо учитывать требования по пожаробезопасности.

Окончания вентиляционных дымоходов в большинстве в порядке, местами отсутствуют покрытия у труб для проветривания. Оттоки воды, в основном, свободны, достаточно часто отсутствуют препятствующие попаданию мусора в трубы для оттока покрытия. При засоренных оттоках воды их, естественно, сразу надо очищать.

Таблица 13.3 Итог работ по реновации крыши.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Крыши			
Покрытие крыш	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечивается водонепроницаемость покрытия крыши: частичная герметизация или полная замена.</li> <li>• В случае закрытого перекрытия крыши контролируется состояние тепла, чтобы избежать намокания.</li> <li>• Обеспечиваются скаты для водостоков.</li> <li>• Улучшаются покрытия крыши и положение системы проветривания (отверстия для проветривания во внешних стенах и трубы).</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Строится крыша с маленьким уклоном.</li> <li>• Строится дополнительный этаж сверху.</li> </ul>
Несущие конструкции	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечивается несущая способность настила и стропил, укреплением стропил, заменой или добавлением новых.</li> <li>• Все поврежденные конструкции заменяются.</li> </ul>		

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Допол. утепление	<ul style="list-style-type: none"> <li>Перекрытие крыши дополнительно утепляется, если заменяется все покрытие крыши.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Крыша дополнительно утепляется минеральной ватой или пенополистиролом согласно пакету энергоэффективности.</li> <li>Устанавливается новое устройство проветривания на слой дополнительного утеплителя.</li> <li>Отверстия для проветривания закрываются через год после дополнительного утепления.</li> </ul>	
Трубы, дымоходы, стоки	<ul style="list-style-type: none"> <li>Регулируются или заменяются поврежденные или отсутствующие части дымоходов и труб, по необходимости удлиняются.</li> <li>Очищаются забитые водостоки, на них устанавливаются покрытия, защищающие от попадания мусора.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>При создании уклона на крыше или пристройке дополнительного этажа разрабатывается новая система водостоков, удлиняются трубы или дымоходы.</li> </ul>

### 13.1.4 Мостики холода

Проблему можно уменьшить дополнительным утеплением наружных ограждений и уменьшением влажностной нагрузки (лучшая вентиляция, исправное отопление, меньшая выработка влаги). Для того, чтобы обеспечить безопасный и здоровый внутренний климат, это неизбежно.

Для ликвидации мостов холода достаточно внешней дополнительной теплоизоляции толщиной 50–70 мм. В то же время такая маленькая толщина теплоизоляции экономически нецелесообразна. Удельный вес толщины теплоизоляции в цене всей дополнительной теплоизоляции (отделка, леса, работа и т.д.) небольшой по сравнению с экономией энергии, получаемой от более толстой теплоизоляции. Поэтому при утеплении следует исходить из расчета энергоэффективности жилища.

Утепления наружных ограждений изнутри в любом случае нужно избегать, потому что такое утепление не ликвидирует мостики холода и не уменьшает теплопотери. Утепление только стены делает мосты холода заметно меньше, однако не ликвидирует их. Утепление всего узла минимизирует мостики холода, и дополнительная проводимость и критичность существенно уменьшаются в сравнении с изначальными. Таким образом можно улучшить энергоэффективность здания и уменьшить риск возникновения плесени.

### 13.1.5 Перекрытия

В случае перекрытий большим недостатком является их недостаточная звукопроницаемость. При обеспечении звукопроницаемости перекрытий можно руководствоваться акустической классификацией зданий различных звуковых классов (INSTA 122:1998), см.

Таблица 13.4.

Таблица 13.4 Итог работ по реновации перекрытий.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Крыши			
Перекрытие	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивается индекс изоляции воздушного шума <math>R'w, dB &gt; 50</math>дБ.</li> <li>Обеспечивается взвешенный индекс уровня воздействия шума <math>L'n,w, dB &lt; 58</math>дБ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивается индекс изоляции воздушного шума <math>R'w, dB &gt; 55</math>дБ.</li> <li>Обеспечивается взвешенный индекс уровня воздействия шума <math>L'n,w, dB &lt; 53</math>дБ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивается индекс изоляции воздушного шума <math>R'w, dB &gt; 58</math>дБ.</li> <li>Обеспечивается взвешенный индекс уровня воздействия шума <math>L'n,w, dB &lt; 48</math>дБ.</li> </ul>

### 13.1.6 Проёмы: окна и двери

Решение окон и балконных дверей кирпичных жилищ обычно выполнено с двумя деревянными рамами и двумя стеклами (более старые дома) или с одной деревянной рамой и двумя-тремя стеклами, у которых маленькая как тепло-, воздухо-, так и звукопроницаемость. Теплопроводность через окна можно оценить как  $U \approx 3 \dots 2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Теплопроводность в современных окнах до трех раз меньше.

В ситуации при изначальном строительстве прохождение воздуха через неуплотненное окно было необходимо для естественной вентиляции: окно было главным источником притока свежего воздуха. В случае здания с реновированной вентиляцией окна не должны пропускать много воздуха, так как приток свежего воздуха обеспечивается механически или через находящиеся за радиатором клапаны свежего воздуха.

Если у здания не заменено около половины окон, можно серьезно взвесить замену всех (также уже замененных) окон и перемещение окон к наружной поверхности внешней стены, см. Рисунок 13.11. В этом случае возможно уменьшить мост холода в месте соединения окна и стены и использовать новые энергетически эффективные ( $U \leq 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) окна. Ранее замененные окна следует отдать на дальнейшее использование.

У более старых жилищ, чьи окна удаляются по причине архитектурной или культурной ценности, состояние окон следует выяснить персонально и в каждом конкретном случае решить, годится ли окно для реновирования. В случае сохраняемых окон их следует очистить от старой краски, запломбировать поврежденные участки, обеспечить исправное открывание окна, при возможности взвесить замену стекла на более энергоэффективный стеклопакет (может потребоваться фрезеровка окна), загрунтовать, покрасить и снабдить уплотнителем. Окна в так называемых спальнях районах в общем случае более плохого качества и в ходе полного реновирования здания заслуживают замены.

**Замена или реновация окон должна сопровождаться и реновацией вентиляции.**

С точки зрения пожарной безопасности входные двери квартир должны отвечать требованиям огнеупорности двери EI30 (TP-1). Ширина входных дверей в квартиру должна быть минимум 900 мм и ширина входных дверей в подъезды в общем случае должна быть минимум 1200 мм (с территории эвакуации, где число людей до 60, ширина одного эвакуационного выхода может быть 900 мм). Дверь, открываемая в подъезд, не должна сужать дорогу, где происходит поток движения.

Во время пожара дым и горячие газы от сгорания выводятся из подъезда главным образом через открываемые окна. В здании до восьми этажей должна быть возможность

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

устранять дым из подъезда или через легко открывающиеся окна величиной 0,5 м<sup>2</sup> с уровня каждого этажа, или через находящийся на крыше подъезда, открываемый на первом этаже здания вручную дымоход, полезная площадь которого 1 м<sup>2</sup>, или через окно на крыше.

По причине безопасности входные двери подъездов в исследованных квартирных домах были заменены на новые двери, и в большинстве домов установлена также система с домофоном.

Таблица 13.5 Итог работ по реновации дверей и окон.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Двери, окна			
Входные двери подъездов	<ul style="list-style-type: none"> <li>Существующие двери ремонтируются или заменяются новыми, отвечающими требованиям безопасности.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Устанавливаются домофоны.</li> </ul>
Окна подъездов	<ul style="list-style-type: none"> <li>Существующие окна ремонтируются или заменяются новыми <math>U \leq 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>При возможности открывания окон требуется устранение возможности курить в подъездах.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Полная замена окон (<math>U \leq 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>) и их перемещение на внешний слой внешней стены.</li> </ul>	
Квартирные двери	<ul style="list-style-type: none"> <li>Устанавливаются пожароустойчивые двери.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Устанавливаются одинаковые пожароустойчивые двери.</li> </ul>
Окна в квартирах и двери на балконы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Существующие двери ремонтируются или заменяются новыми, <math>U \leq 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>С уплотнением и заменой окон реновируется вентиляционная система.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Полная замена окон (<math>U \leq 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>) и их перемещение на внешний слой внешней стены.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Окна заменяются новыми, переносятся ближе к внешней части фасада.</li> <li>С уплотнением и заменой окон реновируется вентиляционная система.</li> </ul>

### 13.1.7 Лестницы, подъезды

Таблица 13.6 Итог работ по реновации лестниц и подъездов.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Лестницы, подъезды			
Внутренние лестницы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Арматура защищается от коррозии, обеспечивается защитный слой арматуры.</li> </ul>		
Перила	<ul style="list-style-type: none"> <li>Регулируются по требованиям безопасности и пожарной безопасности.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Устанавливаются новые современные перила.</li> </ul>
Стены и потолки подъездов			<ul style="list-style-type: none"> <li>Исправляются поврежденные места или заново окрашиваются.</li> </ul>
Пожарные лестницы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Арматура защищается от коррозии, обеспечивается защитный слой арматуры.</li> <li>Углубленные части возвращаются в нормальное положение.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Устанавливаются новые пожарные лестницы.</li> </ul>

### 13.1.8 Стены подвалов, цоколь

Таблица 13.7 Итог работ по реновации стен подвалов и цоколя.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Стены подвалов, цоколь			
Цоколь	<ul style="list-style-type: none"> <li>Упорядочивание швов между панелями.</li> <li>Улучшение и покрытие бетона.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Дополнительное утепление цоколя согласно пакету энергоэффективности.</li> </ul>	
Подземная часть стены подвала	<ul style="list-style-type: none"> <li>По необходимости устанавливается гидроизоляция.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Дополнительное утепление стен подвала согласно пакету энергоэффективности</li> </ul>	

### 13.1.9 Влажные и мокрые помещения

Таблица 13.8 Итог работ по реновации влажных и мокрых помещений.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Влажные и мокрые помещения			
Конструкции	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивается герметичность в мокрых зонах.</li> <li>Обеспечиваются уклоны пола.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Устанавливается утепление пола.</li> </ul>
Вентиляция	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивается вентиляция во влажных и мокрых помещениях. При необходимости в вентиляционные трубы устанавливаются вытяжные вентиляторы.</li> <li>Проверяется, чтобы вентиляционные отверстия были открыты, прочищены и их работе не мешали подвесные потолки.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Устанавливается система вентиляции с теплоутилизатором.</li> </ul>	

### 13.1.10 Контроль шума и звукоизоляция

Таблица 13.9 Итог работ по реновации звукоизоляции.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Контроль шума и звукоизоляция			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивается индекс изоляции воздушного шума <math>R'w, dB &gt; 50</math>дБ.</li> <li>Обеспечивается взвешенный индекс уровня воздействия шума <math>L'n,w, dB &lt; 58</math>дБ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивается индекс изоляции воздушного шума <math>R'w, dB &gt; 55</math>дБ.</li> <li>Обеспечивается взвешенный индекс уровня воздействия шума <math>L'n,w, dB &lt; 53</math>дБ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивается индекс изоляции воздушного шума <math>R'w, dB &gt; 58</math>дБ.</li> <li>Обеспечивается взвешенный индекс уровня воздействия шума <math>L'n,w, dB &lt; 48</math>дБ.</li> </ul>

## 13.2 Техносистемы

### 13.2.1 Теплоснабжение

Таблица 13.10 Итог работ по реновации теплоснабжения.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Теплоснабжение			
Теплоузел	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонтируется старый теплоузел.</li> </ul>		
Трубопровод	<ul style="list-style-type: none"> <li>При необходимости заменить, учитывая макс. срок службы.</li> </ul>		
Счетчик теплоэнергии		<ul style="list-style-type: none"> <li>При отсутствии устанавливается.</li> </ul>	
Теплообменник системы отопления		<ul style="list-style-type: none"> <li>При отсутствии желательно установить.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>При отсутствии устанавливается.</li> </ul>
Теплообменник горячей воды		<ul style="list-style-type: none"> <li>При отсутствии устанавливается.</li> </ul>	
Регулируемая автоматика	<ul style="list-style-type: none"> <li>Налаживается так, чтобы поддерживать постоянную, одинаковую температуру в квартире.</li> </ul>		
Циркуляционные насосы		<ul style="list-style-type: none"> <li>Проверяется годность, при необходимости заменяется.</li> </ul>	
Запорная арматура	<ul style="list-style-type: none"> <li>Контролируется замена «неисправной» арматуры.</li> </ul>		

### 13.2.2 Отопление

При реновации системы отопления следует обращать внимание на техническое состояние трубопроводов и отопительных приборов, а также на общее положение системы в целом. Нынешний водопровод находится в состоянии, требующем немедленной замены. По части обогревателей: чугунные батареи в хорошем состоянии, но более изношенные жестяные радиаторы требуют замены.

Если в доме устанавливается механическая система вытяжки в вентиляции, необходимо обеспечить поток свежего воздуха. Чтобы зимой воздух, попадающий в квартиру с улицы, не нарушал теплового удобства и не закупоривались отверстия свежего воздуха, необходимо использовать предварительный нагрев внешнего воздуха. Наиболее целесообразно это сделать при помощи радиаторов с клапанами свежего воздуха, см. Рисунок 13.14.

Итог работ по реновации системы отопления см. Табл. 13.11

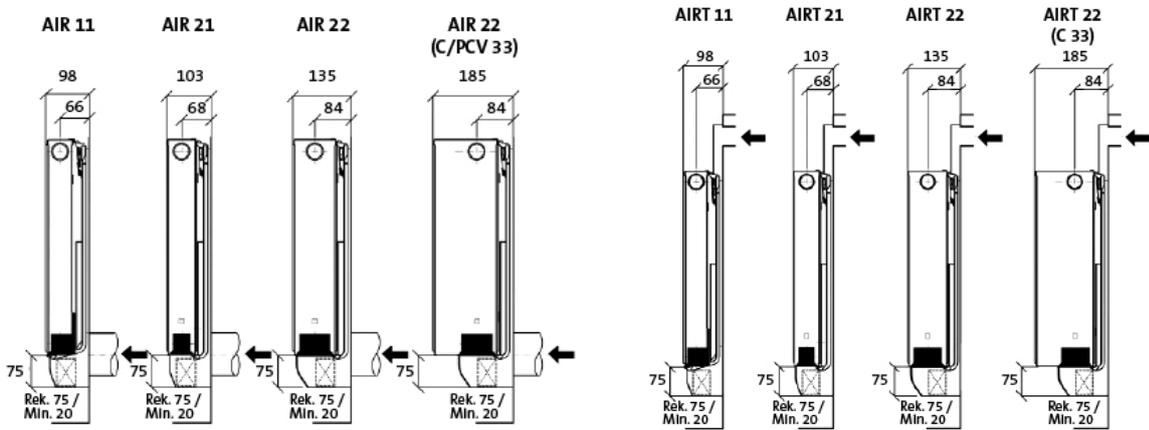


Рисунок 13.14 Радиаторы с клапанами свежего воздуха и принцип их работы (внизу).

Таблица 13.11 Заключение о различных видах работ по реновированию отопительной системы.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
Отопление			
Система отопления	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Настройка существующей системы до нужной температуры и воздушного потока в целях сохранения единой температуры во всех помещениях.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вариант 1: двухтрубная система.</li> <li>• Вариант 2: реновация одно-трубной системы вместе с отдельными возможностями регулирования.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Расход на отопления измерением квартиры. Следует учитывать, что в каждой квартире соблюдены требования микроклимата (температура, относительная влажность).</li> <li>• Существующая система распределения расходов требует точности и дополнительных исследований.</li> </ul>
Трубы отопления и теплотрассы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• При необходимости заменить, учитывая макс. срок службы.</li> </ul>		
Балансировка стояков и магистралей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Необходимо.</li> </ul>		
Запорная арматура стояков	<ul style="list-style-type: none"> <li>• При необходимости заменить или установить.</li> </ul>		
Радиаторы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проверить, заменить изношенные;</li> <li>• В случае механической вентиляции установить радиаторы с клапанами свежего воздуха.</li> </ul>		
Воздушные вентили	<ul style="list-style-type: none"> <li>• При необходимости заменить или установить.</li> </ul>		
Изоляция трубопровода		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Трубопровод следует утеплять в неотапливаемых помещениях: на чердаках, в подвалах.</li> </ul>	

### 13.2.3 Вентиляция

Проведенный в рамках исследования осмотр техносистем подтверждает, что естественная вентиляционная система кирпичных домов амортизирована (см. п. 10.1.2) и не обеспечивает требуемый воздухообмен. Часто дымоходы вентиляции не уплотнены, засорены, и стены с шероховатостями. Вдобавок на протяжении срока эксплуатации было проведено несколько перестроек.

Правильная реновация естественной вентиляции означает, что во всем здании и в конкретной квартире восстанавливается состояние вентиляционной системы, соответствующей проекту. Вентиляционные каналы очищаются, уплотняются, и при необходимости квартиры соединяются с нужными стояками. **Условием для используемых решений по реновации существующих вентиляционных каналов является ремонт естественной вентиляционной системы. Особенно важным считается уплотнение старых шахт.**

Уплотнение дымохода вентиляции относительно сложная и требующая времени работа, выполнение которой усложняет отсутствие места. Из различных решений можно использовать уплотнительную смесь, установку чулка или круглого канала из жести в существующую шахту. При использовании чулка он вводится в шахту при помощи каната и вдавливается пневматически на стенку существующего канала. При установке круглого канала в строительный вентиляционный дымоход необходимо следить, чтобы скорость воздуха в канале не превысила 3,5 м/с.

При использовании только естественной вентиляционной системы невозможно обеспечить воздухообмен, соответствующий сегодняшним нормам. Проблема острее всего при теплых маловетренных погодах и в квартирах последних этажей. Согласно результатам симуляции естественной вентиляции в большой степени меняется среднее количество потока воздуха вытяжки участвовавшей в исследовании квартиры в разрезе года (см. Рисунок 13.15).

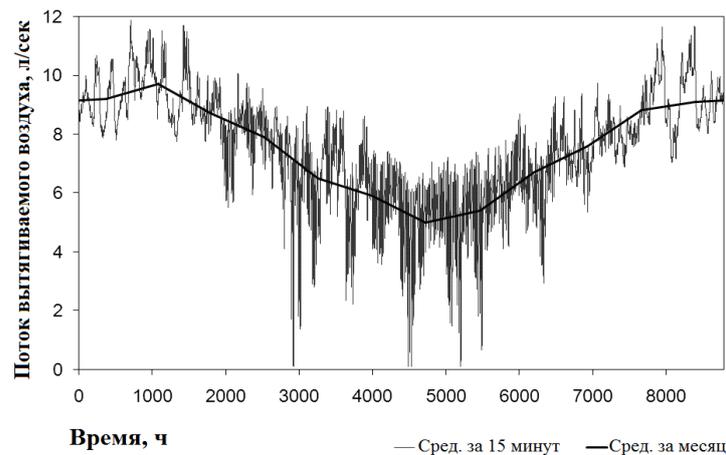


Рисунок 13.15 Вытяжка естественной вентиляции со средним воздухообменом в квартире в течение годового периода (моделирование).

Для обеспечения достаточного воздухообмена следует установить клапаны свежего воздуха в жилые комнаты и спальни. В то же время обычные клапаны свежего воздуха (см. Рисунок 13.23) не обеспечивают желаемого воздухообмена из-за слишком маленького давления вытяжки. Решением является установка клапанов свежего воздуха, снабженных вентилятором и отопительным элементом.

Вентиляция нужна для обеспечения в зданиях здорового и комфортного внутреннего климата. Главным заданием вентиляции является устранение смешанного с загрязняющими веществами воздуха из внутренних помещений и его замена на свежий внешний воздух. Самые распространенные из источников загрязнения жилых зданий это водяной пар (приготовление пищи, мытье, человеческая деятельность),  $\text{CO}_2$  (человеческая деятельность, мебель, материалы здания),  $\text{CO}$ , летучие органические соединения и табачный дым.

Для улучшения внутреннего климата квартир и воздухообмена есть разные возможности. Перед окончательным выбором решения по реновации нужно провести исследования по внутреннему климату и строительные исследования. В случае кирпичных домов особенно важно получить обзор проектных решений вентиляционных дымоходов и нынешнего состояния. Обязательно нужно учесть, что система с главным каналом требует в сравнении с решением с отдельными каналами различных технических решений для избегания смешивания воздуха между квартирами. Также важно, происходит ли реновация на основе квартиры, подъезда или здания. Следует учитывать, что ограждения здания, отопительная система и вентиляция образуют одно целое, поэтому решения по реновации должны быть комплексными и подходить для всего здания. Для достижения желаемого результата перед началом реновации нужно установить его масштаб и запрашиваемый уровень.

Чтобы достичь удовлетворительного внутреннего климата вентиляционные системы для жилого здания нужно проектировать по установленным требованиям к вентиляции. Для проектирования вентиляции для жилищ действует стандарт определения исходных параметров энергетической эффективности зданий. Внутренний климат существенно реновируемых зданий должен отвечать хотя бы II классу внутреннего климата стандарта EVS-EN 15251:2007 (см. Таблица 8.1 и Табл. 8.2). В постановлении ПР номер 258 приведены используемые в энергорасчетах количества потока воздуха, которые соответствуют минимальным требованиям энергоэффективности (см. Таблица 13.12). При проектировании необходимо использовать приведенную в таблицах исходную величину, которая из методов расчета (кратность воздухообмена, воздухообмен на площадь помещения и воздухообмен на человека) обеспечивает наибольший воздухообмен.

Таблица 13.12                      Количества потока воздуха вентиляции по энергорасчетам жилищ

Общий воздухообмен, л/с	Жилые комнаты и спальни л/(с·м <sup>2</sup> )	Вытяжка кухни, л/с	Вытяжка ванной комнаты, л/с	Вытяжка туалета, л/с
0,42	1,0	20	15	10

Вентиляционную систему учитывать в соответствии с необходимым количеством потока воздуха:

- рассчитывается суммарное количество потока воздуха по замкнутой площади всего здания (0,42 л/(с·м<sup>2</sup>));
- рассчитывается суммарное количество потока воздуха по жилой площади (площади пола жилых комнат и спален) (1 л/(с·м<sup>2</sup>), к которому прибавляется количество потока воздуха нежилых помещений, посчитанное по общему воздухообмену;
- из двух предыдущих выбирается наибольшее количество потока воздуха для суммарного количества потока воздуха, причем посчитанная из суммарного количества потока воздуха кратность воздухообмена максимально равна 1/4;
- вытяжки выбираются и подразделяются таким образом, что их сумма равна суммарному количеству потока воздуха. Вытяжка решается при помощи вытяжных каналов санитарных помещений и кухни.

Учитывать следует также то, чтобы вентиляционная система не производила лишнего шума. Запрашиваемый уровень суммарного звукового давления технических установок (водные и канализационные устройства, отопительные, вентиляционные и охлаждающие устройства, лифты и т.п.) в расчетной ситуации  $L_{pA,eq,T} \leq 25$ дБ и  $L_{pA,max} \leq 32$ дБ (постановление министра социальных дел номер 42).

В данном исследовании в случае проделанных энергорасчетов и расчетов по окупаемости предполагалось, что в квартире не пребывали постоянно. С позиции постановления по минимальным требованиям энергоэффективности степень использования квартирных жилищ 0,6, это, проще говоря, означает, что при проведении энергорасчетов предполагалось, что время использования квартиры 14 часов в день. Вне времени использования (10 часов в день) воздухообмен помещений можно уменьшить, что в плане экономии энергии является хорошим решением. В то же время надо учитывать также то, что часть квартир находится в постоянном использовании (семьи с детьми, старики) и там невозможно уменьшение количества потока воздуха. Для времени вне использования жилых помещений в стандарте EVS-EN 15251:2007 предусматривается воздухообмен 0,05–0,1 л/(с·м<sup>2</sup>). В типовой квартире кирпичного дома количество потока воздуха должно быть в этом случае 4–10 л/с. Исходя из этого, в данном исследовании средним воздухообменом для времени вне использования считали 10 л/с. За средний воздухообмен во время использования помещения взяли 35 л/с, что обеспечивает воздухообмен II класса теплового комфорта в типовой квартире с 4 взрослыми жителями. Следует обратить внимание, что используемые для энергорасчетов вентиляции количества потока воздуха действуют только в случае, когда системы регулируются по мере необходимости. При одновременной работе кухонной вытяжки и вентиляторов санитарных помещений максимально возможный воздухообмен квартиры

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

45 л/с. В случае, когда возможность уменьшить количество потока воздуха отсутствует, энергозатраты системы следует рассчитывать по максимальному количеству потока воздуха.

В данном рапорте подробнее остановились на 4 возможных решениях по реновированию:

- механическая вентиляция притока-вытяжки с агрегатами в квартирах;
- механическая вентиляция притока-вытяжки с агрегатами на квартиру;
- центральная механическая вытяжка, установка радиаторов или клапанов свежего воздуха;
- механическая вытяжка из кухни и санитарных помещений, установка радиаторов и клапанов свежего воздуха, преимущества и недостатки которых см. Таблица 13.13.

Таблица 13.13 Решения реновации вентиляции.

Предпосылки к использованию решения	Преимущества	Недостатки	Замечания
<b>Механическая вентиляция притока-вытяжки с агрегатами в квартирах</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Воздухообмен квартиры недостаточный</li> <li>• Число пропускаемого воздуха здания <math>q_{50} &lt; 5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Не нужно реновировать все здание или подъезд</li> <li>• Большая экономия энергии</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проблема шума</li> <li>• Большое начальное вложение</li> <li>• Опасность сквозняка</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В случае системы с главным каналом добавить ко всем находящимся на стояке вентиляторам клапаны обратного потока</li> </ul>
<b>Механическая вентиляция притока-вытяжки с агрегатами на квартиру</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Воздухообмен квартиры недостаточный</li> <li>• Число пропускаемого воздуха здания <math>q_{50} &lt; 5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Не нужно реновировать все здание или подъезд</li> <li>• Очень хорошее распределение воздуха и внутренний климат</li> <li>• Большая экономия энергии</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проблема шума</li> <li>• Большое начальное вложение</li> <li>• Установка каналов в квартиру проблематична</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В случае системы с главным каналом выводить использованный воздух из наружной стены</li> </ul>
<b>Центральная механическая вытяжка, установка радиаторов или клапанов свежего воздуха и теплонасос вентиляции</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Воздухообмен квартиры недостаточный</li> <li>• Реновирование всего дома или подъезда</li> <li>• Достаточная плотность дымохода вентиляции</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Можно использовать теплонасос для вытяжки воздуха</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проблема шума</li> <li>• Опасность сквозняка</li> <li>• Недостаточная мощность отопления</li> <li>• Управление, основанное на потребностях, сложное и дорогое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В случае системы с главным каналом добавить в квартиры клапаны регулировки</li> </ul>
<b>Механическая вытяжка из кухни и санитарных помещений, установка радиаторов и клапанов свежего воздуха</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Воздухообмен квартиры недостаточный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Низкая цена строительства</li> <li>• Возможность для регулировки квартир</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Без тепловозврата</li> <li>• Большой расход энергии</li> <li>• Проблема шума</li> <li>• Опасность сквозняка</li> <li>• Недостаточная мощность отопления</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В случае системы с главным каналом добавить ко всем находящимся на стояке вентиляторам клапаны обратного потока</li> </ul>

Энергорасчеты решений по ремонту проделаны с использованием метода градусо-дней. Один градус-день выражает разницу в 1 °С между средней учитываемой внутренней температурой (т.н. уравновешенная температура) и средней суточной (в период 24 ч) температурой внешнего воздуха. Количество градусо-дней нормального года в Таллинне при уравновешенной температуре 17 °С 4220 °С·дн.

Расход потребленной на подогрев воздуха энергии можно найти, используя формулу 13.1. (Kõiv & Loigu 2007):

$$Q = \sum_{i=1}^n (L \cdot c \cdot \rho \cdot S \cdot t \cdot 10^{-6} \cdot (1 - \Psi)) \quad (13.1)$$

$Q$	энергия, потребленная на обогрев воздуха, МВтч;
$L$	воздухообмен, л/с;
$n$	число периодов с разным количеством потока воздуха в день, -;
$c$	удельная теплота воздуха, кДж/(кг·°С);
$\rho$	плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup> ;
$S$	число градусо-дней, °С·дн.;
$t$	длительность период на протяжении суток, ч;
$\Psi$	коэффициент возврата тепла, -.

При сравнение решений следует учитывать как стоимость строительства, расходы на эксплуатацию, так и уровень внутреннего климата, достигаемый в результате реновации, и удобство использования системы. Стоимость строительства различных решений и расходы во время использования можно сравнить между собой также на экономическом основании, хотя достигаемый уровень внутреннего климата оценочный и зависит от субъективных обстоятельств.

При выполнении расчетов по окупаемости для повышения цены энергии и амортизационных расходов бралось 5% в год. Цены на энергию брались соответственно действующим сейчас в Таллине ценам на центральное отопление и электричество.

20 лет - подходящее время окупаемости вентиляционного агрегата квартиры и агрегатов помещений. Также в случае этих решений стоит иметь в виду, что использование этих решений обеспечивает очень хороший внутренний климат. Для обеспечения очень хорошей окупаемости при использовании вентиляционного теплонасоса для выработки теплой потребляемой воды, необходимо сделать точные расчеты и правильный проект и осуществление, чтобы система стала исправно работать. Перспектива при использовании теплонасоса больше при совместной выработке теплой потребляемой воды и воды для отопления, что в данных расчетах по окупаемости не затрагивалось. Самая малоокупаемая возможность при реновировании вентиляции - вентиляция с вытяжкой без рекуперации тепла. В случае с центральной вытяжкой главной проблемой является сложность осуществления регулировки в квартирах, что в свою очередь означает высокие затраты на эксплуатацию.

### Механическая вентиляция притока-вытяжки с агрегатами в помещениях

Послепроектное решение для восстановления вентиляционной системы выглядит следующим образом. Вентиляционные каналы очищаются, уплотняются и при необходимости квартиры соединяются с нужными стояками. В стены жилой комнаты и спальни устанавливаются агрегаты помещений с рекуперацией тепла (см. Рисунок 13.16). Вытяжка туалета и ванной комнаты обеспечивается при помощи вытяжных вентиляторов, и в кухню устанавливается вытяжка для плиты. Вытяжка санитарных помещений действует примерно на протяжении 20 минут после использования помещений, кухонная вытяжка работает только во время приготовления пищи. Во время работы вытяжных вентиляторов и вытяжки на кухне вытяжные вентиляторы агрегатов в помещениях в зависимости от технического решения системы выключаются или переходят в режим проветривания, что обеспечивает приток компенсирующего свежего воздуха в квартиру. При работе вентиляторов санитарных помещений и кухни в жилых комнатах и спальнях может возникнуть сквозняк. Поэтому для компенсации кухонной вытяжки или вытяжных

вентиляторов можно также использовать установленные на кухне клапаны свежего воздуха с электрокалорифером.

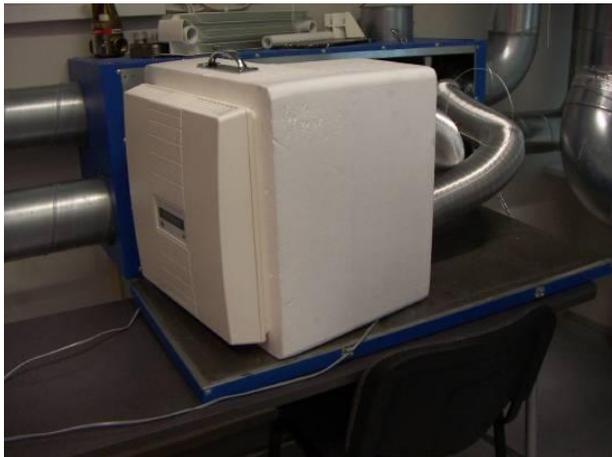


Рисунок 13.16 Использование вентиляционного агрегата M-WRG в лаборатории ТТУ (слева) и одна из частей парного прибора, обеспечивающего рекуперацией тепла (справа).

На основании технического решения тепловозврата агрегаты помещений можно разделить на устройства с пластинчатым и керамическим теплообменником. У агрегатов с пластинчатым теплообменником (см. Рисунок 13.16 слева) каналы воздуха притока и вытяжки находятся поблизости в одном устройстве. Получаемое из вытяжного воздуха тепло передается через пластинчатый теплообменник приточному воздуху. В случае приборов с керамическим теплообменником (см. Рисунок 13.16 справа) главной идеей решения является работа приборов в паре, где один прибор работает с функцией притока, в то время как его пара работает с функцией вытяжки. После 70-секундного цикла части прибора меняют свои функции. Нагретый в ходе предыдущего цикла за счет вытяжного воздуха энергонакопитель передает теперь накопленное тепло приточному воздуху, в то время как в режиме вытяжки в приборе снова происходит накопление энергии.

Также следует обратить внимание, что описанное решение работает только в случае, когда обеспечено движение воздуха между помещениями. Это значит, что под внутренними дверями квартиры должны быть щели в 10 мм. При необходимости можно вместо щелей установить в двери решетки переходящего воздуха.

При выполнении энергорасчетов предполагается, что во время использования помещений решение с агрегатами в помещениях обеспечивает воздухообмен квартиры 35 л/с и вне времени использования 10 л/с. В соответствии с данными измерений, например, относительное число температуры агрегата помещения M-WRG 0,73. Средним годовым коэффициентом использования можно считать 0,8. Расход энергии нормального года на обогрев вентиляционного воздуха 0,6 МВтч. Вместе с расходом электричества на вентиляторы и расходами на поддержание системы при нынешних ценах на энергию это дает примерно 1500 крон в год на 2-комнатную квартиру.

Реновация вентиляции квартир дома на вентиляционную систему механического притока-вытяжки с агрегатами в помещениях см. Рисунок 13.17.

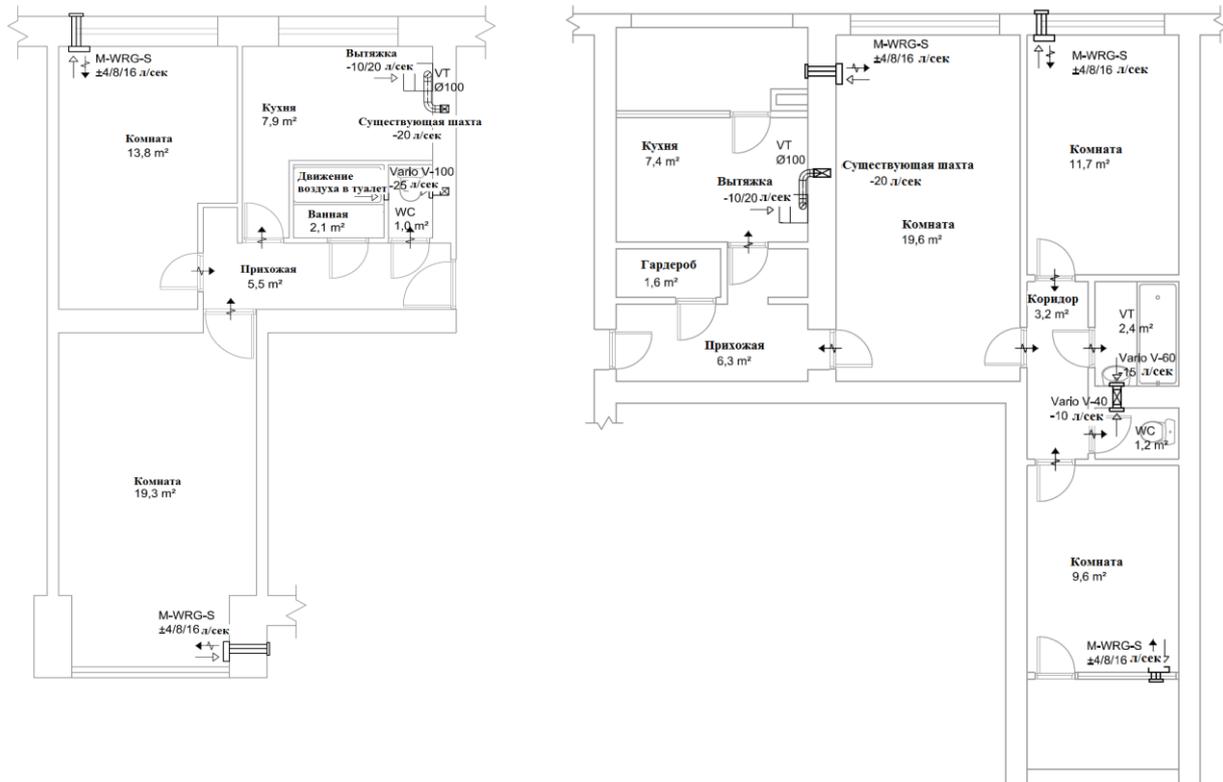


Рисунок 13.17 Механическая вентиляция притока-вытяжки агрегатами на примере 2-комнатной (слева) и 3-комнатной квартир (справа).

### Механическая вентиляция притока-вытяжки агрегатом, расположенным в квартире

Главным условием механической вентиляции притока-вытяжки является достаточная воздухопроницаемость ограждений здания. Если  $\epsilon_{st}$  это соотношение температуры теплового возврата, то в реальной ситуации покрывает тепловой возврат определенная часть количества потока воздуха. Следовательно, можно найти настоящую формулу эффективности теплового возврата 13.1

$$\epsilon_{st,teg} = \epsilon_{st} \cdot \left(1 - \frac{n_{inf}}{n}\right) \quad (13.1)$$

- $\epsilon_{st, teg}$  относительное количество действительной температуры, -;
- $\epsilon_{st}$  относительное количество температуры возврата, -;
- $n_{inf}$  обусловленная инфильтрацией кратность воздухообмена, ч<sup>-1</sup>;
- $n$  весь воздухообмен, ч<sup>-1</sup>.

В нескольких государствах (Швейцария, Бельгия, Чехия) предел воздухопроницаемости установлен соответственно типу вентиляционной системы. К примеру, по нормам Чехии (CSN 73 0540-2) кратность воздухообмена отличается от механической вытяжной вентиляции ( $n_{50}=1,5 \text{ ч}^{-1}$ ) и от механической вентиляции притока-вытяжки ( $n_{50}=1 \text{ ч}^{-1}$ ). Если количество потока воздуха притока и вытяжки в балансе, то доля ин- и эксфильтрации больше, чем в ситуации, когда в помещении пониженное и повышенное давление. Согласно исследованиям, проведенным в Великобритании (Lowe2000), при кратности воздухообмена  $n_{50} = 3 \text{ ч}^{-1}$  вытяжной вентиляции нет заметной ин- и эксфильтрации, и почти весь воздух проходит через вытяжной вентилятор. В тоже время для механической притока-вытяжки такой критической кратности воздухообмена нет.

Проектное решение вентиляционной системы восстанавливается. Вентиляционные каналы очищаются, уплотняются и при необходимости квартиры соединяются с нужными стояками. Воздухообмен в квартире обеспечивает установленный в кухне или прихожей

вентиляционный агрегат. Свежий воздух берется через внешнюю стену кухни. Для этого используется воздушный канал диаметром в 125 мм, с изолирующим от конденсата слоем. Загрязненный воздух направляется или в вентиляционную шахту, или прямо из внешней стены. Отверстия для приточного и вытяжного воздуха покрываются внешней решеткой. После прохождения теплообменника температура воздуха достаточно низкая, чтоб вызвать образование конденсата в каналах загрязненного воздуха, по причине чего надо его изолировать.

Приточный воздух подается в жилую комнату и спальню, и вытяжка происходит из кухни, из ванной комнаты и туалета. Канал притока и вытяжки находится под потолком у стен и имеет диаметр 100 мм. Для притока используется KTS-100 настенные или потолочные плафоны. Потолочные плафоны обеспечивают лучшее распределение воздуха, однако плафоны, установленные посреди потолка в комнате могут начать беспокоить людей. Поскольку высота комнат в кирпичных домах как правило 2.5 м, то строительство подвесных потолков для маскировки воздушных каналов трудноосуществимо. При вытяжке используются плафоны KSO-100 и во время приготовления пищи вытяжка плиты на кухне. Вдобавок к вышеупомянутым элементам к составу вентиляционной системы относятся еще шумоглушители шума и регулировочный клапан.

Поскольку через вентиляционную систему проходит также вытяжной воздух санитарных помещений, то нельзя создавать в агрегатах смешивания приточного и вытяжного воздушного потока. Также нужно учитывать, что влажный воздух ванной комнаты может вызвать обледенение теплообменника в зимних условиях. Принимая во внимание перечисленные проблемы, наиболее подходит выбрать в квартиру агрегат с пластинчатым теплообменником (см. Рисунок 13.18 справа), который может в какой-то степени вернуть скрытое тепло. Для устранения конденсата нужно предусмотреть для агрегата с пластинчатым теплообменником гидрозатвор и соорудить подходящий трубопровод. Находящийся в устройствах электрокалорифер поддерживает данную температуру приточного воздуха, следовательно хороший внутренний климат обеспечен даже в холодное время года.

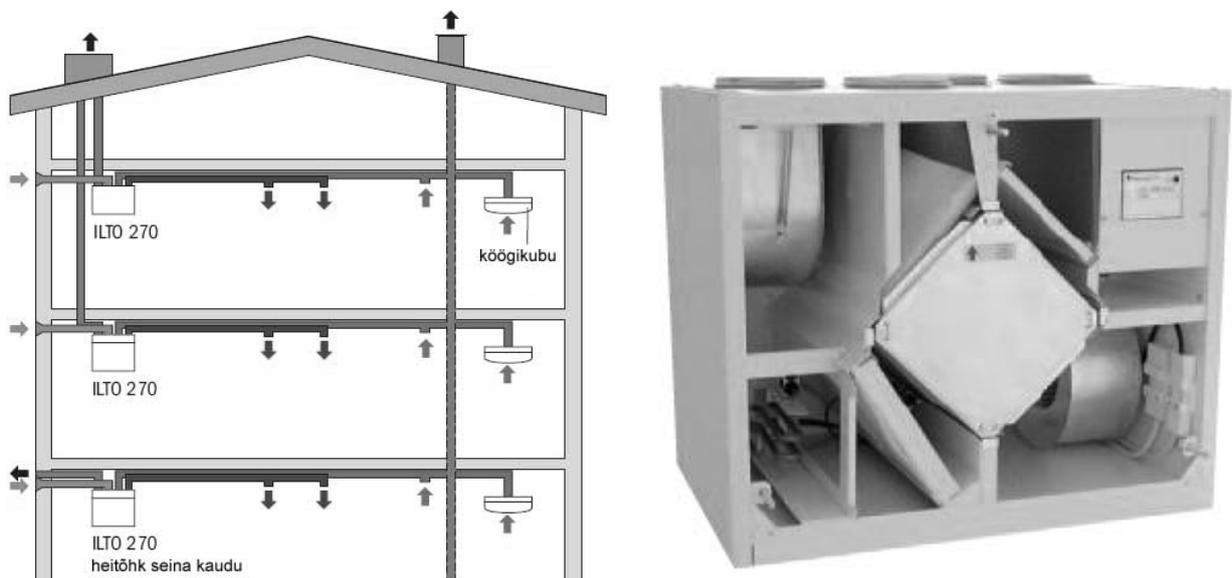


Рисунок 13.18 Схема механической вентиляционной системы притока-вытяжки в квартире (слева) с помощью вентиляционного агрегата ILTO 270 К (справа).

Судя по энергорасчетам во время работы агрегата в квартире обеспечивается воздухообмен 35 л/сек, а когда агрегат в нерабочем состоянии воздухообмен равен 10 л/сек. Среднегодовой коэффициент использования 0,8. Энергопотребление на нагрев воздуха вентиляции 0,6 МВтч. Вместе с расходом электричества на вентиляторы и расходами на поддержание системы при нынешних ценах на энергию это дает примерно 1700 крон в год на 2-комнатную квартиру.

Реновированную механическую вентиляционную систему притока-вытяжки с агрегатами в квартире см. Рисунок 13.19.

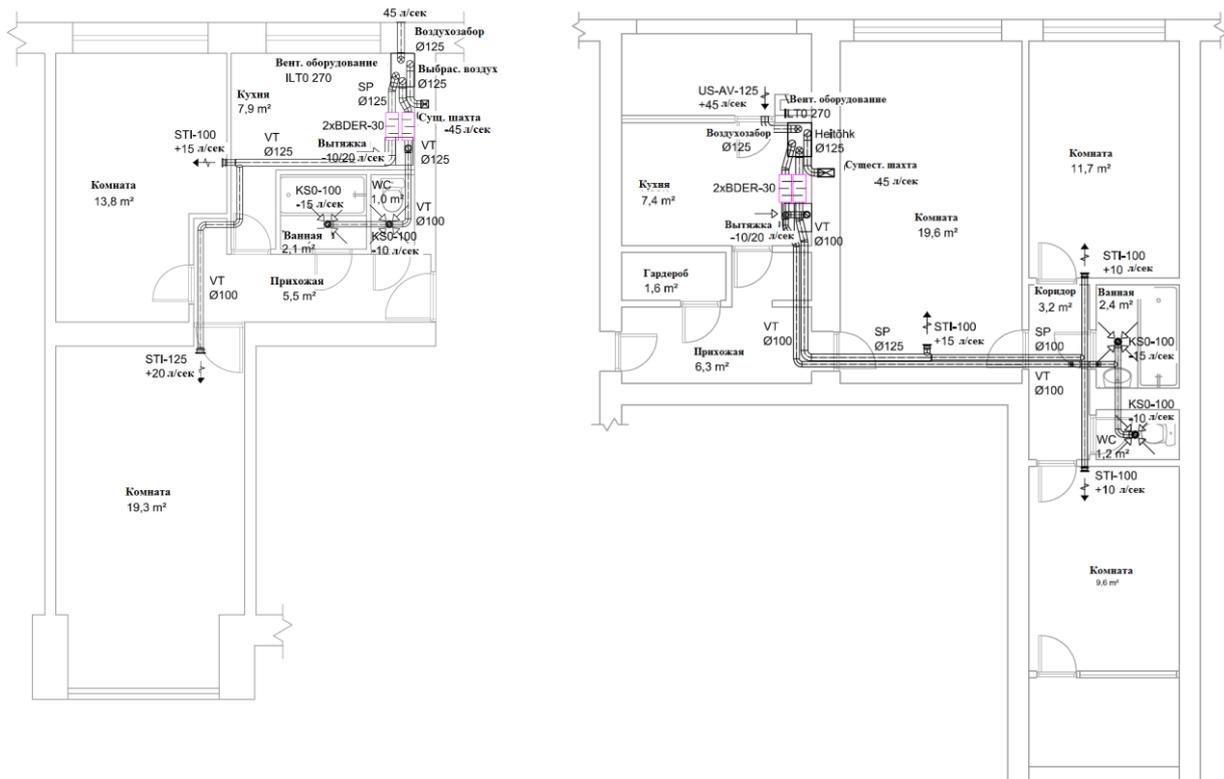


Рисунок 13.19 Механическая вентиляция притока-вытяжки агрегатами на примере 2-комнатной (слева) и 3-комнатной квартир (справа).

### Центральная механическая вытяжка, установка клапанов или радиаторов с клапанами свежего воздуха и теплообменники вентиляции

Послепроектное решение для восстановления системы вентиляции. вентиляционной системы. Вентиляционные каналы очищаются, уплотняются и при необходимости квартиры соединяются с нужными стояками. На вентиляционные шахты крыш устанавливаются вытяжные вентиляторы. В зависимости от решения вентиляторы можно устанавливать на каждую вентиляционную трубу или объединить шахты с вентиляционным каналом и тем самым снизить число используемого оборудования. В последнем случае каналы системы необходимо снабдить клапанами для регулировки. Вентиляционные системы квартир очищаются, и старые вентиляционные решетки заменяются новыми. В случае главного канала во всех квартирах устанавливается регулирующий клапан. В гостиных и спальнях обязательно устанавливаются клапаны свежего воздуха.

Также следует обратить внимание, что описанное решение работает только в случае, когда обеспечено движение воздуха между помещениями. Это значит, что под внутренними дверями квартиры должны быть щели в 10 мм. При необходимости можно вместо щелей установить в двери решетки переходящего воздуха.

В случае центральной механической вытяжки основной воздухообмен происходит в ванной, туалете и через кухонную вытяжку. Исходя из минимальных требований энергоэффективности, в течение суток должен обеспечиваться воздушный поток 35 л/сек. Воздухообмен можно ускорить, включив вытяжку. Большим недостатком системы является то, что вне времени использования вытяжки воздушный поток замедляется. Поскольку вне времени использования вытяжки уменьшить воздухообмен нельзя, тогда при энергорасчетах следует учитывать суточный воздушный поток 35 л/сек. Расход энергии нормального года в таком случае 4,3 МВтч. Вместе с расходом электричества на

вентиляторы и расходами на поддержание системы при нынешних ценах на энергию это дает примерно 5000 крон в год на 2-комнатную квартиру.

Главной целью экономии энергии является предоставление вытяжными решетками кухни и ванной воздушного потока в соответствии с местом положения, использованием помещения, содержанием влаги во внутреннем воздухе, уровнем CO<sub>2</sub> или изменением желаний жителей. Также следует обеспечить минимальный требуемый воздухообмен. В итоге, требуется использование вытяжных вентиляторов под давлением (см. Рисунок 13.20) с точной настройкой системы.



Рисунок 13.20 Из-за необходимого регулирования используются вытяжные элементы. Слева вытяжная решетка с двумя положениями BYFA-4 и справа вытяжной плафон с датчиком влажности KSO-M-100.

Вторая возможность энергосбережения – это использование теплообменника вытяжной вентиляции (VTSP). Многие схожие климатом страны (Швеция, Дания, Германия, Нидерланды) вместе с теплообменником механической вытяжной вентиляции используют теплообменник на нагрев воды и отопление. В основном компактные VTSP используются в частных домах, в течение последних пяти лет в квартирных домах они не используются, поскольку все больше и больше распространены механические системы вентиляции притока-вытяжки (Fredrik Karlsson и др. 2003). В проведенных исследованиях в домах Швеции выяснили, что использование подобных теплообменников позволяет сократить расходы на воздухообмен на 50 %. Особенно высокой экономии можно добиться при использовании вместе с системой VTSP регуляторы воздухообмена. Это решение дает дополнительную экономию на 25 %. (Pavlovas 2003). Энергосбережение с помощью VTSP в квартирных домах зависит и от правильно установленной технической системы и условий, подходящих конкретному зданию.

Система VTSP в квартирных домах может быть установлена при использовании различных решений. При выборе наиболее подходящего нужно исходить из типа здания, решения вентиляционной системы, а также существующего состояния и желаемого результата. Ниже описаны возможные технические решения систем VTSP для квартирных домов:

- В здании механическая вытяжная вентиляция. Вытяжной воздух собирается на крыше и оттуда попадает в компактный испаритель теплообменника. Теплая вода из теплообменника поступает в теплоузел в подвале. В качестве транспортировки по трубопроводу из теплоузла можно использовать старые мусорные шахты. Недостаток этой системы в высоком уровне шума, большом объеме работ по объединению канала и больших теплопотерях. В дополнение, создает проблемы уравнивание воздушных потоков различных квартир. Обычные клапаны регулирования дают желаемый результат в случае, когда воздушный поток не создает чрезмерных колебаний.

- В здании механическая вытяжная вентиляция. Вытянутый воздух скапливается на крыше управляясь теплонасосом типа вода-вода подключается к теплообменнику типа воздух-вода. В первичном контуре смесителя циркулирует теплоноситель – вода, свободная от гликоля. Теплоноситель управляется теплоузлом с крыши в теплосмеситель, что приводит к нагреву воды или воды для отопления. Сравнивая с предыдущим решением теплотери меньше, поскольку для транспорта тепла по теплоузелу используются теплоносители небольшой температуры. Проблемы, связанные с объединением такие же, как в предыдущем случае.
- На крыше дома, на каждой вентиляционной трубе установлен вентилятор и теплообменник типа воздух-вода. Если в трубе расположено много вентиляционных шахт, то следует установить клапаны регулирования на каждый канал. Теплоносителями воды, свободной от гликоля в различных батареях могут быть теплотрассы, идущие от подвала до теплоузла. В теплоузле находится теплосмеситель типа вода-вода, который поставляет воду. Преимущество системы в маленьких теплотерях и сравнительно низком уровне шума. Начальные инвестиции выше, чем в случае предыдущего решения.
- Вытяжной вентилятор устанавливается в подвале, и различные шахты объединяются с ним путем каналов. Однако существует система VTSP, где компактные VTSP или теплосмесители типа вода-вода объединены с вентиляционным каналом и теплообменником типа воздух-вода. Система может применяться только в случае главного канала, поскольку система отдельных каналов предусматривает стояки в вентилируемых квартирах, а не в подвалах. Вентиляционные шахты следует вывести на крышу и обеспечить механическую вентиляцию во всех квартирах. Выбрасываемый воздух выходит через стены подвала.

Поскольку кухонная вытяжка часто содержит жир, сажу и прочие вещества, препятствующие работе каналов, использование системы VTSP тут проблематично. Проблема эта может быть решена несколькими способами. Если вытяжка воздуха из кухни происходит только во время работы вытяжного аппарата и шахты, куда воздух отправляется, не целесообразно устанавливать систему воздуховозврата. Это особенно верно, когда время использования вытяжки относительно короткое. Второе решение заключается в том, что воздух из вытяжки в кухне по системе VTSP соединен с теплообменником воздух-вода, но этот метод требует соответствующего использования фильтров и регулярной очистки системы. Также этот метод дороже из-за частой необходимости замены фильтров.

Мощность VTSP ограничена вытяжным воздушным потоком, от которого зависит воздухообмен. Поскольку мощность приборов ограничена, следует учитывать необходимость использования дополнительного отопления. В квартирных домах можно использовать центральное отопление или местную котельную, при необходимости использовать и электрические обогреватели. Поскольку температура вытягиваемого воздуха в течение года изменяется минимально, то мы имеем дело со стабильными источниками тепла. На практике необходимо учитывать ещё и содержание влаги в воздухе, которое значительно изменяется в течение года и зависит от разницы влажности в комнате и снаружи, а также от относительной влажности. В данной работе при энергорасчетах взята температура вытягиваемого воздуха 21 °С и среднее значение относительной влажности внутреннего воздуха 40 %. Поскольку при использовании VTSP предполагается, что годовой воздухообмен – постоянная величина, то через теплообменник воздух-вода проходит воздушный поток 25 л/сек. Расчет ведется с тем условием, что вытяжка на кухне не использует тепловозврат. Энергию от воздуха при вытяжке можно найти по формуле 13.2.

$$Q = L \cdot \rho \cdot n \cdot 10^{-6} \cdot (h_1 - h_2) \cdot \quad (13.2)$$

Q	энергия от воздуха вытяжки, МВтч;
L	воздушный поток вытяжки, м <sup>3</sup> /сек;
ρ	плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup> ;
n	длительность периода, ч;

$h_1$            энтальпия воздуха вытяжки, кДж/кг<sub>кб</sub>;  
 $h_2$            энтальпия выбрасываемого воздуха, кДж/кг<sub>кб</sub>.

Исходя из минимальных требований ПР постановления 258 необходимо использовать VTSP со среднегодовым теплопоказателем 4,0 (отношение температур вытяжки 21 – 5 = 16 °С и часть мощности теплосмесителя идет на нагрев воды). Реальные системы зависят от многих факторов, таких, как теплопотери, расходуемая на насосы энергия и др., которые составляют 20 % энергии, производимой VTSP.

При использовании VTSP в нормальный год энергорасход на нагрев воздуха вентиляции 4,3 МВтч. В случае, если с помощью VTSP подается только горячая вода, на нагрев воздуха, электrorасходы на вентиляторы и расходы на техническое обслуживание, исходя из нынешних цен на энергию, тратится примерно 3500 крон в год за 2-комнатную квартиру.

Реновация системы вентиляции квартирного дома с механической системой вытяжки, см. Рисунок 13.21.

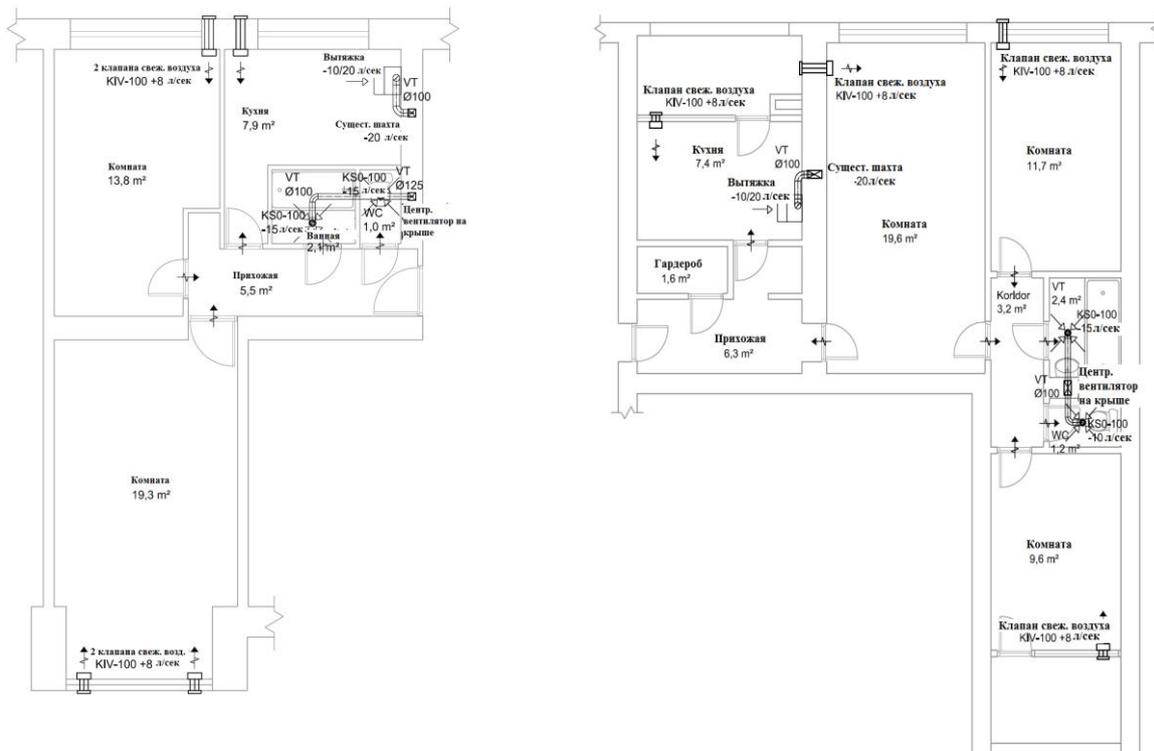


Рисунок 13.21           Центральная механическая вытяжка на примере 2-комнатной (слева) и 3-комнатной (справа) квартир.

### Механическая вытяжка на кухне и в санитарных комнатах, добавление радиаторов или клапанов свежего воздуха

Существующее решение является лишь временным для обеспечения воздушного потока вентиляции. Поскольку в данном решении нет возможности нагрева воздуха вентиляции, нельзя рассматривать подобное решение в долгосрочной перспективе.

Если нет возможности обеспечить достаточный воздухообмен посредством естественной вентиляции, то в вытяжку на кухне и в санитарных комнатах устанавливаются вытяжные вентиляторы. Выкачиваемый воздух компенсируется за счет клапанов свежего воздуха в стене. Установка кухонной вытяжки и вентиляторов на вентиляционную решетку увеличивает сопротивление вентиляционных каналов и снижает воздушный поток путем естественной вентиляции. Также воздухообмен минимален, когда вытяжка не работает. Результаты измерений показывают, что в некоторых случаях (верхние этажи, летний период) воздушный поток может быть слишком мал, чтобы обеспечить при помощи

естественной вентиляции достаточный воздухообмен (4 – 10 л/сек). В таком случае, использование вытяжных вентиляторов просто необходимо.

В современных кухнях и санитарных комнатах для обеспечения воздухообмена установлены вытяжные вентиляторы. На протяжении всего времени использования они работают по заданной пользователем программе. При выборе подобного вентилятора следует исходить из сопротивления воздушного канала. Решение подходит и для системы с главным каналом, когда все вытяжки объединены и оснащены вентиляторами с клапанами обратного потока (см. Табл. 13.18.). Также в случае главного канала нет возможности использовать давление вытяжки естественной вентиляции вне времени использования для обеспечения нормального воздухообмена, поскольку обратный поток слишком мал для открытия клапанов.



Рисунок 13.22 Клапан обратного потока BSD-100.

В дополнение следует установить в гостиных и спальнях клапаны свежего воздуха (см. Рисунок 13.23). Для устранения сквозняков лучше устанавливать их за радиаторами. В случае если это сделать невозможно, то в области над окном. При выборе клапанов свежего воздуха необходимо обратить внимание на регулируемость воздушного потока.

Также следует обратить внимание, что описанное решение работает только в случае, когда обеспечено движение воздуха между помещениями. Это значит, что под внутренними дверями квартиры должны быть щели в 10 мм. При необходимости можно вместо щелей установить в двери решетки переходящего воздуха

Вытяжные вентиляторы в санитарных комнатах и вытяжка на кухне должны быть объединены единой системой управления. Для пользователей существует система управления, расположенная в коридоре, откуда возможно регулировать время и режим использования. Также управляющая автоматика должна быть как минимум 3-ступенчатой и регулироваться в зависимости от количества людей. Умная система управления дает дополнительную экономию энергии, когда в условиях подъема цены на энергию предполагает быструю окупаемость, делая систему вентиляции удобной.

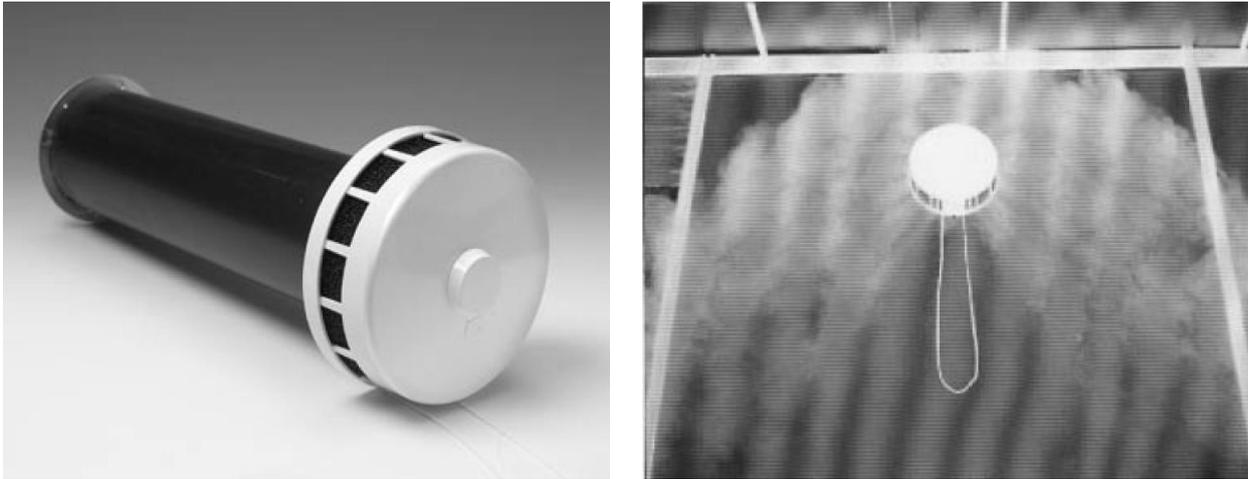


Рисунок 13.23 Клапан свежего воздуха KIV-100 (слева) и подобный клапан в лабораторных условиях при разнице внутренней и внешней температур 30 °С и воздушном потоке 8 л/сек (справа).

Энергорасходы на нагрев воздуха вентиляции в нормальный год 3,0 МВтч. Исходя из нынешних цен на энергию вместе с расходом энергии на вентиляторы и техническое обслуживание системы расход на 2-комнатную квартиру составляет 3400 крон в год.

В случае дома без дополнительного утепления может возникнуть проблемы, связанные с дефицитом мощности отопительных приборов. Особенно в тех случаях, когда реновируется только часть квартир. При необходимости компенсирования дополнительной изоляции существуют следующие возможности:

- замена нагревателей на более мощные (только в случае 2-трубной системы);
- использование клапанов свежего воздуха вместе с электронагревателями;
- использование приборов дополнительного отопления.

Реновация вентиляционной системы с механической вытяжкой в квартирном доме см. Рисунок 13.24.

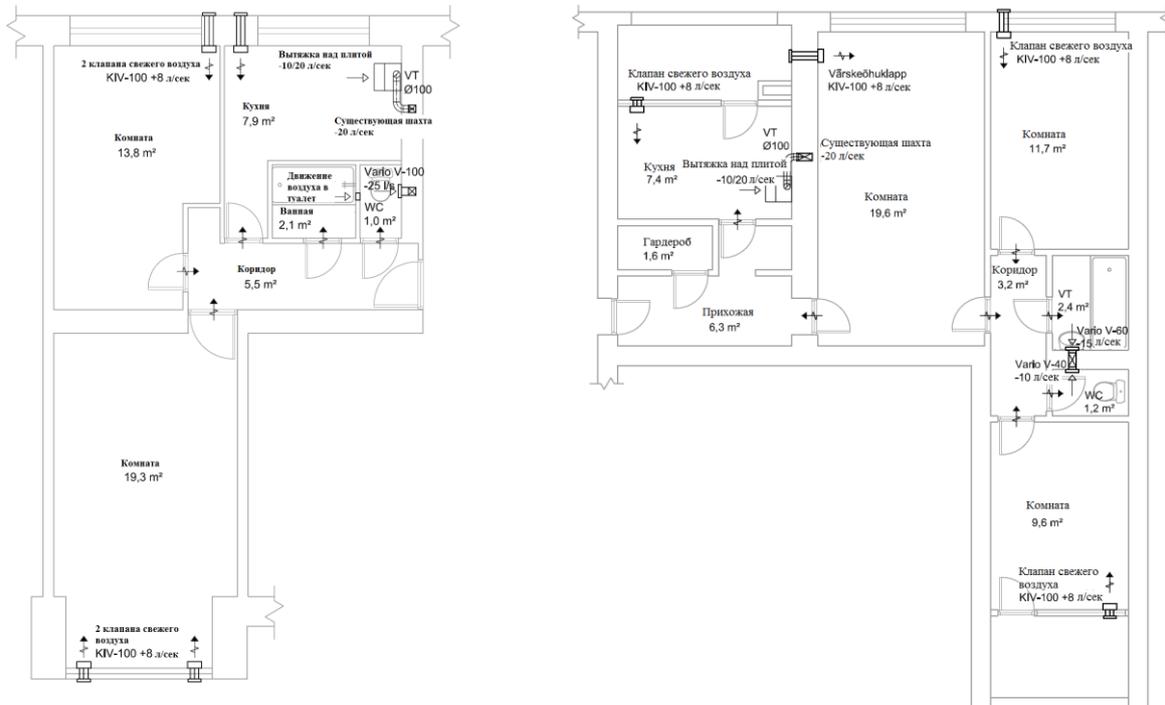


Рисунок 13.24 Механическая вытяжка в кухне и санитарной комнате на примере 2-комнатной (слева) и 3-комнатной квартир.

### 13.2.4 Водоснабжение

Таблица 13.14 Заключение о различных уровнях работ по реновации системы водоснабжения.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
<b>Водоснабжение</b>			
Общее на дом	<ul style="list-style-type: none"> <li>Контролировать, в случае утечек отремонтировать</li> </ul>		
Водомерный узел	<ul style="list-style-type: none"> <li>При необходимости заменить клапан и счетчик</li> </ul>		
Труба холодной воды	<ul style="list-style-type: none"> <li>Реновация при необходимости, учитывая макс. срок службы</li> </ul>		
Труба горячей воды	<ul style="list-style-type: none"> <li>Реновация при необходимости, учитывая макс. срок службы</li> </ul>		
Смесители	<ul style="list-style-type: none"> <li>Контролировать, в случае утечек отремонтировать</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Старые смесители заменить рычажными</li> </ul>	
Счетчики воды	<ul style="list-style-type: none"> <li>При необходимости заменяются или устанавливаются, если отсутствуют</li> </ul>		
Санитарные устройства квартиры (сливной бачок в туалете)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Контролировать, в случае утечек отремонтировать</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Используются 2-системные сливные бачки</li> </ul>	

### 13.2.5 Канализация

Таблица 13.15 Заключение о различных уровнях работ по реновации канализационной системы.

Название	Уровень А	Уровень В	Уровень С
<b>Канализация</b>			
Канализация в тепловом узле	<ul style="list-style-type: none"> <li>Построить при отсутствии</li> </ul>		
Канализационный стояк, трубопровод в квартире	<ul style="list-style-type: none"> <li>Реновация при необходимости, учитывая макс. срок службы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Использование канализационных вод для предварительного нагрева потребляемой бытовой воды (в случае необходимости реконструкции)</li> </ul>	
Трубопровод в подвале	<ul style="list-style-type: none"> <li>Реновация при необходимости, учитывая макс. срок службы</li> </ul>		

### 13.3 Энергоэффективность

В энергосберегающем пакете реновации сосредоточены различные комбинации, обеспечивающие определенный уровень энергоэффективности. Распределение энергосберегающих пакетов не соответствует ранее описанным А, В, С классификациям, а способствует только улучшению микроклимата и уровня энергоэффективности.

Для достижения определенного класса энергоэффективности (ЕТА), существуют два варианта пакетов реновации:

- многоэтапное реновирование, где на каждом этапе достигается максимальный уровень энергоэффективности (каждый раз делается одна и больше работ максимально хорошо) и в итоге получены невысокие расходы на энергию и строительство;
- одноэтапное реновирование, с помощью которого достигается цель энергоэффективности при оптимизации расходов, а последующее исправление сложнее и дороже.

Полное реновирование рекомендуется в первую очередь и достигается пошагово. В частичных пакетах одним из реновирующих методов является дополнительное утепление торцевых стен. От этого следует отталкиваться при одноэтапном реновировании. Если нет возможности осуществить полную реновацию, необходимо проводить ремонтные работы частями, достигая на каждом из уровней наилучшего результата. Например, если установить в доме вентиляционную систему с низким тепловозвратом, то последующая перестройка станет сложнее и дороже. Или если изолировать внешние стены тонким слоем утеплителя, то при последующем дополнительном утеплении требуется заново проводить отделочные работы, а значит расходы больше. На промежуточном этапе можно оставить ограждения без дополнительного утепления, но только в том случае, если это не создает проблем с микроклиматом (мостики холода, конденсат). В различных вариантах используются разные вентиляционные системы, что не означает, что известны возможности системы вентиляции при одно- или многоэтапном реновировании. В данном докладе приведены попытки подобного выяснения. При конкретном проекте реновирования здания целесообразно провести анализ большего количества вариантов и выбрать наиболее рациональную стратегию реновирования.

#### 4-этажные 2 подъездные дома типа I-317 и I-318

В целях достижения определенного класса энергоэффективности (ЕТА), приведены два варианта реновационных пакетов, см. Таблица 13.16.

Таблица 13.16 Реновационные пакеты, обеспечивающие классы энергоэффективности 4-этажного 2-подъездного дома типа I-317 и I-318.

	Вариант 1	Вариант 2
Энергосберегающий пакет E (ЕТА 201-250 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>ЕТА =217 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вентиляционная система притока-вытяжки с тепловозвратом (тепловозврат ≥0,8).</li> <li>• Реновация существующей системы отопления.</li> <li>• Доп. утепление торцевых стен U=0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К), (≈+20 см).</li> <li>• Доп. утепление крыши U=0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К), (≈+40 см).</li> <li>• Замена окон: новые окна U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К), U<sub>сред</sub>=1,4 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> <li>• Улучшение воздухопроницаемости: q<sub>50</sub>=3 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).</li> </ul>	<p>ЕТА =235 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечение необходимого воздушного потока или механическая вытяжная вентиляция в доме.</li> <li>• Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы свежего воздуха).</li> <li>• Доп. утепление внешних стен U=0,21 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+15 см).</li> <li>• Доп. утепление крыши U=0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+20 см).</li> <li>• Замена окон: новые окна U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К), U<sub>сред</sub>=1,4 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> <li>• Улучшение воздухопроницаемости: q<sub>50</sub>=3 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).</li> </ul>
Энергосберегающий пакет D (ЕТА 151-200 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>ЕТА =189 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Механическая вытяжная вентиляция в доме или квартире с тепловозвратом (тепловозврат ≥0.6).</li> <li>• Реновация существующей системы отопления.</li> </ul>	<p>ЕТА =158 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Механическая вытяжная вентиляция в доме, вытяжка теплонасосом (COP≥4,0).</li> <li>• Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего</li> </ul>

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

	Вариант 1	Вариант 2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +15 \text{ см}</math>).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +30 \text{ см}</math>).</li> <li>Замена окон: новые окна <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>, <math>U_{\text{сред}}=1,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> </ul>	<p>воздуха).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +15 \text{ см}</math>).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +30 \text{ см}</math>).</li> <li>Замена всех окон, новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math> Соответствие теплоузла решению теплонасоса.</li> </ul>
Энергосберегающий пакет С (ETA 121-150 кВтч/ $\text{м}^2 \cdot \text{год}$ )	<p>ETA =127 кВтч/<math>\text{м}^2 \cdot \text{год}</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Вентиляционная система притока-вытяжки с тепловозвратом в квартире (тепловозврат<math>\geq 0,8</math>).</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +20 \text{ см}</math>).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +40 \text{ см}</math>).</li> <li>Замена всех окон, новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> <li>Солнечные панели для производства горячей воды.</li> <li>Соответствие теплоузла решению солнечных панелей.</li> </ul>	<p>ETA =150 кВтч/<math>\text{м}^2 \cdot \text{год}</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Механическая вытяжная вентиляция в доме, теплонасос на вытяжке (COP<math>\geq 4,0</math>).</li> <li>Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха).</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +20 \text{ см}</math>),</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +40 \text{ см}</math>),</li> <li>Замена всех окон, новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> <li>Соответствие теплоузла решению теплонасоса.</li> </ul>

Профиль энергоиспользования при различных пакетах реновации см. Таблица 13.17.

Таблица 13.17. Влияние компонентов реновации 4-этажного 2-подъездного типового жилья типов I-317 и I-318 на энергосберегаемость.

Энергосбер. пакет	Отдельное использование энергии, кВтчас/ $\text{м}^2 \cdot \text{год}$						
	Всего	Отоп. помещений	Нагрев воздуха вентиляции	Вентиляторы, насосы	Электроприборы	Освещение	Горячая вода
E <sub>1</sub>	217	95	11	25	34	11	41
E <sub>2</sub>	235	138	(при отоплении)	11	34	11	41
D <sub>1</sub>	189	46	32	25	34	11	41
D <sub>2</sub>	158	62	(при отоплении)	51	34	11	(теплонасосом)
C <sub>1</sub>	127	26	11	25	34	11	20
C <sub>2</sub>	150	54	(при отоплении)	51	34	11	(теплонасосом)

**5-этажное 3-подъездное секционное здание из керамического кирпича**

В целях достижения определенного класса энергоэффективности (ETA), приведены два варианта реновационных пакетов, см.

Таблица 13.18.

Таблица 13.18 Реновационные пакеты, обеспечивающие классы энергоэффективности 5-этажного дома из керамического кирпича.

	Вариант 1	Вариант 2
Энергосберегающий пакет E (ETA 201-250 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>ETA =221 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вентиляционная система притока-вытяжки с тепловозвратом в квартире (тепловозврат ≥0,8).</li> <li>• Реновация существующей системы отопления.</li> <li>• Замена всех окон: новые окна, U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К).</li> <li>• Улучшение воздухопроницаемости: q<sub>50</sub>=3 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).</li> </ul>	<p>ETA =215 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечение необходимого воздушного потока или механическая вытяжная вентиляция в доме.</li> <li>• Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха).</li> <li>• Доп. утепление внешних стен U=0,21 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+15 см).</li> <li>• Доп. утепление крыши U=0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+20 см).</li> <li>• Улучшение воздухопроницаемости: q<sub>50</sub>=3 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).</li> </ul>
Энергосберегающий пакет D (ETA 151-200 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>ETA =178 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Механическая вытяжная вентиляция с тепловозвратом в квартире (тепловозврат ≥0,6).</li> <li>• Реновация существующей системы отопления.</li> <li>• Доп. утепление внешних стен U=0,21 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+15 см).</li> <li>• Доп. утепление крыши U=0,13 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+30 см).</li> <li>• Замена существующих окон: новые окна U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К), U<sub>сред</sub>=1,4 Вт/(м<sup>2</sup>·К).</li> <li>• Улучшение воздухопроницаемости: q<sub>50</sub>=3 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>)</li> </ul>	<p>ETA =194 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Механическая вытяжная вентиляция в доме.</li> <li>• Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)</li> <li>• Доп. утепление внешних стен U=0,21 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+15 см).</li> <li>• Доп. утепление крыши U=0,13 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+30 см),</li> <li>• Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К).</li> <li>• Улучшение воздухопроницаемости: q<sub>50</sub>=1,5 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).</li> </ul>
Энергосберегающий пакет C (ETA 121-150 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>ETA =126 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Механическая вытяжная вентиляция с тепловозвратом в квартире (тепловозврат≥0,8).</li> <li>• Реновация существующей системы отопления.</li> <li>• Доп. утепление внешних стен U=0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+20 см).</li> <li>• Доп. утепление крыши U=0,10 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+40 см).</li> <li>• Замена всех окон: новое местоположение, U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К).</li> <li>• Улучшение воздухопроницаемости:</li> </ul>	<p>ETA =144 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Механическая вытяжная вентиляция дома, теплонасос на вытяжке (COP≥4).</li> <li>• Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха).</li> <li>• Доп. утепление внешних стен U=0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+20 см).</li> <li>• Доп. утепление крыши U=0,10 Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+40 см).</li> <li>• Замена всех окон: новое местоположение, U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К).</li> </ul>

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

	Вариант 1	Вариант 2
	$q_{50}=1,5 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>Солнечные панели для производства горячей воды. Соответствие теплоузла решению солнечных панелей.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=1,5 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)</math> Соответствие теплоузла решению теплонасоса.</li> </ul>

Профиль энергоиспользования при различных пакетах реновации см. Таблица 13.19.

Таблица 13.19. Влияние компонентов реновации 5-этажного дома из керамического кирпича на энергосберегаемость.

Энерг. сбер. пакет	Взвешенное удельное потребление энергии, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год)						
	Всего	Отоп. помещений	Нагрев воздуха вентиляции	Вентиляторы, насосы	Электроприборы	Освещение	Горячая вода
E <sub>1</sub>	221	106	12	21	34	11	37
E <sub>2</sub>	215	125	(отоплением)	9	34	11	37
D <sub>1</sub>	178	44	32	21	34	11	37
D <sub>2</sub>	194	104	(отоплением)	9	34	11	37
C <sub>1</sub>	126	31	12	21	34	11	18
C <sub>2</sub>	144	52	(отоплением)	48	34	11	(теплонасосом)

**5-этажный 1-подъездный дом из силикатного кирпич**

В целях достижения определенного класса энергоэффективности (ЕТА), приведены два варианта реновационных пакетов, см. Таблица 13.20.

Таблица 13.20 Реновационные пакеты, обеспечивающие классы энергоэффективности 5-этажного дома из керамического кирпича.

	Вариант 1	Вариант 2
Энергосберегающий пакет E (ЕТА 201-250 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	ЕТА =241 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) <ul style="list-style-type: none"> <li>Вентиляционная система притока-вытяжки с воздуховозвратом (тепловозврат≥0,8).</li> <li>Реновация существующей системы отопления.</li> <li>Доп. утепление торцевых стен <math>U=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+20 см).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+20 см).</li> <li>Замена всех окон: новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)</math></li> </ul>	ЕТА =249 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) <ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечение необходимого воздушного потока или механическая вытяжная вентиляция в доме.</li> <li>Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха).</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+15 см).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+20 см).</li> <li>Замена существующих окон: новые окна <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>, <math>U_{\text{сред}}=1,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)</math></li> </ul>
Энергосберегающий пакет D (ЕТА 151-200 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	ЕТА =180 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) <ul style="list-style-type: none"> <li>Вентиляционная система притока-вытяжки с воздуховозвратом (воздуховозврат ≥0.6).</li> <li>Реновация существующей системы отопления.</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+20 см).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+30 см).</li> <li>Утепление перекрытия первого этажа <math>U=0,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+5 см).</li> </ul>	ЕТА =169 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) <ul style="list-style-type: none"> <li>Механическая вытяжная вентиляция, теплонасос на вытяжке (COP≥4,0).</li> <li>Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха).</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+20 см).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,12 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+30 см).</li> <li>Утепление перекрытия первого этажа <math>U=0,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math> (≈+5 см),</li> </ul>

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

	Вариант 1	Вариант 2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена всех окон: новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена всех окон: новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> <li>Соответствие теплоузола решению теплонасоса.</li> </ul>
Энергосберегающий пакет С (ETA 121-150 кВтч/м <sup>2</sup> ·год)	ETA =136 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) <ul style="list-style-type: none"> <li>Вентиляционная система притока-вытяжки с воздуховозвратом (тепловозврат <math>\geq 0,8</math>).</li> <li>Реновация существующей системы отопления.</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +20 \text{ см}</math>).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +40 \text{ см}</math>).</li> <li>Утепление перекрытия первого этажа <math>U=0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +10 \text{ см}</math>).</li> <li>Замена всех окон: новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> <li>Солнечные панели для производства горячей воды.</li> <li>Соответствие теплоузола решению солнечных панелей</li> </ul>	ETA =150 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) <ul style="list-style-type: none"> <li>Вентиляционная система притока-вытяжки с воздуховозвратом (тепловозврат <math>\geq 0,8</math>).</li> <li>Реновация существующей системы отопления.</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +20 \text{ см}</math>).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +40 \text{ см}</math>).</li> <li>Утепление перекрытия первого этажа <math>U=0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +10 \text{ см}</math>).</li> <li>Замена всех окон: новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math></li> </ul>

Профиль энергоиспользования при различных пакетах реновации см. Таблица 13.21.

Таблица 13.21. Влияние компонентов реновации 5-этажного дома из керамического кирпича на энергосберегаемость.

Энерг. сбер. пакет	Взвешенное удельное потребление энергии, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год)						
	Всего	Отоп. помещений	Нагрев воздуха вентиляции	Вентиляторы, насосы	Электроприборы	Освещение	Горячая вода
E <sub>1</sub>	241	130	12	26	34	11	28
E <sub>2</sub>	249	165	(отоплением)	11	34	11	28
D <sub>1</sub>	180	47	34	26	34	11	28
D <sub>2</sub>	169	76	(отоплением)	48	34	11	(теплонасосом)
C <sub>1</sub>	136	39	12	26	34	11	14
C <sub>2</sub>	150	39	12	26	34	11	28

**10-этажный 5-подъездный дом из силикатного кирпича**

В целях достижения определенного класса энергоэффективности (ETA), приведены два варианта реновационных пакетов, см. Таблица 13.22.

Таблица 13.22 Реновационные пакеты, обеспечивающие классы энергоэффективности 10-этажного 5-подъездного дома из силикатного кирпича.

	Вариант 1	Вариант 2
Энергосберегающий пакет E (ETA 201-250)	ETA =235 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) <ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечение необходимого</li> </ul>	ETA =206 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) <ul style="list-style-type: none"> <li>Механическая вытяжная система</li> </ul>

Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

	Вариант 1	Вариант 2
кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>воздушного потока или механическая вытяжная вентиляция в доме.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха).</li> <li>Замена существующих окон: новые окна <math>U=1,1</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К), <math>U_{\text{сред}}=1,4</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К).</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3</math> м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>)</li> </ul>	<p>вентиляции, тепловой насос на вытяжке (COP≥4).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха).</li> <li>Соответствие теплоуэла решению теплонасоса.</li> </ul>
Энергосберегающий пакет D (ETA 151-200 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>ETA = 198 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечение необходимого воздушного потока или механическая вытяжная вентиляция в доме.</li> <li>Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы свежего воздуха).</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,29</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+10 см).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,17</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+20 см).</li> <li>Замена существующих окон: новые окна <math>U=1,1</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К), <math>U_{\text{сред}}=1,4</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3</math> м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>)</li> </ul>	<p>ETA = 158 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Механическая вытяжная система вентиляции, теплонасос на вытяжке (COP≥4).</li> <li>Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы свежего воздуха).</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,29</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+10 см).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,17</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+20 см).</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3</math> м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>)</li> <li>Соответствие теплоуэла решению теплонасоса.</li> </ul>
Энергосберегающий пакет C (ETA 121-150 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>ETA=146 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Вентиляционная система притока-вытяжки с тепловозвратом (тепловозврат ≥0,8).</li> <li>Реновация существующей системы отопления.</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,21</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+15 см).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,13</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+30 см).</li> <li>Замена существующих окон: новые окна <math>U=1,1</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К), <math>U_{\text{сред}}=1,4</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К).</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3</math> м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).</li> </ul>	<p>ETA=147 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Механическая вытяжная система вентиляции, теплонасос на вытяжке (COP≥4).</li> <li>Реновация существующей системы отопления (новые радиаторы свежего воздуха).</li> <li>Доп. утепление внешних стен <math>U=0,21</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+15 см).</li> <li>Доп. утепление крыши <math>U=0,13</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К) (≈+30 см).</li> <li>Замена существующих окон: новые окна <math>U=1,1</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К), <math>U_{\text{сред}}=1,4</math> Вт/(м<sup>2</sup>·К).</li> <li>Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=3</math> м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).</li> <li>Соответствие теплоуэла решению теплонасоса.</li> </ul>
Энергосберегающий пакет B (ETA 101-120 кВтч/(м <sup>2</sup> ·год))	<p>ETA=117 кВтч/(м<sup>2</sup>·год)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Вентиляционная система притока-вытяжки с тепловозвратом (тепловозврат ≥0,8).</li> <li>Реновация существующей системы отопления.</li> </ul>	

Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

	Вариант 1	Вариант 2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Доп. утепление внешних стен <math>U=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +15 \text{ см}</math>).</li> <li>• Доп. утепление крыши <math>U=0,13 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math> (<math>\approx +30 \text{ см}</math>).</li> <li>• Замена всех окон, новое местоположение, <math>U=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})</math>.</li> <li>• Улучшение воздухопроницаемости: <math>q_{50}=1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)</math>.</li> <li>• Соответствие теплоузола решению солнечных панелей.</li> <li>• Солнечные панели для производства горячей воды.</li> </ul>	

Профиль энергоиспользования при различных пакетах реновации см. Таблица 13.19.

Таблица 13.23. Влияние компонентов реновации 5-этажного дома из керамического кирпича на энергосберегаемость.

Энерг. сбер. пакет	Взвешенное удельное потребление энергии, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год)						
	Всего	Отоп. комнат	Нагрев воздуха вентиляции	Вентилятор, насосы	Электроприборы	Освещение	Горячая вода
E <sub>1</sub>	235	148	(отоплением)	9	34	11	34
E <sub>2</sub>	206	116	(отоплением)	46	34	11	(тепло-насосом)
D <sub>1</sub>	198	111	(отоплением)	9	34	11	34
D <sub>2</sub>	158	67	(отоплением)	46	34	11	(тепло-насосом)
C <sub>1</sub>	146	37	11	20	34	11	34
C <sub>2</sub>	147	56	(отоплением)	46	34	11	(тепло-насосом)
B <sub>1</sub>	117	26	10	20	34	11	17

## 14 Экономический анализ улучшения энергоэффективности здания

Основной целью строительно-экономического анализа является оценка влияния методов экономии энергии. В ходе комплексной оценки следует придать значение, как желаемым методам инвестирования, так и эксплуатационным расходам. Как и в случае предыдущих исследований панельных домов, в настоящем проекте строительно-экономический анализ сосредоточен в основном на оценке энергосберегающих методов. Если здание решено использовать в течение долгого периода, то должны быть выполнены следующие действия:

- устранено аварийное состояние,
- обеспечена безопасность,
- обеспечены здоровые условия жизни,

Все вышеперечисленное следует выполнять независимо от инвестирования. В случае очень плохого состояния дома стоимость работ по ремонту может быть чересчур высокой, из-за чего окупаемость низкая или срок окупаемости неразумно длинный. В таком случае, следует рассматривать вариант сноса здания и постройки нового качественного дома.

Важно подчеркнуть ещё один аспект, связанный с реконструкцией. Благосостояние дома зависит в большей степени и от того, насколько активные и сознательные жители в нем. Желающие лучшего качества проживания и имеющие высокий доход люди могут переехать. В квартирных домах остаются только те, кто довольствуется меньшим, но не может брать на себя инициативу и поддерживать в должном состоянии целый дом, поэтому из числа квартиросъемщиков (жителей) не найти тех, кто хотел бы отвечать за благосостояние здания.

### 14.1 Методы

При определении стоимости сделанных работ использовалась методика определения стоимости конструктивных элементов. Цены включают в себя прямые расходы (рабочая сила, материалы, строительные машины-приборы), расходы на стройплощадку и строительной фирмы, разумную прибыль и налог с оборота. Составленная в рамках проекта оценка стоимости ориентировочная, т.е. ремонт конкретного объекта следует проводить согласно проектной документации и организовывать тендер ценовых предложений от строительных фирм. Строительная стоимость зависит не только от момента времени местоположения объекта, но и от программы подряда, составленной заказчиком. Тут следует подчеркнуть значимость планирования реновирования, т.е. технических и проектных решений. Обоснованность, детальность и доскональность проектных решений улучшают качество работ, а также технический и экономический результаты.

Замечания по поводу подсчетов стоимости работ по реновации:

- при расчете первоначальной стоимости следует исходить из ценовых предложений образцов домов, действительных ценовых предложений аналогичных объектов и ценовых предложений строительных работ, выполненных в определенной части зданий, а также действительной стоимости реновационных работ схожих объектов;
- при расчете объема, энергоэкономии и распределения работ, предусмотренных пакетами, вспомогательным элементом является энергоаудит, сделанный на примере образцовых зданий;
- в расчетах, где учитывается интресс банковского кредита, предполагается, что сумма кредита полностью покрывает реновацию;
- если все меры будут реализованы в полном объеме, ожидается, что изначально не все части методов выполнены.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

В дополнение к реновационным работам (затраты на выполнение работ) и поиску необходимых средств для осуществления проекта (расходы от оплаты процента по кредиту) появляются ещё и следующие виды расходов (упрощенное перечисление):

- оценка технически-экономического состояния специалистами – расходы на исследования и экспертизу;
- составление архитектурной и технической проектной документации, а также ходатайство о разрешении на строительство – расходы на проектирование и получения разрешений на строительство;
- управление проектом и организация поставки реновационных работ – расходы (время, деньги) на подготовку поставки; при необходимости оплата за консультацию.

В случае комплексной реновации здания эти расходы покрываются суммой в 210 крон на квадратный метр.

При экономическом расчете используются следующие данные:

- при улучшении энергоэффективности здания, в KredEx процентная ставка по взятому кредиту составляет 3,8% на протяжении всего срока возврата долга;
- время возврата долга – 20 лет;
- на протяжении времени возвращения долга взята постоянная величина стоимости теплоэнергии по данным Tallinna Küte AS (на 2010 год) 1068 кр/МВтч величина стоимости электроэнергии по данным Eesti Energia AS (на 2010 год) 1550 кр/МВтч. На Рисунок 14.1 представлены стоимости теплоэнергии в различных регионах Эстонии. Поскольку количество пользователей тепла в Таллине наибольшее, именно оно взято за базовую величину. Поскольку Eesti Energia – основной поставщик электроэнергии в квартирные дома, исходят из ими указанной базовой цены.

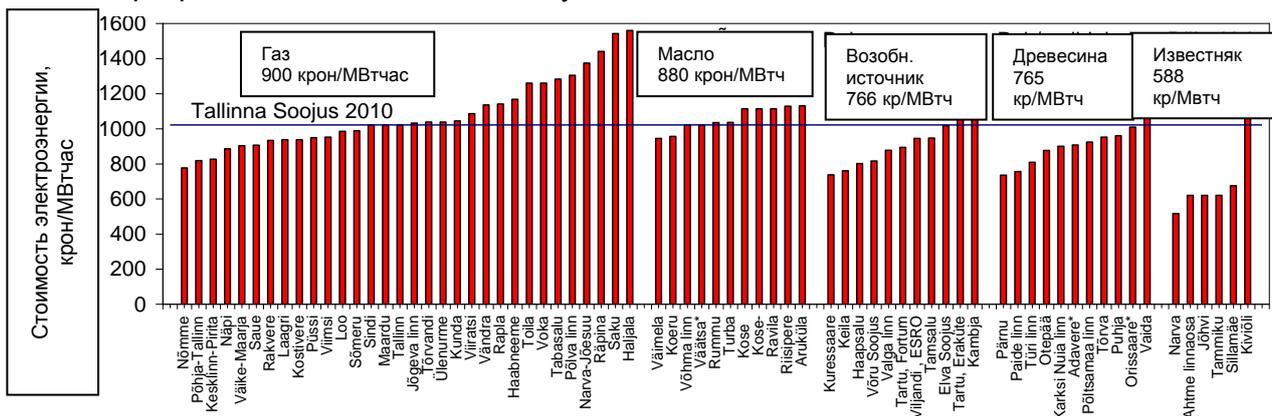


Рисунок 14.1 Расходы на теплоэнергию в различных областях Эстонии на весну 2010 года (KENA 2010).

- При расчете времени окупаемости предполагается 5%-ное повышение цены на энергию в год в сравнении с 2010 годом (за 20 лет цена увеличилась в два раза) см. Рисунок 14.2 слева (синий график). 5%-ое повышение цены см. Рисунок 14.2 справа (красный график). Разница между двумя подъемами цен больше в случае большого подорожания, см. Рисунок 14.2 справа;
- при расчете времени окупаемости предполагается стабильность цены на энергию, и не учитывается изменение интереса при инвестировании; при анализе подорожания энергии сделаны сравнительные расчеты с ценой на энергию, повышенной на 10%;
- экономические расчеты работ по реновации производятся с учетом инвестиций от государства (стоимость инвестиций – сумма пособия = сумма кредита):
  - в ходе энергосберегающего пакета C ( $ETA \leq 150 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) возмещается 35% инвестиций (интерес по кредиту не компенсируется),
  - в ходе энергосберегающего пакета D ( $ETA \leq 200 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) возмещается 25% инвестиций (интерес по кредиту не компенсируется),
  - в ходе энергосберегающего пакета E ( $ETA \leq 250 \text{ кВтч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) возмещается 15% инвестиций (интерес по кредиту не компенсируется);

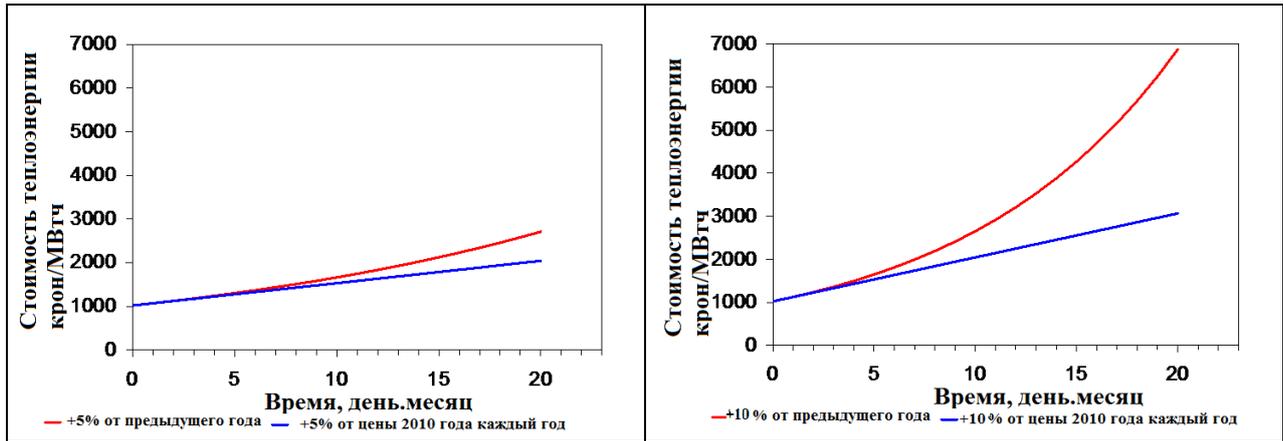


Рисунок 14.2 Процентуальное изменение цены теплоэнергии на 5% (слева) и 10% (справа).

Для проведения работ по реновации в благоприятных условиях рекомендуется, чтобы заказчик узнал у профессионального предпринимателя о ценовых предложениях строительных работ; это заказчик может сделать самостоятельно, или используя услуги профессионального консультанта-начальника проекта. Важно отметить, что для объективного выбора и получения результата требуются: точное проектное решение для проведения работ по реновации, четкое определение состава и объема работ (составить точную объемную таблицу), а также определение других факторов, влияющих на результаты (требования качества, продолжительность строительства и др.). Следует соблюдать подачу предложения на единой основе; условием этого является наличие проектной документации. Тем не менее, следует потребовать подачу ценового предложения на единой основе, используя систему классификации строительных расходов (EVS 885:2005 Классификация строительных расходов). Таблицы объемов работ по реновированию дают возможность определить состав работ и детальный уровень бюджета предложения.

Для нахождения средней доходности инвестиций, внутренняя норма дохода инвестиций делится на выбранный расчетный период.

Доходность инвестиций, выражаемая в процентах, описывает часть энергоэкономии в определенный период времени от установления энергосберегающего пакета. Она вычисляется путем деления денежной экономии на стоимость пакета.

Окупаемость инвестирования может начать влиять и на изменения цен на строительство, динамика которых не прогнозируется в ходе данной работы. При повышении цен на строительство (весьма вероятно) окупаемость инвестиций снижается, однако когда строительные цены опускаются в сравнении с рассчитанными, окупаемость инвестиций возрастает.

### Стоимости, используемые в расчетах

В вычислениях использована стоимость строительных работ, которая взята из ценовых предложений образцовых жилищ, действительных ценовых предложений аналогичных объектов и также использованы ценовые предложения строительных работ, выполненных в определенной части зданий, и действительная стоимость реновационных работ схожих объектов, см. Таблица 14.1. На рынке строительства и проектирования цены варьируются весьма значительно. Данные цены представлены для того, чтобы видеть, по каким строительным ценам выполнены экономические расчеты. Если изначально цены отличаются от представленных, то видно, в какую сторону меняется конечный результат.

В строительно-экономической части учитываются ценовые предложения на исследования, экспертизы, составление архитектурных и технических проектных документов, организация поставки реновирующих работ и существующее положение с

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

учетом пилотного проекта „Здоровый и Экономный Дом“ (5-этажный 4-подъездный панельный дом):

- предложения на проектирование (стадия пред- и рабочего проекта):
  - Предложение 1: 380 000 + km. = 456 000.- или 130 кр/м<sup>2</sup>.;
  - Предложение 2: 282 000 + km. = 338 400.- или 97 кр/м<sup>2</sup>.;
  - Предложение 3: 390 000 + km. = 468 000.- или 134 кр/м<sup>2</sup>.;
  - Предложение 4: 150 000 + km. = 180 000.- или 51 кр/м<sup>2</sup>.;
- Управление проектом и строительными работами и надзор:
  - Предложение 1: 20 000 + km. = 24 000.-
  - Предложение 2: 45 000 + km. = 54 000.-
  - Предложение 3: 46 000 + km. = 55 200.-
  - Предложение 4: 10 000 + km. = 12 000.-

При выборе проектировщика следует предпочесть опытную проектировочную фирму, у которой есть опыт в работах по реновации и которая предлагает полную реновацию всех частей (архитектура, строительные конструкции, техносистемы). Только на основе цены проектировщика и руководители проектов могут выбрать ситуацию, когда строительный процесс не может начаться и закончиться в конкретные сроки и качество может пострадать. В худшем случае, проектировщики, руководители или надзор могут ещё более удлинить процесс проектирования-строительства и конечный результат будет дороже. Также следует учитывать, что перед началом проектировочных работ следует провести исследования и экспертизу.

Учитывая:

- стоимость исследований и экспертиз ≈100 000.-
- проектировочные работы ≈330 000.-
- руководство проектированием и строительными работами, а также надзор в течение 6 месяцев (1-2 месяца проектирования + 4-5 месяцев строительства) ≈6×50 000.-

получается, что на исследования, экспертизы, проектирование, управление и контроль за ≈3500 м<sup>2</sup> дома необходимо потратить ≈730 000.-. или ≈210 кр/м<sup>2</sup> (на закрытую площадь нетто). Длительность управления проектом и надзора за строительством почти одинаковая, не зависимо от размера дома, однако поскольку с маленьким домом меньше проблем и работ, его стоимость берется с учетом стоимости на квадратный метр площади нетто..

Таблица 14.1 Цены, использованные в экономическом расчете.

Описание работы	Общая цена.
Ремонт крыши без ската путем дополнительного утепления (компактная бесчердачная крыша)	
• Новое дополнительное утепление крыши (пенополистирол 20 см + 2-3 см плиты из каменной ваты, трубы проветривания), установка покрытия крыши, новое покрытие парапета, новые воронки для дождевой воды.	599 крон/м <sup>2</sup>
• Новое дополнительное утепление крыши (пенополистирол 30 см + 2-3 см плиты из каменной ваты, трубы проветривания), установка покрытия крыши, новое покрытие парапета, новые воронки для дождевой воды.	661 крон/м <sup>2</sup>
• Замена крышек люков (двойные, теплонепроницаемые, надежные).	*
• Ремонт вентиляционных труб (в том числе крышки дымохода).	*
• Постройка вентиляционных отверстий на крыше, по необходимости временная установка труб проветривания для устранения влажности.	*
• Замена шахт лифта и окон, ремонт подъездов.	*

Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Описание работы	Общая цена.
Дополнительное утепление внешних стен и надземной части цоколя (фасад утепляется полностью)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Вентилируемая система утепления с минеральной ватой и фасадной плиткой: 10 см минеральной ваты в деревянном каркасе (10×5 см с шагом 60 см, закрепление на несущей стене), в качестве покрытия цементно-волоконная плита;</li> </ul>	923 крон/м <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Вентилируемая система утепления с минеральной ватой и фасадной плиткой: 15 см минеральной ваты в деревянном каркасе (15×5 см с шагом 60 см, закрепление на несущей стене), в качестве покрытия цементно-волоконная плита.</li> </ul>	977 крон/м <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Вентилируемая система утепления с минеральной ватой и фасадной плиткой: 20 см минеральной ваты в деревянном каркасе (2×10×5 см с шагом 60 см, закрепление на несущей стене), в качестве покрытия цементно-волоконная плита.</li> </ul>	1066 крон/м <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Невентилируемый штукатурный фасад с 10 см слоем дополнительной изоляции из пенополистирола; Утепляются и откосы окна толщиной 2,5-5 см.</li> </ul>	651 крон/м <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Невентилируемый штукатурный фасад с 15 см слоем дополнительной изоляции из пенополистирола; Утепляются и откосы окна толщиной 2,5-5 см.</li> </ul>	708 крон/м <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Невентилируемый штукатурный фасад с 20 см слоем дополнительной изоляции из пенополистирола; Утепляются и откосы окна толщиной 2,5-5 см или окна перемещаются ближе к внешнему слою внешней стены на утеплитель.</li> </ul>	756 крон/м <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена поврежденных кирпичей, соединение фасадного слоя с несущей стеной, замена или укрепление перемычек, реновация несущих плит балконов-лоджий и др. работы, целью которых является обеспечение безопасности и несущей способности.</li> </ul>	*
<ul style="list-style-type: none"> <li>Реновация и укрепление балконов и лоджий, новые ограждения, остекление при необходимости.</li> </ul>	*
<ul style="list-style-type: none"> <li>Гидроизоляция стен подвала и поверхности цоколя, утепление подземной части подвальной стены.</li> </ul>	*
Замена проемов	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена всех окон и перемещение их на слой дополнительной теплоизоляции. Суммарная теплопроводность новых окон и дверей балкона <math>U \leq 1,1</math> Вт/(м<sup>2</sup>К): стеклопакет с 3-кратным селективным стеклом и аргонным наполнителем, рама с низкой теплопроводностью; новые подоконники, отделка откосов, установка жестяного отлива окна.</li> </ul>	3285 крон/м <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена окон, местоположение сохраняется. Суммарная теплопроводность новых окон и дверей балкона <math>U \leq 1,1</math> Вт/(м<sup>2</sup>К): стеклопакет с тройным селективным стеклом и аргоновым наполнителем, рама с низкой теплопроводностью; новые подоконники, отделка откосов, установка жестяного отлива окна. Средняя теплопроводность окон дома <math>U \leq 1,4</math> Вт/(м<sup>2</sup>К).</li> </ul>	2700 крон/м <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена дверей подъезда.</li> </ul>	*
Реновирование вентиляционной системы (на м <sup>2</sup> отапливаемой площади)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Местная механическая вытяжка с кухни, санитарных комнат и подъезда, добавление клапанов свежего воздуха (обеспечение воздушного потока): <ul style="list-style-type: none"> <li>вентиляционные каналы прочищаются, при необходимости уплотняются и объединяются с правильными стояками в</li> </ul> </li> </ul>	390 крон/м <sup>2</sup> (в различных типах жилья 303...538

Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Описание работы	Общая цена.
<p>квартире,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ в вытяжку кухни и санитарных (туалет, ванная) комнат устанавливаются вытяжные вентиляторы (по возможности и шумоглушители) и вытяжные решетки,</li> <li>○ в гостиных и спальнях устанавливаются клапаны свежего воздуха за/на место радиаторов,</li> <li>○ вытяжка и вентиляторы объединяются одной системой управления.</li> </ul>	<p>крон/м<sup>2</sup>)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Центральная механическая вытяжка (без тепловозврата) из кухни, санитарных комнат и подъезда, добавление клапанов свежего воздуха: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ вентиляционные каналы прочищаются, при необходимости уплотняются и объединяются с правильными стояками в квартире,</li> <li>○ в санитарные комнаты (туалет, ванная) устанавливаются регулируемые плафоны, вытяжка кухни оснащена клапанами для регулировки,</li> <li>○ устанавливаются вентиляционные решетки,</li> <li>○ в гостиных и спальнях устанавливаются клапаны свежего воздуха за/на место радиаторов,</li> <li>○ на крыше, на вентиляционные трубы устанавливаются вытяжные вентиляторы и шумоглушители; система контролируется и регулируется центрально, что обеспечивает постоянную вентиляцию,</li> <li>○ вытяжные вентиляторы и вытяжки объединяются одной системой управления.</li> </ul> </li> </ul>	<p>375 крон/м<sup>2</sup> (в различных типах жилья 300...534 крон/м<sup>2</sup>)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Центральная механическая вытяжка из кухни, санитарных комнат и подъезда, добавление клапанов свежего воздуха, теплообменник вытяжной вентиляции (используется для нагрева воды и предварительного нагрева источников отопления): <ul style="list-style-type: none"> <li>○ вентиляционные каналы прочищаются, при необходимости уплотняются и объединяются с правильными стояками в квартире,</li> <li>○ в санитарные комнаты (туалет, ванная) устанавливаются регулируемые плафоны, вытяжка кухни оснащена клапанами для регулировки,</li> <li>○ устанавливаются вентиляционные решетки,</li> <li>○ в гостиных и спальнях устанавливаются клапаны свежего воздуха за/на место радиаторов,</li> <li>○ на крыше, на вентиляционные трубы устанавливаются вытяжные вентиляторы и шумопоглотители,</li> <li>○ с приобретением и установкой теплообменника связаны расходы и строительные работы на крыше и в подвале;</li> <li>○ при необходимости перестройка отопительной системы по отопительному графику с низкими температурами,</li> <li>○ система контролируется и регулируется центрально, что обеспечивает постоянную вентиляцию,</li> <li>○ вытяжные вентиляторы, вытяжки и теплообменники объединяются одной системой управления,</li> <li>○ покупка дополнительных мощных электроприборов и электроработы, связанные с установкой теплообменника.</li> </ul> </li> </ul>	<p>550 крон/м<sup>2</sup> (в различных типах жилья 435...786 крон/м<sup>2</sup>)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Механическая вентиляция притока-вытяжки с агрегатом (с тепловозвратом): <ul style="list-style-type: none"> <li>○ вентиляционные каналы прочищаются, при необходимости уплотняются и объединяются с правильными стояками в</li> </ul> </li> </ul>	<p>400 крон/м<sup>2</sup> (в различных типах жилья</p>

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Описание работы	Общая цена.
квартире, <ul style="list-style-type: none"> <li>○ на внешние стены гостиных и спален устанавливаются вентиляционные агрегаты с тепловозвратом;</li> <li>○ в вытяжку кухни и санитарных комнат (туалет, ванная) устанавливаются вытяжные вентиляторы (по возможности и шумоглушители) и вытяжные решетки,</li> <li>○ вытяжка в санитарных комнатах и кухне управляется временным реле,</li> <li>○ вентиляция подъездов,</li> <li>○ связанные с установкой вентиляции электроработы.</li> </ul>	360...560 крон/м <sup>2</sup> )
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Механическая вентиляция притока-вытяжки с агрегатом в квартире:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ вентиляционные каналы прочищаются, при необходимости уплотняются и объединяются с правильными стояками в квартире,</li> <li>○ на внешней стене кухни или у входа устанавливается вентиляционный агрегат с тепловозвратом,</li> <li>○ санитарные помещения, гостиные и спальни объединяются с вентиляционными агрегатами путем трубопровода,</li> <li>○ кухонная вытяжка заменяется подходящей вентиляционной системе,</li> <li>○ вентиляция подъездов,</li> <li>○ связанные с установкой вентиляции электроработы.</li> </ul> </li> </ul>	1142 крон/м <sup>2</sup> (в различных типах домов 930...1660 крон/м <sup>2</sup> )
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Решение вентиляции подвала в естественном проветривании, если подвал используют для хранения и отсутствует ущерб от влаги.</li> </ul>	*
<b>Реновация системы отопления (на м<sup>2</sup> отапливаемой площади)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Строительство новой 2-трубной системы                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Промывка существующих труб и радиаторов,</li> <li>○ добавление второй трубы к новому или существующему стояку и объединение с отопительными приборами,</li> <li>○ установка регулирующих вентилей на стояках и за обогревателями термостатных вентилей с маленьким сопротивлением,</li> <li>○ балансировка и настройка системы.</li> </ul> </li> </ul>	403 крон/м <sup>2</sup> (в различных типах домов 243...594 крон/м <sup>2</sup> )
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Реновация теплоузла, а также утепление и замена теплотрассы</li> </ul>	128 крон/м <sup>2</sup> (в различных типах домов 52...219 крон/м <sup>2</sup> )
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Установка термостатных и регулирующих вентилей + уравнивание отопительной системы.</li> </ul>	222 крон/м <sup>2</sup> (в различных типах домов 140...302 крон/м <sup>2</sup> )
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Замена изношенных труб и радиаторов (в случае, если старые жестяные радиаторы в плохом состоянии).</li> </ul>	*
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Замена и утепление теплоузла и теплотрассы.</li> </ul>	*

\*Замена объекта осуществляется при необходимости, поэтому сумма на установку не учитывается в экономическом анализе улучшения энергоэффективности

Реновация канализации, водостоков, электроустановок и связей техносистем не учитывалась в экономическом анализе, т.к. их влияние на энергоэффективность низкое.

### 14.2 Результаты

Аналогичный энергорасчету ремонтных работ был проведен строительно-экономический анализ 4 типов домов, см. Таблица 11.4.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Для проведения строительно-экономического анализа проведены расчеты по данным, касающимся 2 варианта энергосберегающего пакета С 4-этажного 2-подъездного дома типа I-317 и I-318. Для следующих трех типов домов проведен подобный строительно-экономический расчет, с использованием тех же формул.

### 4-этажный 2-подъездный жилой дом типа I-317 и I-318

Согласно строительно-технической документации представленным решениям реновации составлен расчет объемов строительства. Таблица 14.2 описывает расходы, сделанные для реализации соответствующих пакетов.

Таблица 14.2 Объемы и стоимость работ по исправлению энергоэффективности 4-этажного 2-подъездного дома типа I-317 ja I-318.

Описание работы	Объем, м <sup>2</sup>	Цена, кр/м <sup>2</sup>	Общая стоимость, кр
<b>Энергосберегающий пакет E<sub>1</sub></b> (ETA=217 кВтчас/(м <sup>2</sup> ·год))			
• Проектирование, управление, технический надзор			290 430
• Допол. утепление торцевой стены, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	248	756	187 892
• Допол. утепление крыши, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	393	706	277 581
• Замена окон:новые окна U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К), U <sub>сред</sub> =1,4 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	267	2701	721 224
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы свежего воздуха)	1154	561	647 000
• Ремонт вент. системы (мех. вытяжка)	1154	1663	1 918 590
		E <sub>1</sub> всего	4 043 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет E<sub>2</sub></b> (ETA=235 кВтчас/(м <sup>2</sup> ·год))			
• Проектирование, управление, технический надзор			290 430
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	756	707	534 336
• Допол. утепление крыши, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	393	589	231 469
• Замена окон:новые окна U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К), U <sub>сред</sub> =1,4 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	267	2701	721 224
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы свежего воздуха)	1154	764	882 000
• Ремонт вент. системы (мех. вытяжка)	1154	538	621 000
		E <sub>2</sub> всего	3 280 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет D<sub>1</sub></b> (ETA=189 кВтчас/(м <sup>2</sup> ·год))			
• Проектирование, управление, технический надзор			290 430
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	756	707	534 336
• Допол. утепление крыши, U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	393	661	259 947
• Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) U <sub>сред</sub> =1,4 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	267	2701	721 224
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	1154	561	647 000

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

Описание работы	Объем, м <sup>2</sup>	Цена, кр/м <sup>2</sup>	Общая стоимость, кр
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт вент. системы (теплообменник) Соответствие теплоузла решению теплообменника</li> </ul>	1154	1394	1 608 590
		D <sub>1</sub> всего	4 062 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет D<sub>2</sub> (ETA =158 кВтчас/(м<sup>2</sup>•год))</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Проектирование, управление, технический надзор</li> </ul>			290 430
<ul style="list-style-type: none"> <li>Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> </ul>	756	707	534 336
<ul style="list-style-type: none"> <li>Допол. утепление крыши, U=0,13 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> </ul>	393	661	259 947
<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена окон: новые окна U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К),</li> </ul>	267	3285	877 035
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)</li> </ul>	1154	764	882 000
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт вент. системы (тепловозврат 0,8)</li> </ul>	1154	786	907 000
		D <sub>2</sub> всего	3 751 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет C<sub>1</sub> (ETA =127 кВтчас/(м<sup>2</sup>•год))</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Проектирование, управление, технический надзор</li> </ul>			290 430
<ul style="list-style-type: none"> <li>Допол. утепление внешней стены, U=0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> </ul>	756	756	571 758
<ul style="list-style-type: none"> <li>Допол. утепление крыши, U=0,10 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> </ul>	393	706	277 581
<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> </ul>	267	3285	877 035
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт отоп. системы (новые радиаторы свежего воздуха)</li> </ul>	1154	561	647 000
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт вент. системы (теплообменник)</li> </ul>	1154	1663	1 918 590
<ul style="list-style-type: none"> <li>Солнечные панели для потребительской воды Соответствие теплоузла решению солнечных панелей</li> </ul>	1154	364	420 000
		C <sub>1</sub> всего	5 002 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет C<sub>2</sub> (ETA =150 кВтчас/(м<sup>2</sup>•год))</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Проектирование, управление, технический надзор</li> </ul>			290 430
<ul style="list-style-type: none"> <li>Допол. утепление внешней стены, U=0,17 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> </ul>	756	756	571 758
<ul style="list-style-type: none"> <li>Допол. утепление крыши, U=0,10 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> </ul>	393	706	277 581
<ul style="list-style-type: none"> <li>Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м<sup>2</sup>·К)</li> </ul>	267	3285	877 035
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт отоп. системы</li> </ul>	1154	764	882 000
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ремонт вент. системы (тепловозврат 0,8)</li> </ul>	1154	786	907 000
		C <sub>2</sub> всего	3 806 тыс. крон

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Таблица 14.3 описывает изменения тепло- и электроэнергии (экономия или рост) в случае ремонтных пакетов. Сравнивая ситуацию после строительства и после реновации, получены существенные отличия. Энергосбережение исходит из экономии отопления и нагревания воды солнечными панелями, если подобные панели предусмотрены в пакете. Однако энергопотребление несколько выросло в дополнение к потреблению электроэнергии техносистемами и для нагрева воздуха вентиляции.

Таблица 14.3 Стоимость энергосберегающих пакетов и гарантируемая энергоэкономия при улучшении энергоэффективности 4-этажного 2-подъездного дома типа I-317 и I-318.

Энергосбер. пакет	Стоимость, тысяч крон	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Изменение теплоэнергии после строительства, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) / %		Изменение потребления электроэнергии техносистемами после строительства, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год)
			Отопление помещения + нагрев воздуха вентиляции	Нагрев воды	
E <sub>1</sub>	4 043	3503	-132 / -54	0	+16
E <sub>2</sub>	3 280	2843	-91 / -37	0	+6
D <sub>1</sub>	4 062	3520	-172 / -70	0	+16
D <sub>2</sub>	3 751	3250	-176 / -72	-46 / -100	+33
C <sub>1</sub>	5 002	4335	-208 / -85	-23 / -50	+16
C <sub>2</sub>	3 806	3298	-184 / -75	-46 / -100	+33

Годовая экономия в кронах является важным вкладом в следующий экономический анализ, результаты которого отражает Таблица 14.4. Экономические расчеты выполнены при учете существующих цен на энергию и при условии, что цены повысились на 10%. При расчете возвращаемого кредита учитывается, что общая стоимость пакета реновации полностью покрывается кредитной суммой. Доходность отражает ту часть инвестиций, которая покрывается в расчетный период. Окупаемость инвестиций показывает процентную сумму, которая расходуется на возврат долга в течение срока. Чем выше стоимость энергии, тем больше начальная окупаемость инвестиций.

Таблица 14.4 Сводная таблица экономического анализа работ по улучшению энергоэффективности 4-этажного 2-подъездного дома типа I-317 и I-318.

Энергосберегающий пакет	Цена на энергию в 2010 году	Цена на энергию в 2010 году	Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом	Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом
	Интресс 3,8%	Интресс 2,8%	Интресс 3,8%	Интресс 3,8%
	Возврат долга в месяц на отапливаемую площадь (20-летний период),			
E <sub>1</sub>	18	16	18	18
E <sub>2</sub>	14	13	14	14
D <sub>1</sub>	16	14	16	16
D <sub>2</sub>	15	13	15	15
C <sub>1</sub>	17	15	17	17
C <sub>2</sub>	13	12	13	13
	Среднегодовая доходность инвестиций, %			
E <sub>1</sub>	2,6	2,9	4,2	5,5
E <sub>2</sub>	2,5	2,8	4,0	5,3
D <sub>1</sub>	3,9	4,3	6,2	8,3
D <sub>2</sub>	3,9	4,3	6,1	8,2
C <sub>1</sub>	5,5	6,0	8,6	11,5
C <sub>2</sub>	4,7	5,2	7,5	10,0
	Время окупаемости инвестиций, года			

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Энергосберегающий пакет	Цена на энергию в 2010 году	Цена на энергию в 2010 году	Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом	Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом				
	Интересс 3,8%	Интересс 2,8%	Интересс 3,8%	Интересс 3,8%				
E <sub>1</sub>	38	35	24	18				
E <sub>2</sub>	40	36	25	19				
D <sub>1</sub>	25	23	16	12				
D <sub>2</sub>	26	23	16	12				
C <sub>1</sub>	18	17	12	9				
C <sub>2</sub>	21	19	13	10				
Необходимое удешевление цены (кр/м <sup>2</sup> ) или необходимость дополнительного инвестирования (кр/м <sup>2</sup> ), % вклада от инвестирования, чтобы обеспечить энергоэффективность и 20-летний период окупаемости								
	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%
E <sub>1</sub>	2 762	55	2 335	51	1 472	29	293	6
E <sub>2</sub>	2 322	57	1 975	53	1 321	33	407	10
D <sub>1</sub>	2 057	41	1 627	35	347	7	0	0
D <sub>2</sub>	1 927	41	1 531	36	365	8	0	0
C <sub>1</sub>	1 798	29	1 269	22	0	0	0	0
C <sub>2</sub>	1 806	38	1 403	33	134	3	0	0

Ежемесячное погашение долга, средняя доходность инвестиций в год и срок окупаемости рассчитываются, исходя из дополнительных государственных вкладов в инвестиции на энергосберегающий пакет: E: 15%, D: 25%, C: 35%. Необходимое удешевление цены на строительство, необходимое дополнительное инвестирование (кр/м<sup>2</sup>) с дополнительным вкладом или % вклада от инвестирования, чтобы улучшить энергоэффективность при 20-летнем сроке окупаемости, рассчитаны без учета дополнительных вкладов.

Средняя доходность инвестиций может рассматриваться, как дополнительная возможность инвестиций. Теоретически, возможна ситуация, чтобы жители квартир вкладывали свои деньги не в реновацию домов, а во что-то другое: например, ценные бумаги, годовая доходность которых выше. Тогда можно сравнить ситуацию, где на энергию расходуется больше, но денежные средства жителей окупаются в других местах.

### 5-этажный 3-подъездный секционный дом из керамического кирпича

Согласно строительно-технической документации представленным решениям реновации составлен расчет объемов строительства, который описывает расходы, сделанные для реализации соответствующих пакетов.

Таблица 14.5 описывает расходы, сделанные для реализации соответствующих пакетов.

Таблица 14.5 Объемы и стоимость работ по исправлению энергоэффективности 5-этажного 3-подъездного дома из керамического кирпича.

Описание работы	Объем, м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
Энергосберегающий пакет E <sub>1</sub> (ETA=223 кВтчас/(м <sup>2</sup> •год))			
• Проектирование, управление, технический надзор			660 870
• Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	545	3285	1 789 546
• Ремонт отоп. системы	2623	338	885 000
• Ремонт вент. системы (тепловозврат ≥0,8)	2623	944	2 475 600
		E <sub>1</sub> всего	5 811 тыс. крон

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

Описание работы	Объем, м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
<b>Энергосберегающий пакет E<sub>2</sub> (ETA=215 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			660 870
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1944	707	1 373 652
• Допол. утепление крыши, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	684	598	409 230
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	2623	479	1 255 000
• Ремонт вент. системы (мех. вытяжка)	2623	300	786 000
		E <sub>2</sub> всего	4 485 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет D<sub>1</sub> (ETA=178 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			660 870
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1944	707	1 373 652
• Допол. утепление крыши, U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	684	661	452 218
• Замена окон: новые окна U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К), U <sub>сред</sub> =1,4 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	545	2701	1 471 622
• Ремонт отоп. системы	2623	337	885 000
• Ремонт вент. системы (тепловозврат≥0,6)	2623	791	2 075 600
		D <sub>1</sub> всего	6 919 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет D<sub>2</sub> (ETA=194 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			660 870
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1944	707	1 373 652,2
• Допол. утепление крыши, U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	684	661	452 217,5
• Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	545	3285	1 789 546,2
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	2623	479	1 255 000
• Ремонт вент. системы (мех. вытяжка)	2623	300	786 000
		D <sub>2</sub> всего	6 317 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет C<sub>1</sub> (ETA=125кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			660 870
• Допол. утепление внешней стены, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1944	756	1 469 856
• Допол. утепление крыши, U=0,10 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	684	706	482 895
• Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	545	3285	1 789 546
• Ремонт отоп. системы	2623	337	885 000
• Ремонт вент. системы	2623	944	2 475 600

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Описание работы	Объем, м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
(тепловозврат $\geq$ 0,8)			
• Солнечные панели для потребительской воды Соответствие теплоузла решению солнечных панелей	2623	320	840 000
		C <sub>1</sub> всего	8 604 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет C<sub>2</sub> (ETA=144 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			660 870
• Допол. утепление внешней стены, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1944	756	1 469 856
• Допол. утепление крыши, U=0,10 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	684	706	482 895
• Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	545	3285	1 789 546
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	2623	476	1 255 000
• Ремонт вент. системы (теплообменник COP $\geq$ 4.0) Соответствие теплоузла решению теплообменника	2623	435	1 140 000
		C <sub>2</sub> всего	6 798 тыс. крон

Таблица 14.6 описывает изменение тепло- и электроэнергии (экономия или выгода) при сравнении положения после установки ремонтного пакета и положения после строительства.

Таблица 14.6 Стоимость энергосберегающего пакета и экономия энергии или выгода по сравнению с положением после постройки 5-этажного 3-подъездного дома из керамического кирпича.

Энерг. сбер. пакет	Стоимость, тыс. крон	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Изменение теплоэнергии после строительства, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год) / %		Изменение потребления электроэнергии техносистемами после строительства, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год)
			Отопление помещения + нагревание воздуха вентиляции	Нагрев воды	
E <sub>1</sub>	5 811	2216	-98 / -44	0	+13
E <sub>2</sub>	4 485	1710	-85 / -38	0	+5
D <sub>1</sub>	6 919	2638	-154 / -69	0	+13
D <sub>2</sub>	6 317	2409	-109 / -49	0	+5
C <sub>1</sub>	8 604	3280	-182 / -81	-21 / -50	+13
C <sub>2</sub>	6 798	2592	-166 / -74	-41 / -100	+31

Таблица 14.7 отражает результаты экономического расчета.

Таблица 14.7 Сводная таблица экономического анализа работ по улучшению энергоэффективности 5-этажного 3-подъездного дома из керамического кирпича.

Энергосберегающий пакет	Цена на энергию в 2010 году	Цена на энергию в 2010 году	Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом	Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом
		Интресс 3,8%	Интресс 2,8%	Интресс 3,8%

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

Энергосберегающий пакет	Цена на энергию в 2010 году	Цена на энергию в 2010 году	Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом	Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом				
	Интресс 3,8%	Интресс 2,8%	Интресс 3,8%	Интресс 3,8%				
Возврат долга в месяц на отопляемую площадь (20-летний период), крон/м <sup>2</sup>								
E <sub>1</sub>	11	10	11	11				
E <sub>2</sub>	9	8	9	9				
D <sub>1</sub>	12	11	12	12				
D <sub>2</sub>	11	10	11	11				
C <sub>1</sub>	13	12	13	13				
C <sub>2</sub>	10	9	10	10				
Среднегодовая доходность инвестиций, %								
E <sub>1</sub>	3,0	3,3	4,7	6,3				
E <sub>2</sub>	4,0	4,4	6,3	8,4				
D <sub>1</sub>	4,7	5,2	7,5	9,9				
D <sub>2</sub>	4,2	4,6	6,6	8,8				
C <sub>1</sub>	6,3	6,9	9,9	13,2				
C <sub>2</sub>	5,4	5,9	8,5	11,3				
Время окупаемости инвестиций, года								
E <sub>1</sub>	33	30	21	16				
E <sub>2</sub>	25	23	16	12				
D <sub>1</sub>	21	19	13	10				
D <sub>2</sub>	24	22	15	11				
C <sub>1</sub>	16	15	10	8				
C <sub>2</sub>	19	17	12	9				
Необходимое удешевление цены (кр/м <sup>2</sup> ) или необходимость дополнительного инвестирования (кр/м <sup>2</sup> ), % вклада от инвестирования, чтобы обеспечить энергоэффективность и 20-летний период окупаемости								
	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%
E <sub>1</sub>	1 548	49	1 278	44	617	19	0	0
E <sub>2</sub>	780	32	572	26	0	0	0	0
D <sub>1</sub>	1 094	29	772	22	0	0	0	0
D <sub>2</sub>	1 280	37	987	31	37	1	0	0
C <sub>1</sub>	846	18	446	10	0	0	0	0
C <sub>2</sub>	1 114	30	798	24	0	0	0	0

**5-этажный 1-подъездный жилой дом из силикатного кирпича**

Используя строительно-техническую документацию представленных решений по реконструкции, составлен подсчет объема строительства. Таблица 14. описывает произведенные расходы на установку пакетов.

Таблица 14.8 Объемы строительства и расходы на работы по улучшению энергоэффективности 5-этажного 1-подъездного жилого дома из силикатного кирпича.

Описание работы	Объем строительства м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
Энергосберегающий пакет E <sub>1</sub> (ETA=241 кВтчас/(м <sup>2</sup> •год))			
• Проектирование, управление,			125 580

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

Описание работы	Объем строительства м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
технический надзор			
• Дополнительное утепление торцевой стены, $U=0,17$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К) ( $\approx+20$ см)	292	756	220 459
• Дополнительное утепление крыши, $U=0,16$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	598	58 642
• Замена окон: новые окна $U=1,1$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К),	164	3285	538 703
• Ремонт системы отопления (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	480	677	325 000
• Ремонт вент. системы (мех. вытяжка)	480	1031	495 120
		E <sub>1</sub> всего	1 764 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет E<sub>2</sub></b> (ETA=249 кВтчас/(м <sup>2</sup> ·год))			
• Проектирование, управление, технический надзор			125 580
• Допол. утепление внешней стены, $U=0,21$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	583	707	412 060
• Дополнительное утепление крыши, $U=0,16$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	598	58 642
• Замена окон: новые окна $U=1,1$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К), $U_{\text{сред}}=1,4$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	164	2701	442 999
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	480	875	420 000
• Ремонт вент. системы (мех. вытяжка)	480	333	160 000
		E <sub>2</sub> всего	1 619 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет D<sub>1</sub></b> (ETA=180 кВтчас/(м <sup>2</sup> ·год))			
• Проектирование, управление, технический надзор			125 580
• Допол. утепление внешней стены, $U=0,17$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	583	756	440 919
• Дополнительное утепление крыши, $U=0,13$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	661	64 802
• Замена всех окон, новое место положение, $U=1,1$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	164	3285	538 703
• Дополнительное утепление перекрытия, $U=0,36$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	300	29 400
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	480	677	325 000
• Ремонт вент. системы (теплообменник) Соответствие теплоузла решению теплообменника	480	865	415 120
		D <sub>1</sub> всего	1 940 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет D<sub>2</sub></b> (ETA=169 кВтчас/(м <sup>2</sup> ·год))			

Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Описание работы	Объем строительства м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
• Проектирование, управление, технический надзор			125 580
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	583	756	440 919
• Дополнительное утепление крыши, U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	661	64 802
• Замена окон: новые окна U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	164	3285	538 703
• Дополнительное утепление перекрытия, U=0,36 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	300	29 400
• Ремонт отоп. системы	480	875	420 000
• Ремонт вент. системы (тепловозврат)	480	542	260 000
		D <sub>2</sub> всего	1 879 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет C<sub>1</sub> (ETA=136 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			125 580
• Допол. утепление внешней стены, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	583	756	440 919
• Дополнительное утепление крыши, U=0,10 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	706	69 198
• Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	164	3285	538 703
• Дополнительное утепление перекрытия, U=0,25 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	540	52 920
• Ремонт отоп. системы	480	677	325 000
• Ремонт вент. системы (тепловозврат)	480	1031	495 120
• Солнечные панели для потребительской воды Соответствие теплоузла решению солнечных панелей	480	271	130 000
		C <sub>1</sub> всего	2 177 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет C<sub>2</sub> (ETA=150 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			125 580
• Допол. утепление внешней стены, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	583	756	440 919
• Дополнительное утепление крыши, U=0,10 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	706	69 198
• Замена всех окон, новое местоположения, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	164	3285	538 703
• Дополнительное утепление перекрытия, U=0,25 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	98	540	52 920
• Ремонт отоп. системы	480	677	325 000
• Ремонт вент. системы	480	1031	495 120

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Описание работы	Объем строительства м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
(тепловозврат)			
		C <sub>2</sub> всего	2 047 тыс. крон

Таблица 14.8 описывает изменение тепло- и электроэнергии (экономия или выгода) при сравнении положения после установки ремонтного пакета и положения после строительства.

Таблица 14.8 Стоимость энергосберегающего пакета и экономия энергии или выгода по сравнению с положением после постройки 5-этажного 1-подъездного дома из силикатного кирпича.

Энерг. сбер. пакет	Стоимость, тыс. крон	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Изменение теплоэнергии после строительства, кВтч/(м <sup>2</sup> ·г) / %		Изменение потребления электроэнергии техносистемами после строительства, кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)
			Отопление помещения + нагревание воздуха вентиляции	Нагрев воды	
E <sub>1</sub>	1 764	3673	-202 / -57	0	+16
E <sub>2</sub>	1 619	3373	-171 / -48	0	+6
D <sub>1</sub>	1 940	4040	-279 / -79	0	+16
D <sub>2</sub>	1 879	3915	-270 / -76	-31 / -100	+31
C <sub>1</sub>	2 177	4535	-303 / -86	-16 / -50	+16
C <sub>2</sub>	2 047	4265	-303 / -86	0	+16

Таблица 14.9 отражает результаты экономического расчета.

Таблица 14.9 Сводная таблица экономического анализа работ по улучшению энергоэффективности 5-этажного 1-подъездного дома из силикатного кирпича.

Энерг. сбер. пакет	Цена на энергию в 2010 году	Цена на энергию в 2010 году	Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом	Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом
	Интересс 3,8%	Интересс 2,8%	Интересс 3,8%	Интересс 3,8%
	Возврат долга в месяц на отопляемую площадь (20-летний период), крон/м <sup>2</sup>			
E <sub>1</sub>	19	17	19	19
E <sub>2</sub>	17	16	17	17
D <sub>1</sub>	18	17	18	18
D <sub>2</sub>	17	16	17	17
C <sub>1</sub>	18	16	18	18
C <sub>2</sub>	17	15	17	17
	Среднегодовая доходность инвестиций, %			
E <sub>1</sub>	4,2	4,6	6,6	8,8
E <sub>2</sub>	4,2	4,6	6,6	8,8
D <sub>1</sub>	6,0	6,6	9,5	12,7
D <sub>2</sub>	5,7	6,3	9,0	12,0
C <sub>1</sub>	7,4	8,1	11,6	15,5
C <sub>2</sub>	7,4	8,1	11,7	15,6
	Время окупаемости инвестиций, года			
E <sub>1</sub>	24	22	15	11
E <sub>2</sub>	24	22	15	11

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

Энерг. сбер. пакет	Цена на энергию в 2010 году		Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом		Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом	
	Цена на энергию в 2010 году	Цена на энергию в 2010 году	Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом	Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом	Интресс 3,8%	Интресс 3,8%
	Интресс 3,8%	Интресс 2,8%	Интресс 3,8%	Интресс 3,8%		
D <sub>1</sub>	17	15	10	8		
D <sub>2</sub>	17	16	11	8		
C <sub>1</sub>	14	12	9	6		
C <sub>2</sub>	13	12	9	6		
Необходимое удешевление цены (кр/м <sup>2</sup> ) или необходимость дополнительного инвестирования (кр/м <sup>2</sup> ), % вклада от инвестирования, чтобы обеспечить энергоэффективность и 20-летний период окупаемости						
	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%
E <sub>1</sub>	1 527	29	1 079	22	0	0
E <sub>2</sub>	1 371	28	959	22	0	0
D <sub>1</sub>	536	9	43	1	0	0
D <sub>2</sub>	797	14	320	6	0	0
C <sub>1</sub>	253	4	0	0	0	0
C <sub>2</sub>	213	3	0	0	0	0

**10-этажный жилой дом из силикатного кирпича с 5 подъездами**

Согласно технической документации здания и предложенным решениям по реконструкции, составлен расчет объема строительства. Таблица 14.10 описывает расходы на реализацию пакетов.

Таблица 14.10 Объемы и стоимость работ по исправлению энергоэффективности 10-этажного 5-подъездного дома из силикатного кирпича.

Описание работы	Объем строительства, м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
<b>Энергосберегающий пакет E<sub>1</sub> (ETA=235 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			2 561 160
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	10781	392	4 224 000
• Ремонт вент. системы (теплонасос COP ≥ 4.0) Соответствие теплоузла решению теплонасоса	10781	444	4 783 000
		<b>E<sub>1</sub> всего</b>	<b>11 568 тыс. крон</b>
<b>Энергосберегающий пакет E<sub>2</sub> (ETA=206 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			2 561 160
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	10781	392	4 224 000
• Ремонт вент. системы (мех. вытяжка)	10781	309	3 330 000
• Замена окон: новые окна U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К), U <sub>сред</sub> =1,4 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	2614	2701	7 061 514
		<b>E<sub>2</sub> всего</b>	<b>17 177 тысяч крон</b>
<b>Энергосберегающий пакет D<sub>1</sub> (ETA=198 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление,			2 561 160

**Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии**

Описание работы	Объем строительства, м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
технический надзор			
• Допол. утепление внешней стены, U=0,29 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	4941	651	3 218 039
• Допол. утепление крыши, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1634	589	961 933
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы свежего воздуха)	10781	392	4 224 000
• Ремонт вент. системы (теплонасос COP ≥ 4.0); Соответствие теплоузла решению теплообменника	10781	444	4 783 000
		D <sub>1</sub> всего	15 748 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет D<sub>2</sub> (ETA=158 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			2 561 160
• Допол. утепление внешней стены, U=0,29 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	4941	651	3 218 039
• Допол. утепление крыши, U=0,17 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1634	589	961 933
• Замена окон: новые окна U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К), U <sub>сред</sub> =1,4 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	2614	2701	7 061 514
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	10781	392	4 224 000
• Ремонт вент. системы (мех. вытяжка)	10781	309	3 330 000
		D <sub>2</sub> всего	21 357 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет C<sub>1</sub> (ETA=146 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			2 561 160
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	4941	707	3 492 264
• Допол. утепление крыши, U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	1634	661	1 080 279
• Замена окон: новые окна, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К), U <sub>сред</sub> =1,4 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	2614	2701	7 061 514
• Ремонт отоп. системы (новые радиаторы с клапанами свежего воздуха)	10781	392	4 224 000
• Ремонт вент. системы (теплонасос COP ≥ 4.0); Соответствие теплоузла решению теплонасоса)	10781	444	4 783 000
		C <sub>1</sub> всего	23 202 тыс. крон
<b>Энергосберегающий пакет C<sub>1</sub> (ETA=147 кВтчас/(м<sup>2</sup>·год))</b>			
• Проектирование, управление, технический надзор			2 561 160
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+15 см)	4941	707	3 492 264
• Допол. утепление крыши, U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+30 см)	1634	661	1 080 279
• Замена окон: новые окна U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К), U <sub>сред</sub> =1,4 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	2614	2701	7 061 514
• Ремонт отоп. системы	10781	271	2 924 000
• Ремонт вент. системы (тепловозврат ≥0,8)	10781	930	1 002 6180
		C <sub>2</sub> всего	27 145 тыс. крон

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Описание работы	Объем строительства, м <sup>2</sup>	Цена, крон/м <sup>2</sup>	Стоимость, крон
Энергосберегающий пакет В <sub>1</sub> (ЕТА=117 кВтчас/(м <sup>2</sup> ·год))			
• Проектирование, управление, технический надзор			2 561 160
• Допол. утепление внешней стены, U=0,21 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+15 см)	4941	707	3 492 264
• Допол. утепление крыши, U=0,13 Вт/(м <sup>2</sup> ·К) (≈+30 см)	1634	661	1 080 279
• Замена всех окон, новое местоположение, U=1,1 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	2614	3285	8 587 063
• Ремонт отоп. системы	10781	271	2 924 000
• Ремонт вент. системы (тепловозврат ≥0,8)	10781	930	10 026 180
• Солнечные панели для потребительской воды Соответствие теплоузла решению солнечных панелей	5800	530	3 074 000
		В <sub>1</sub> всего	31 745 тыс. крон

Таблица 14.11 описывает изменение тепло- и электроэнергии (экономия и выгода), сравнивая состояния после установки ремонтного пакета и состояние после строительства.

Таблица 14.11 Стоимость энергосберегающего пакета и экономия энергии или выгода по сравнению с положением после постройки 10-этажного 5-подъездного дома из силикатного кирпича.

Энерг. сбер. пакет	Стоимость тыс. крон	Стоимость крон/м <sup>2</sup>	Изменение теплоэнергии после строительства, кВтч/(м <sup>2</sup> ·г) / %		Изменение потребления электроэнергии техносистемами после строительства, кВтч/(м <sup>2</sup> ·г)
			Отопление комнаты + утепление воздуха вентиляции	Нагрев воды	
E <sub>1</sub>	11 568	1073	-18 / -10	0	+5
E <sub>2</sub>	17 177	1593	-53 / -29	-38 / -100	+29
D <sub>1</sub>	15 748	1461	-59 / -32	0	+5
D <sub>2</sub>	21 357	1981	-107 / -59	-38 / -100	+29
C <sub>1</sub>	23 202	2152	-134 / -74	0	+12
C <sub>2</sub>	27 145	2518	-119 / -66	-38 / -100	+29
V <sub>1</sub>	31 745	2945	-146 / -80	-19 / -50	+12

Таблица 14.12 отражает результаты экономического расчета.

Таблица 14.12 Сводная таблица экономического анализа работ по улучшению энергоэффективности 10-этажного 5-подъездного дома из силикатного кирпича.

Энергосберегающий пакет	Стоимость энергии в 2010 году	Стоимость энергии в 2010 году	Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом	Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом
	Интресс 3,8%	Интресс 2,8%	Интресс 3,8%	Интресс 3,8%
	Возврат долга в месяц на отапливаемую площадь (20-летний период), крон/м <sup>2</sup>			
E <sub>1</sub>	5	5	5	5
E <sub>2</sub>	8	7	8	8
D <sub>1</sub>	7	6	7	7

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

Энерго-сберегающий пакет	Стоимость энергии в 2010 году		Увеличение стоимости энергии на 5% в год в сравнении с 2010 годом		Увеличение стоимости энергии на 10% в год в сравнении с 2010 годом			
	Интресс 3,8%	Интресс 2,8%	Интресс 3,8%	Интресс 2,8%	Интресс 3,8%	Интресс 2,8%		
D <sub>2</sub>	9	8	9	8	9	8		
C <sub>1</sub>	8	8	8	8	8	8		
C <sub>2</sub>	10	9	10	9	10	9		
B <sub>1</sub>	11	10	11	10	11	10		
Среднегодовая доходность инвестиций, %								
E <sub>1</sub>	0,8	0,9	1,3	1,3	1,8	1,8		
E <sub>2</sub>	0,6	0,6	0,9	0,9	1,2	1,2		
D <sub>1</sub>	4,4	4,8	7,0	7,0	9,3	9,3		
D <sub>2</sub>	2,6	2,8	4,1	4,1	5,5	5,5		
C <sub>1</sub>	4,1	4,5	6,5	6,5	8,6	8,6		
C <sub>2</sub>	5,1	5,6	8,1	8,1	10,8	10,8		
B <sub>1</sub>	5,7	6,2	8,9	8,9	11,9	11,9		
Время окупаемости инвестиций, года								
E <sub>1</sub>	118	108	75	75	56	56		
E <sub>2</sub>	172	157	109	109	82	82		
D <sub>1</sub>	23	21	14	14	11	11		
D <sub>2</sub>	38	35	24	24	18	18		
C <sub>1</sub>	24	22	15	15	12	12		
C <sub>2</sub>	19	18	12	12	9	9		
B <sub>1</sub>	18	16	11	11	8	8		
Необходимое удешевление цены (кр/м <sup>2</sup> ) или необходимость дополнительного инвестирования (кр/м <sup>2</sup> ), % вклада от инвестирования, чтобы обеспечить энергоэффективность и 20-летний период окупаемости								
	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%	крон/м <sup>2</sup>	%
E <sub>1</sub>	1 313	86	1 182	84	1 187	77	1 071	70
E <sub>2</sub>	2 052	90	1 857	89	1 922	84	1 804	79
D <sub>1</sub>	705	34	526	28	0	0	0	0
D <sub>2</sub>	1 728	61	1 486	57	1 093	39	514	18
C <sub>1</sub>	1 432	47	1 169	42	486	16	0	0
C <sub>2</sub>	1 193	33	886	27	0	0	0	0
B <sub>1</sub>	1 109	26	749	19	0	0	0	0

### 14.3 Заключение

Исходя из сравнения цен на реконструкцию четырех типов домов хорошо видно, что чем больше здание (в частности, отапливаемая площадь), тем меньше затраты в расчёте на квадратный метр. Средняя стоимость работ по реконструкции 10-этажного жилого дома 1800 крон/м<sup>2</sup> (самый дешёвый пакет 900 крон/м<sup>2</sup> и самый дорогой 2700 крон/м<sup>2</sup>). Те же работы для более мелкого здания (5-этажный дом с одним подъездом) в среднем стоят 4300 крон/м<sup>2</sup> (самый дешёвый пакет 3200 крон/м<sup>2</sup> и самый дорогой 4400 крон/м<sup>2</sup>). Для оставшихся типов домов средняя стоимость реконструкции колеблется от 2400 крон/м<sup>2</sup> до 3400 крон/м<sup>2</sup>.

В ходе работ по реновации у квартирных товариществ могут возникнуть проблемы ни при получении необходимого кредита, а при возврате кредита со стороны жильцов.

Энергосберегающие пакеты, обеспечивающие минимальный класс энергоэффективности (В, С), обладают более коротким сроком окупаемости (см. Рисунок 14.3 слева) и высокой среднегодовой доходностью инвестиций (см. Рисунок 14.3 справа).

Снижение интресса по кредиту улучшает доходность инвестиций и укорачивает срок окупаемости (если интресс по кредиту уменьшить с 3,8 % до 2,8 %, тогда срок окупаемости укорачивается в среднем на 3 года).

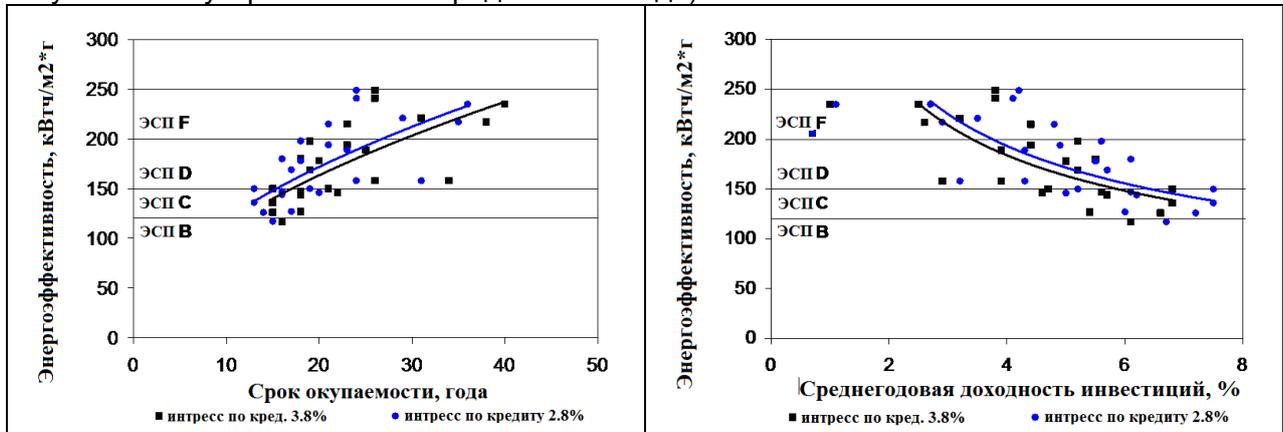


Рисунок 14.3 Зависимость сроков окупаемости (слева) и среднегодовой доходности инвестиций (справа) от проделанных реновационных работ для улучшения энергоэффективности.

Без дополнительных субсидий в реновирование для обеспечения энергоэффективности квартирных домов при существующих ценах на энергию и строительство экономически не выгодно (срок окупаемости слишком длинный, а доходность инвестиций слишком мала), см. Рисунок 14.4. Если желаемым результатом является дом с малым энергопотреблением (класс энергоэффективности В, С), то необходимо дополнительное инвестирование и дополнительная субсидия. При существующих субсидиях на реновацию (МКМт 52) целесообразно реновировать жилье так, чтобы оно использовало небольшое количество энергии, поскольку так лучше всего обеспечивается предложенный 20-летний период окупаемости:

- Энергосберегающий пакет С, В: 35% дополнительная субсидия обеспечивает окупаемость инвестиций в течение 20-летнего периода в 88% случаев.
- Энергосберегающий пакет D: 25% дополнительная субсидия обеспечивает окупаемость инвестиций в течение 20-летнего периода в 50% случаев.
- Энергосберегающий пакет E, B: 15% дополнительная субсидия не обеспечивает окупаемости инвестиций в течение 20-летнего.

Снижение интресса по кредиту уменьшает необходимость дополнительного инвестирования или дополнительных субсидий (если интресс по кредиту снизить с 3,8 % до 2,8 %, тогда необходимая дополнительная субсидия снижается в среднем на 6%).

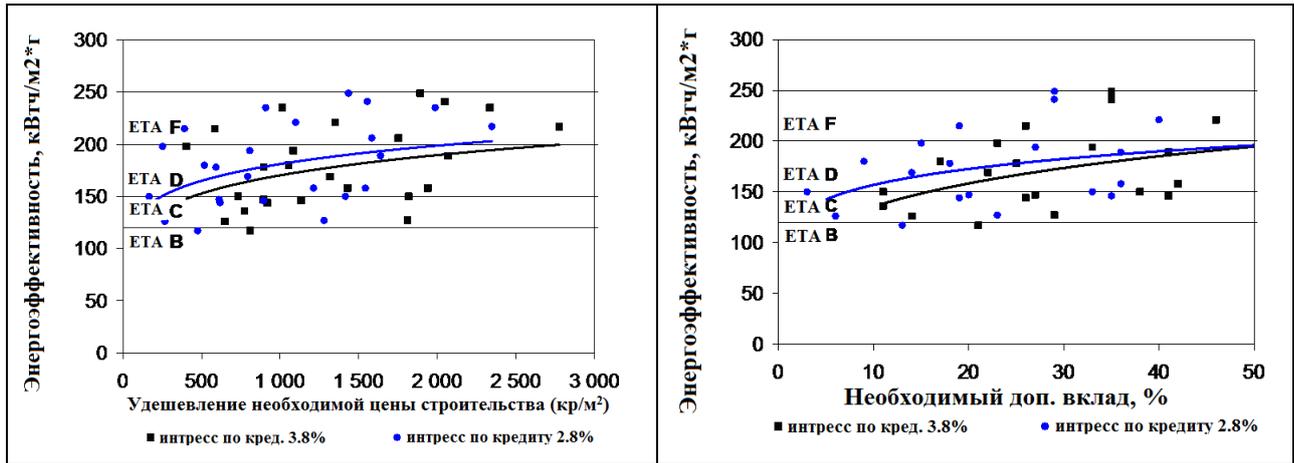


Рисунок 14.4 Удешевление необходимой цены строительства (кр/м<sup>2</sup>) или необходимость дополнительного инвестирования (кр/м<sup>2</sup>) (слева) или процент субсидий (справа) в зависимости от класса энергоэффективности.

Для достижения большего энергосбережения необходимо сделать больше инвестиций, см. Рисунок 14.5 слева. Поскольку в случае маленьких инвестиций нельзя обеспечить требуемую энергоэффективность, время окупаемости небольших инвестиций слишком велико, см. Рисунок 14.5 справа.

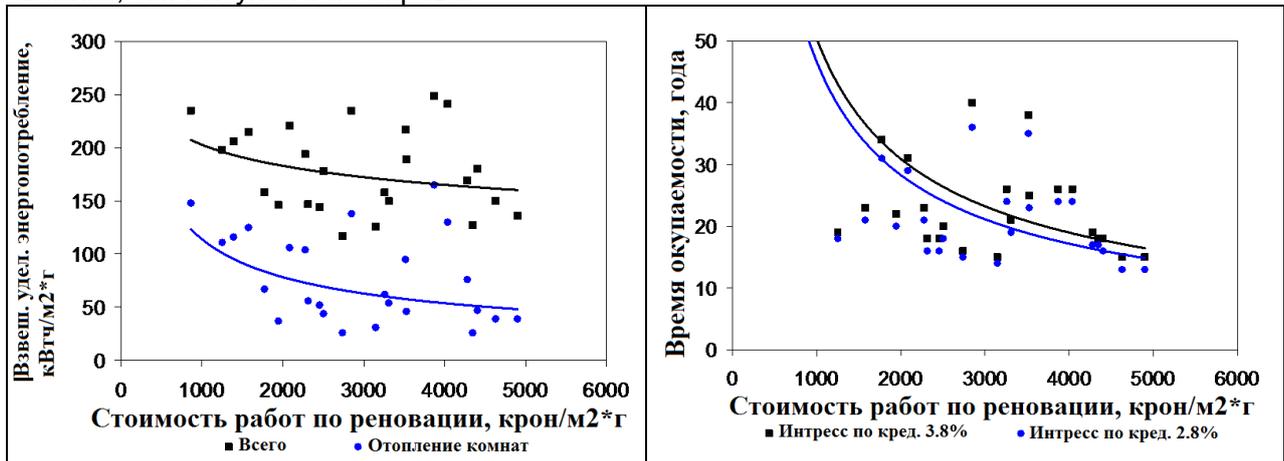


Рисунок 14.5 Влияние стоимости работ по реновации на энергопотребление дома (слева).

Конечно, в случае высоких инвестиций возврат по кредиту выше (см. Рисунок 14.6 слева), но поскольку при высоких инвестициях достигается меньший расход энергии, возврат по кредиту не зависит от требуемого класса энергосбережения (см. Рисунок 14.6 справа).

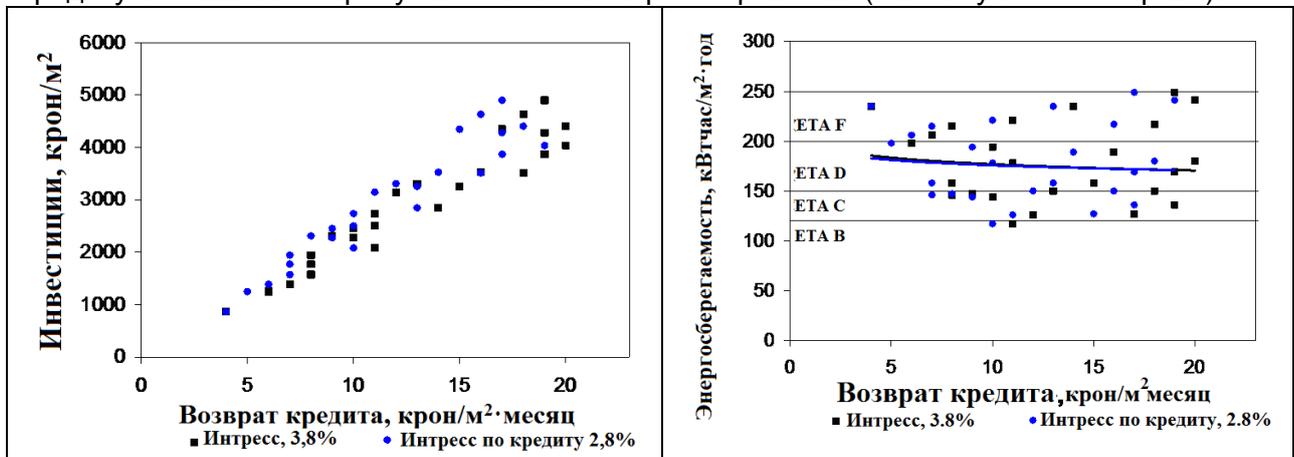


Рисунок 14.6 Влияние стоимости ремонтных работ на энергоиспользование (слева)

В случае больших инвестиций низкий интресс по кредиту снижает сумму выплат по кредиту. Поскольку большими инвестициями обеспечивается и большее энергоэкономия (Рисунок 14.7), следует с этой мотивацией уменьшать интресс по кредиту. Рисунок 14.7 демонстрирует снижение потребления теплоэнергии на отопление и вентиляцию. В зависимости от ремонтного решения техносистемы можно уменьшением потребления теплоэнергии на отопление и вентиляцию увеличить электропотребление (решение теплообменника вентиляции).

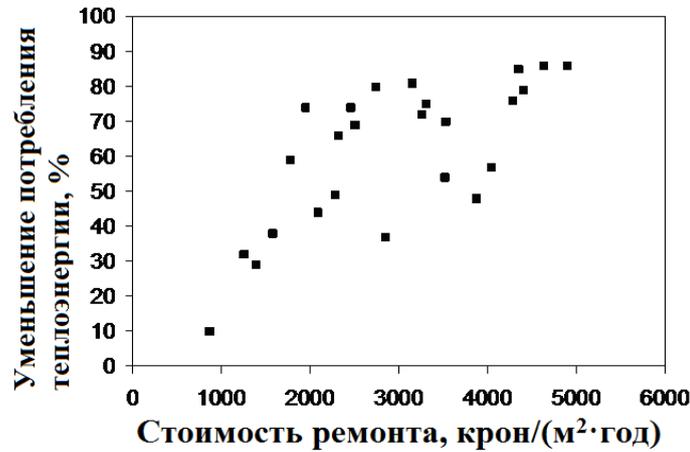


Рисунок 14.7 Уменьшение потребления энергии на отопление и вентиляцию в зависимости от инвестиций на улучшение энергоэффективности.

В случае строительно-экономического расчета учитываются строительные работы по улучшение энергоэффективности. Помимо этих инвестиций необходимо при реконструкции здания точно учесть ещё и те инвестиции, за счет которых можно обеспечить безопасность и продлить срок его службы. Поскольку эти работы связаны с конкретным объектом, из нынешняя энергоэффективность не идет в экономический учет. Поэтому представлены минимальные размеры инвестиций, которые и следует учитывать.

## 15 Выводы

### Техническое состояние и дефекты ограждений и несущих конструкций

Во многих старых кирпичных домах есть серьезные проблемы, связанные с плохим соединением фасадного слоя и несущей стены, а ещё серьезнее проблема в местах стыков кирпичей друг с другом. Из-за низкой морозостойкости кирпичей и высокой нагрузки от осадков и прочей воды фасады начинают разрушаться. Наиболее обширные повреждения на фасадах из керамического кирпича. Несущая способность кирпичной кладки может изменяться в значительной степени, в зависимости от свойств кирпичей и связующего раствора, а также от качества и условий кладки. До начала работ по реконструкции и утеплению, необходимо проконтролировать строительно-техническое положение внешних стен, балконов и навесов и оценить необходимость работ по укреплению.

Основные проблемы крыши связаны с утечками и высокой теплопроводностью ее покрытия. Состояние балконов и лоджий в целом удовлетворительное, но в некоторых случаях наблюдались как разрушение бетона, так и обнажение арматурных стержней. Другая проблема, связанная со строительством балконов и лоджий в том, что внутренние части конструкции подвержены росту плесени.

Из-за высокой теплопроводности внешних элементов кирпичных домов и мостиков холода в стенах, их дополнительное утепление можно считать жизненно важным для условия создания безопасного внутреннего климата, отвечающего стандартам. Кроме того, при утеплении крыши и внешних стен нельзя забывать о балконах и лоджиях. Мостик холода, расположенный вокруг окна и «дырку» окна можно уменьшить за счет перемещения окна ближе к внешней части внешней границы стены. Толщину дополнительного слоя утепления определяют расчет энергоэффективности, влажностный режим и оптимальное строительно-техническое решение.

### Положение технических систем

По общей оценке можно считать состояние технической системы кирпичных домов довольно плохой и нуждающейся в ремонте. К сожалению, сейчас реконструкция технических систем здания чаще случайная, чем тщательно продуманная.

В самом плохом состоянии находится вентиляционная система: вентиляционные трубы крошатся, из-за преград воздушного потока попадание свежего воздуха в квартиры затруднено. Во многих домах есть проблема коррозии и засорения водопровода. Однако замена труб отопления и водоснабжения производится по мере сил. Старые нерегулируемые системы отопления не обеспечивают равномерного распределения температуры в помещении, особенно в условиях частично отремонтированных граничных конструкций. Частой проблемой является дисбаланс систем отопления. Иногда владельцы квартир по собственному желанию увеличивают отапливаемую площадь обогревателями, что нарушает тепловой баланс.

### Мостики холода и воздухопроницаемость, тепловой и влажностный режим внешних стен

Мостики холода являются конструктивной особенностью кирпичных зданий, где в стене не хватило утеплителя. Критичность ( $f_{Rsi} < 0,8$ ) мостиков холода наблюдалась во многих местах, но в сравнении с панельными домами, их количество в кирпичных домах меньше. Важные мостики холода в кирпичных домах находятся в районе вокруг окна, в области перемычек или месте соединения крыши с внешней стеной. Влияние мостиков холода значительно снижает перемещение окна на внешнюю поверхность стены с дополнительной изоляцией.

Значение воздухопроницаемости во всех старых домах примерно одинаковое (как кирпичных, так и панельных). Во всех исследованных квартирах средний номинальный

воздушный поток  $q_{50} = 4,0 \text{ м}^3/(\text{час}\cdot\text{м}^2)$  (воздухообмен при 50 Па  $n_{50} = 5,7 \text{ час}^{-1}$ ) и базовое значение номинального воздушного потока  $q_{50\text{баас}} = 4,4 \text{ м}^3/(\text{час}\cdot\text{м}^2)$  ( $n_{50} = 6,4 \text{ час}^{-1}$ ).

Основные проблемы работ по дополнительному утеплению:

- используются неправильные рабочие решения или методы;
- дополнительная теплоизоляция с внутренней стороны стены;
- неполное утепление фасадов: в ходе реновации утеплены только отдельные части стены;
- при проектировании дополнительного утепления не уделено должного внимания местам соединений конструкций или они ограничены строительным расширением;
- теплопроводность стен с дополнительным утеплением больше, чем расчетная (лучшее строительное положение).

В проекте дополнительного утепления необходимо указать все важнейшие узлы и детальные решения.

Разница влажно-технического состояния стены с минеральной ватой и стены с пенополистиролом очень маленькая. Теплопроводность стены, утепленной минеральной ватой, была на ~12% меньше теплопроводности стены с пенополистиролом. Исследования по выяснению влияния системы дополнительного утепления и теплоизоляционных материалов на влажностный режим здания следует продолжать.

Дополнительное утепление стены с внутренней стороны запрещено!!!

### **Звукоизоляция внутренних перегородок**

Звукоизоляция в исследуемых квартирах отвечает требованиям стандарта EVS 842:2003. Индекс воздухопроницаемости в условиях диффузного звука между перекрытиями и 2-слойной гипсобетонной стеной между квартирами на 2-3 дБ меньше и индекс приведенного уровня ударного шума на 2–5 дБ выше, чем в требованиях стандарта EVS 842:2003 и согласно INSTA 122 отвечает требованиям класса D.

Результаты измерений звукоизоляции ограждений связаны с поглощающим воздействием мебели, а также с неправильной диффузией звука, из-за которой увеличиваются показатели воздушной звукоизоляции. В ходе измерений не найдено прямых подтверждений этому, поскольку не было возможности сделать сравнения.

При реновации перекрытий путем их увеличения и при установке легких плавающих полов показатели звукоизоляции, в сравнении с начальным решением, не улучшаются.

Установка облегченной стены и плавающих полов поднимают значение индекса воздухопроницаемости в условиях диффузного звука 2-слойной гипсобетонной стены между квартирами до 5 дБ, перекрытия до 4 дБ и снижают значение индекса приведенного уровня ударного шума до 11 дБ, обеспечивая их соответствие стандарту EVS 842:2003 и относя их к В классу INSTA 122 В.

В случае массивных (250 мм и толще) стен пристройка стенки для улучшения звукоизоляции не целесообразна.

Требуются доказательства в ходе контрольного исследования и уточнения звукоизоляции и несущей способности, а также определение осуществимости и проверки экономического положения в ходе экспериментального строительства.

### **Состояние тепла и влажности в квартире**

В исследованных квартирах средняя температура зимой была +21,1 °С (в зимний период температура в квартирах была в интервале от +12 °С до +29 °С). Средняя относительная влажность воздуха в квартирах была 33% (относительная влажность в интервале от 19 % до 54 %). Средняя температура воздуха в помещениях летом была +23,2 °С (в интервале от +20,2 °С до +25,8 °С). Средняя относительная влажность воздуха в комнатах была 52% (в интервале от 42 % до 60 %).

Средняя температура воздуха в 52% квартир (включая 5% допускаемое превышение) не отвечала III классу температуры воздуха в помещении (56% квартир не отвечают требованиям в отопляемый период и 15% квартир не отвечают требованиям в летний период). Требования II класса внутреннего климата превысили 88% квартир (88% квартир не отвечают стандартам в отопляемый период и 40% квартир в летний период). По сравнению с результатами исследований, проведенных в соседних странах, в Эстонии внутренний климат в кирпичных домах можно охарактеризовать низкой температурой и высокой влажностью. Летом высокие температуры в помещении не являются серьезной проблемой.

Данная исследовательская работа основывается на данных внутреннего климата, полученных в Эстонии ранее, т.е. отопительный период меняется на летний период, когда средняя температура на улице  $+15\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Расчет дополнительной влажности кирпичных домов (90 % критического уровня) в сравнении с предыдущими исследованиями в Эстонии и Финляндии показал, что средняя влажностная нагрузка в квартирах старых кирпичных домов Эстонии в отопительный период  $6 \dots 7\text{ г/м}^3$ . Основной причиной высокой влажностной нагрузки являются отсутствующая вентиляция и высокая влажность (большая заселенность, сушка белья в помещении и т.д.). Учитывая мостики холода на внешних ограждениях старых квартирных домов, ситуация тревожная. Улучшение интенсивности вентиляции снижением влажностных нагрузок и дополнительным утеплением ограждений для поднятия внутренней температуры поверхности неизбежно.

### **Работа вентиляции и качество воздуха в помещении**

В исследуемых квартирах в период измерения качество воздуха (содержание  $\text{CO}_2$  в присутствии людей) в зимний период отстает от норм II класса воздуха в помещении на 62% и III класса на 19%. Учитывая 5% превышение от ограничений, в зимний период II классу воздуха отвечают 17% и III классу 35% квартир, в которых были проведены измерения. Летом концентрация  $\text{CO}_2$  не является проблемной в связи с постоянным проветриванием помещения.

По стандарту о кратности воздухообмена EVS-EN 15251:2007 ко II классу относится 4 % и к III классу 28 % спален, принявших участие в исследовании. Нормам проектирования вентиляции по стандарту EVS 845-1:2004 отвечают предельные значения воздушного потока на одного человека только 20 % спален. Исходя из показаний воздухообмена на одного жителя по соответствующему стандарту ко II классу относится 16 % и к III классу 36 % спален. Также как и в комнатах, отсутствовал воздушный поток вентиляции и в кухне, и в ванной. По стандарту EVS-EN 15251:2007 уровню II класса отвечают 4 % ванных комнат и 8 % туалетов. А к III классу относятся 13 % как ванных, так и туалетов.

Только естественная вентиляция не может обеспечить достаточную циркуляцию воздуха в старых кирпичных домах. Вентиляционную систему следует оснастить системой рекуперации (теплообменник, вентиляционный теплонасос и др.).

### **Микробиологическое исследование строительных материалов и воздуха внутри помещения**

Наибольшая опасность грибков и бактерий наблюдается в квартирах на верхних этажах домов (из-за меньшей естественной вентиляции, мостиков холода в стенах и перекрытиях) и в квартирах с высокой влажностью. По сравнению с панельными домами среднее количество микроорганизмов в пробах воздуха кирпичных домов меньше. Основной причиной этого является меньшее количество мостиков холода в кирпичных зданиях по сравнению с панельными домами. По сравнению с ранее проведенными исследованиями воздуха в помещении, можно сказать, что в старых кирпичных домах воздух более насыщен грибками и бактериями, чем по всей Эстонии в целом.

### **Оценки квартирособственников и стратегические подходы: выводы по анкетным вопросам**

Объектом исследования были квартиры в многоквартирных домах, в результате опроса получены результаты 83% жителей исследуемых квартир. Жилая зона в исследуемых квартирах в среднем 25 м<sup>2</sup> на человека, а среднее количество жителей 2,8.

70% из опрошенных утверждали, что за последние десять лет в их квартирах замечен ущерб от влажности, другие такого не наблюдали. В основном, трубы протекают в туалетах и ванных комнатах и связаны эти проблемы с поломками стиральных машин. Аналогичный уровень ущерба от влаги (66%) был и в панельных домах, там также поражены туалеты и ванные комнаты (17%). По данным опроса жителей, внутренняя площадь 37% квартир подвержена распространению плесени и в половине этих случаев проблема является частой.

Принимающие участие в исследовании жители квартир считают большой проблемой отопления и вентиляции затхлый воздух (60% опрошенных) и проблемы, связанные с температурой в комнате. Она либо не одинаковая в разных участках комнаты (по словам 58% опрошенных) или возможность ее регулирования отсутствует (по словам 55% опрошенных). Самой распространенной из проблем шума является шум, исходящий от перекрытий, на который жаловались 69% ответивших.

### **Анализ потребления энергии в кирпичных домах**

Анализ, проведенный в течение трех-четырех лет (2006–2009) показал, что среднее потребление электричества (освещение и использование электрооборудования) около 35 кВт\*час/(м<sup>2</sup>·год) (22...49 кВт\*час/(м<sup>2</sup>·год)).

Среднее проанализированное годовое потребление воды в жилых домах составляет 3 л/(м<sup>2</sup>·д) (т.е. отклонение 0,6 л/(м<sup>2</sup>·д)), 202 л/(кв·д) (т.е. отклонение 64 л/(кв·д)) и 86 л/(чел·д) (т.е. отклонение 24 л/(чел·д)). Среднее потребление горячей воды от общего объема потребляемой воды 40%. Среднее годовое потребление горячей воды на человека в жилых домах 35 л/(чел·д) (т.е. отклонение 10 л/(чел·д)) и 1,3 л/(м<sup>2</sup>·д) (т.е. отклонение 0,3 л/(м<sup>2</sup>·д)).

Средний расход удельной потребляемой энергии, потребляемой для обогрева комнаты на 1 кв. метр 150 кВт\*час/(м<sup>2</sup>·год) (т.е. отклонение 41 кВт\*час/(м<sup>2</sup>·год)). Удельный средний расход энергии с домами с 2-трубной системой отопления и радиаторными термостатными вентилями меньше (146 кВт\*час/(м<sup>2</sup>·год)), чем с 1-трубной системой без вентиляторов (153 кВт\*час/(м<sup>2</sup>·год)). Среднее удельное энергопотребление в домах, где стены дополнительно утеплены меньше (124 кВт\*час/(м<sup>2</sup>·год)), чем в оставшихся домах (157 кВт\*час/(м<sup>2</sup>·год)).

В ходе исследования выяснено, что ни одно из зданий не отвечает требованиям энергоэффективности: энергетическая маркировка C (энергоэффективность или взвешенный удельный расход энергии <150 кВтч/(м<sup>2</sup>·г)). Среднее значение энергоинтенсивности 238 кВтч/(м<sup>2</sup>·г) (т.е. отклонение 48 кВтч/(м<sup>2</sup>·г)). На отопление помещений и вентиляцию израсходовано 62% теплоэнергии, 13% на нагрев воды и 25% на потребление электроэнергии от общего взвешенного энергопотребления.

### **Расчетный анализ энергопотребления кирпичных домов**

Большую экономию даёт улучшение энергоэффективности, или так называемое комплексное решение, которое состоит в реконструкции, как отдельных частей дома (крыша, стены), так и технических систем (отопление и вентиляция).

Для достижения класса энергоэффективности C, необходимо использовать вентиляционную систему с высокой рекуперацией тепла. Одна из возможностей – использование теплового насоса в целом для здания, другая – комнатные или квартирные решения. Необходимо утеплить стены и крышу, а также по возможности заменить все окна на энергосберегающие.

Для достижения класса энергоэффективности D, необходимо использовать вентиляционную систему с высокой рекуперацией тепла. Можно использовать теплонасос или обычное решение с утеплением. Необходимо утеплить стены и крышу, а окна с деревянными рамами заменить на энергосберегающие.

Для достижения класса энергоэффективности E, необходимо утеплить стены и крышу. Для обеспечения воздухообмена использовать механическую вытяжную вентиляцию (без рекуперации тепла). Если использовать вентиляционную систему с рекуперацией тепла, то достаточно только утеплить крышу и построить вентиляционную систему.

Сравнивая отдельные компоненты, можно сделать вывод, что высокую энергоэффективность дают внешняя изоляция и замена окон. До начала реконструкции необходимо значительно уменьшить инфильтрацию воздуха снаружи в помещение, а для создания здорового внутреннего климата необходима принудительная вентиляция. Основным условием сравнения отдельных компонентов энергосберегаемости является отремонтированная система отопления и вентиляции. При реконструкции вентиляционной системы и использовании рекуперации тепла экономия относительно мала и это связано с необходимостью увеличить воздухообмен для улучшения климата в помещении.

В ситуации, когда нет возможности провести комплексный ремонт, необходимо сделать ремонтируемую часть максимально энергоэффективной, поскольку переделывание ее позднее дороже и экономически нецелесообразно.

### **Экономическая целесообразность улучшения энергоэффективности здания**

Исходя из экономических расчетов можно сделать вывод, что энергосберегающие пакеты (C, B) обладают коротким сроком окупаемости и их среднегодовая доходность инвестиций выше.

Без дополнительных субсидий улучшение энергоэффективности зданий в данное время экономически невыгодно (срок окупаемости чересчур велик, а доходность инвестиций крайне мала) пока:

- цена на работы по реновации столь высокая;
- процент на кредит столь высок;
- стоимость электро- и теплоэнергии низкая.

В основном жилые дома требуют реконструкции, чтобы обеспечить безопасность здания (несущая способность, пожарная безопасность, эксплуатационная безопасность, экологическая безопасность) и безопасность здоровья (внутренний климат). Уж если начинать работы по реконструкции, то делать их следует в лучшем виде, только так срок окупаемости будет коротким, а доходность инвестиций наиболее высокой.

Стоимость энергосберегающего пакета незначительно повышается от его размеров. Например, сравнивая пакеты E<sub>1</sub> и C<sub>1</sub> типовых проектов 317-318, строительные расходы на них соответственно 4 042 717 крон и 5 002 394 крон, а значит разница в цене 959 676 крон или 19%. Однако их годовая экономия энергии соответственно 130 000 крон и 254 000 крон; разница 124 000 крон или 49%.

Расчеты подтверждают, что подъем цен на энергию сокращает срок окупаемости. Если цена на энергию поднимается из-за акцизов, следует за счет дохода от акцизного налога субсидировать реконструкцию домов (как многоквартирные дома, так и коттеджи).

Средний уровень доходности инвестиций используется для оценки альтернативных инвестиционных возможностей. Теоретически возможно, что владельцы квартир будут вкладывать свои средства во что-то другое (например, в ценные бумаги, от которых возможно получить высокий средний годовой доход), а не в реконструкцию жилых домов. В результате складывается ситуация, когда энергия тратится впустую и на нее расходуются большие средства, а оставшиеся деньги приносят доход в другом месте.

## 16 Список литературы

- Adan, O.C.G. 1994. On the fungal defacement of interior finishes. Doctoral thesis, Eindhoven University of Technology, pp. 224.
- Annus, T. 2008. Tolmulestad põhjustavad allergiat. Apteeker, 14. jaanuar 2008.
- Arlian, L.G., Neal, J.S., Vyszynski-Moher, D.L. 1999. Reducing relative humidity to control the house dust mite *Dermatophagoides farinae*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 1999; 104 4 Pt 1: 852-6.
- ASHRAE, Handbook of Fundamentals. American Society of Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 1993.
- Backman, E., Hyvärinen, M., Lindberg, R., Reiman, M., Seuri, M. Kokotti H. 2000. The effect of air leakage through the moisture damaged structures in a school building having mechanical exhaust ventilation. In: Proceedings of the Healthy Buildings 2000 Conference. 6-10 August 2000, Helsinki, Finland.
- Batterman, S., Jia, C., Hatzivasilis, G. 2007. Migration of volatile organic compounds from attached garages to residences: a major exposure source. *Environmental Research* 2007;104(2):224-240.
- Binamu A. 2002. Integrating building design properties "air tightness" and ventilation heat recovery for minimum heating energy consumption in cold climates. Dissertation. Tampere University of Technology.
- Bornehag, C. G., Sundell, J., Bonini, S., Custovic, A., Malmberg, P., Skerfving, S., Sigsgaard, T., Verhoeff, A. 2004. Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature 1998-2000 on dampness and mite exposure in buildings and health effects. *Indoor Air* 2004; 14 4: 243–257.
- Bornehag, C.G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järholm, B., Malmberg, P., Nordvall, L., Nielsen, A., Pershagen, G., Sundell, J. 2001. Dampness in Buildings and Health. Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects NORDDAMP. *Indoor Air* 2001; 11 2: 72-86.
- Building Regulations, BBR, of the Swedish Board of Housing, Building and Planning BFS 1998:38. Mandatory provisions and general recommendations. December 2001. P9:212.
- C3. Rakennuksen lämmöneristys. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Määräykset, 2007.
- CR 1752. Ventilation for buildings: design criteria for the indoor environment / European Committee for Standardization. European Committee for Standardization. Brussels, 1998.
- D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet, 2007.
- DIN 4108-7:2001-08. Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 7: Airtightness of buildings, requirements, recommendations and examples for planning and performance.
- Eesti Keskkonnatervise Riiklik Tegevusplaan (National Environmental Health Action Plan of Estonia) - EV Sotsiaalministeerium, 1999. - 69 lk.
- Eesti Standardikeskus. Eesti standard EVS 885:2005 Ehituskulude liigitamine.
- Eesti Tervisekaitse Selts 51. Konverentsi ettekannete kogumik. 2005.
- EKHHL (2002). Eluhoonete renoveerimise üldistatud aluste ja korralduse põhimõtted ja soovitusused omanikule. Eesti Kinnisvara Haldajate ja Hooldajate Liit, Tallinn, 2002.
- EKK (1994) Mustamäe suurelamute konstruktsioonide seisukorra ekspertiisi ning renoveerimise ettepanekud. Ehituskonstrueerimise ja katsetuste AS.
- Emmerich, S.J., Gorfain, J.E., Howard-Reed, C. Air and pollutant transport from attached garages to residential living spaces - literature review and field tests. *The International Journal of Ventilation* 2003;2(3):265–76.

- VVm 258. Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr. 258 (RTI, 28.12.2007, 72, 445).
- MKMM 52. Rohelise investeerimisskeemi «Korterelamute rekonstrueerimise toetus» kasutamise tingimused ja kord». Majandus- ja kommunikatsiooniministri 17. augusti 2010. a määruses nr 52.
- EPN 11.1 Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Ehitusteave (ET-1 0113-0108), 1995.
- EstKONSULT (1996). Tallinna Mustamäe linnaosa elamute rekonstrueerimine. Inseneribüroo EstKONSULT.
- EV MKM. 2007. Uuringu „Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ lähteülesanne. Eesti Vabariigi Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. August 2007.
- EVS 814:2003 „Normaalbetooni külmakindlus. Määratlused, spetsifikatsioonid ja katsemeetodid“
- EVS 837-1:2003. Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Standardikeskus, 2003.
- EVS 839:2003. Sisekliima. Eesti Standardikeskus, 2003.
- EVS 845-1:2004 Hoonete ventilatsiooni projekteerimine. Osa 1: Üldnõuded.
- EVS-EN 13187:2001 Thermal performance of buildings - Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 13829:2001. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method. Eesti Standardikeskus; 2001.
- EVS-EN 15251:2007. Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast (Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Eesti Standardikeskus, 2010.
- EVS-EN 771 Müürikiivide spetsifikatsioon. Osa 1: Savimüürikiivid., Osa 2: Silikaatmüürikiivid.
- EVS-EN 772 Müürikiivide katsemeetodid. Osa 1: Survetugevuse määramine.
- EVS-EN 772-18:2005 Silikaattelliste külmakindluse määramine.
- EVS-EN ISO 10211-1:2000 Külmasillad hoones. Soojavood ja pinnatemperatuurid. Osa 1: Üldised arvutusmeetodid Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Part 1: General calculation methods. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN ISO 13788:2001 Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods. Eesti Standardikeskus.
- Fang, L., Clausen, G., Fanger, P.O. 1998. Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality During Immediate and Longer Whole-Body Exposures. Indoor Air 1998; 8 4: 276-284.
- Fanger, P.O. 1971. Air Humidity, Comfort and Health. Technical University of Denmark, Lundby, Denmark, 1971.
- GOST 7025-91 - Kирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
- Guo, L. & Lewis, O. J. Carbon dioxide concentration and its application on estimating the air change rate in typical Irish houses. The International Journal of Ventilation, 2007, 6, 3, 235-244.
- Hagentoft, C.E., Harderup, E. Moisture conditions in a north-facing wall with cellulose loose-fill insulation: construction with and without a vapor retarder and air leakage. ASHRAE Transactions 1995;101(1):639–46.

- Hart, B.J. 1998. Life cycle and reproduction of house-dust mites: environmental factors influencing mite populations. *Allergy* 1998; 5 48: 13-17.
- Heidt, F. D. Ventilation for energy efficient buildings, ISES summer Workshop, 2006.
- Hens, H. (ed.). *Condensation and Energy, Guidelines and Practice*. Vol. 2, Annex 14, International Energy Agency, KU Leuven, 1990.
- Hukka E., Viitanen H.A., 1999. A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology* 33, Springer-Verlag.
- Husman, T., Roto, P., Seuri, M. 2001. *Sisäilma ja terveys – Tietoa rakentajille*. Kansanterveyslaitoksen julkaisu B14/2002.
- Indermitte, E. 2005. *Eluruum ja inimese tervis*. Kägu: Eesti Bioloogia- ja Geograafiaõpetajate Liidu toimetised (9 - 17). Tallinn: Bioloogia- ja Geograafiaõpetajate Liit.
- Indermitte, E. 2008. Hallituseest ruumiõhus. In: *Eesti Tervisekaitse Seltsi 54. konverentsi ettekannete kogumik: Eesti Tervisekaitse Seltsi 54. konverents "120 aastat sanitaarkontrolli Eestis"*; Virumaa, Jõhvi-Narva; 5.-6.09.2008. (Toim.) Saava, A.; Remm, M.. Tallinn:, 2008, 86 - 90.
- IOM Institute of Medicine 2004. *Damp Indoor Spaces and Health*. National Academy of Sciences. Washington D.C: National Academies Press.
- ISO 9869:1994. *Thermal insulation -- Building elements -- In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance*.
- ISO EN 7730:1994. *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, 1994.
- ISO/FDIS 13789. *Thermal performance of buildings -- Transmission and ventilation heat transfer coefficients -- Calculation method*.
- Jaakkola, J.J.K., Heinonen, O.P., Seppänen, O. 1989. Sick building syndrome, sensation of dryness and thermal comfort in relation to room temperature in an office building: need for individual control of temperature. *Environmental International* 1989; 15: 163-168.
- Janssens A, Hens H. Interstitial condensation due to air leakage: a sensitivity analysis. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 2003;27(1):15–29.
- Jokisalo J, Kurnitski J. Simulation of energy consumption in typical Finnish detached house. Helsinki University of Technology, HVAClaboratory, Report B74; 2002.
- Jokl, M. V. Evaluation of indoor air quality using the decibel concept based on carbon dioxide and TVOC. *Building and Environment*, 1998, 35, 8, 677-697.
- Kalamees, T. (2006). Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering*, 12(3-1), 218 – 229 ([http://www.kirj.ee/public/va\\_te/eng-2006-3\\_1-6.pdf](http://www.kirj.ee/public/va_te/eng-2006-3_1-6.pdf)).
- Kalamees, T. Air tightness and air leakages of lightweight single-family detached houses in Estonia. *Building and Environment* 2007;42(6):2369-2377.
- Kalamees, T. *Elamupiirete õhupidavus: Uurimistöõ „Elamute õhulekkearvu baasväärtuse väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise meetodika väljatöötamine“*, raport. Tallinna Tehnikaülikool, 2008.
- Kalamees, T., 2006. *Hygrothermal Criteria for Design and Simulation of Buildings*. Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn: TTU Press.
- Kalamees, T., Vinha, J. Estonian Climate Analyzes for Selecting Moisture Reference Years for Hygrothermal Calculations. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 2004; 27 (3): 199-220.
- Kalamees, T; Õiger, K; Kõiv, T-A; Liias, R; Kallavus, U; Mikli, L; Lehtla, A; Kodi, G; Luman, A; Arumägi, E; Mironova, J; Peetrimägi, J; Korpen, M; Männiste, L; Murman, P; Hamburg, A;

- Tali, M; Seinre, E. 2009. Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikool.
- Karlsson, F., Axell, M., Fahlen, P. Heat pump system in Sweden – Country report for IEA HPP Annex 28. Energy Technology Boras, 2003.
- KENA 2010. Eesti erinevate omavalitsuste kaugkütte maksumus. Kliima- ja Energiaagentuur. Siseraport.
- Kinnistu veevärgi projekteerimine EVS 835:2003. Tallinn 2003.
- Koiv, T.-A., and Toode, A. Trends in Domestic Hot Water consumption in Estonia apartment buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Engng, 12, 1, 2006, 72-80.
- Korsgaard, J. 1983. House-dust mites and absolute indoor humidity. Allergy 1983; 38 2: 85-92.
- Kõiv, T.-A. Õhu konditsioneerimine I. Õhutöötlemisprotsessid. TTÜ Kirjastus, Tallinn, 2006, 6-20.
- Kõiv, T.-A. Indoor climate and performance on top floors of typical old-type apartment buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2008, 14, 17-28.
- Kõiv, T.-A. Indoor climate and ventilation in Tallinn school buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2007, 13, 17-25.
- Kõiv, T.-A. Loigu, E. Elamufondi jätkusuutlikkuse säilitamine läbi ventilatsiooniprobleemide tüüplahenduste väljatöötamise. Tallinna Tehnikaülikool, 2007.
- L1A. The Building Regulations 2000. Conservation of fuel and power in new dwellings. 2006.
- L2A. The Building Regulations 2000. Conservation of fuel and power in new buildings other than dwellings. 2006.
- Lech, J.A., Wilby, K., McMullen, E., Laporte, K. The Canadian human activity pattern survey: Report of Methods and Population Surveyed, Chronic Diseases in Canada, 1996, 17.
- Leskelä, M. 2008. by 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Suomen Betonitieto Oy, Helsinki, 2008. 711pp.
- Lowe, R.J. Ventilation strategy, energy use and CO<sub>2</sub> emissions in dwellings - a theoretical approach. Building Services Engineering Research and Technology, 2000, 21, 179.
- Lu, T., Knuutila, A., Viljanen, M., Lu, X. A novel methodology for estimating space air change rates and occupant CO<sub>2</sub> generation rates from measurements in mechanically-ventilated buildings. Building and Environment, 2009, 45, 5, 1161-1172.
- Marchant, E.W. Fire safety systems—interaction and integration. Facilities 2000;18(10/11/12):444–55.
- Mattson, J., Carlson, O.E., Engh, I.B. Negative influence on IAQ by air movement from mould contaminated constructions into buildings. In: Proceedings of indoor air 2002, vol. 1. Monterey, California, USA, 2002. p. 764–9.
- NRCan 2004. R-2000 Standard.
- Olesen, B. W. The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. Energy and Buildings, 2007, 39, 7, 740-749.
- Pavlovas, V. Demand controlled ventilation. Chalmers University of Technology, Göteborg, 2003, 17-50
- Pavlovas, V. Energy savings in existing Swedish apartment buildings. Chalmers University of Technology, Göteborg, 2006, 17-83
- prEN 15242 Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration; 2005.
- Redlich, C., Sparer, J., Cullen, M. Sick-building syndrome. Lancet, 1997, 349,1013-1016.

- REN TEKNISK 1997 Statens Bygningstekniske Etat Veiledning til teknisk forskrift til plan-og bygningsloven.
- Rowan, N.J., Johnstone, C.M., McLean, R.C., Anderson, J.G., Clarke, J.A. 1999. Prediction of Toxicogenic Fungal Growth in Buildings by Using a Novel Modelling System. Applied and Environmental Microbiology 1999; 65: 4814-4821.
- RT 80-10632 Ehitise kaitseplekid (1997) 19 lk. Ehitusteabe fondi juhendteatmik.
- RT 80-10817 Ehitiste valtsimis- ja plekitööd. Üldjuhised.(2004) 12 lk. Ehitusteabe fondi juhendteatmik.
- RT 80-10974. Teollisest valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Rakennustieto.
- Sanders, C. (1996). IEA-Annex 24 HAMTIE, Final Report, Volume 2, Task 2: Environmental conditions. Laboratorium Bouwfysica, K.U.-Leuven, Belgium.
- Seppänen, O. A. & Fisk, W J. Some quantitative relations between indoor environmental Quality and Work Performance or Health. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006.
- Seppänen, O. A. Estimated cost of indoor climate in Finnish buildings. Proceedings of Indoor Air 1999, 3, 13-18.
- SIA 180. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Wärmeschutz im Hochbau, Zürich. 1999.
- Silikaatbetooni Instituut. 1977. Soovituste väljatöötamine silikaatbetoonist sisepiirete kandvate konstruktsioonide väljatöötamiseks nende ehitus-akustiliste selgitamise põhjal. Tallinn, 1977.
- Sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a. määrus nr. 42. „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid”.
- Sterling, E.M., Arundel, A., Sterling, T.D. 1985. Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings. ASHRAE Transactions 1985; 91 1: 611-621.
- TLV 52. Tallinna linnavalitsuse määrus number 52 „Tallinna linna omandis oleva elamu soojusenergia teenustasu jaotus eluruumide vahel“ (30.06.2008).
- Toode, A. and Koiv, T.-A. Domestic hot water consumption investigation in apartment buildings. Proc.Estonian Acad. Sci. Engng., 11, 3, 2005, 207-214.
- Toode, A. and Kõiv, T-A. 2007. Domestic hot water consumption in Estonian apartment buildings. In: CIBW062 200: Book of Papers: 33rd International Symposium Water Supply and Drainage for Buildings, Brno, Czech Republic, 19.-21.09.2007. Brno: Brno University of Technology, 2007, pp. 31 - 38.
- Töötervishoiu keskus. Niiskus- ja hallitusprobleemid töökohtadel. Metoodiline juhend. Tallinn 2004.
- Wang, F., Ward, I.C. Radon entry, migration and reduction in houses with cellars Building and Environment 2002;37(11):1153-1165.
- Viitanen, H., Ritschkoff A.C. 1991. Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Report No 221, Uppsala, Sweden.
- Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, Valovirta, I., Mikkilä, A., Jokisalo, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpöolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tutkimusraportti 131. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
- Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K. ja Keto, M. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.

## Строительно-техническое состояние кирпичных домов жилого фонда Эстонии

VV määrus nr. 315. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. 27. 10. 2004 (RT I 2004, 75, 525).

VV määrus nr. 38. Eluruumidele esitatavad nõuded. 26. 01. 1999 (RT I 1999, 9, 38).

Wyon, D.P., Fang, L., Mayer, H.W., Sundell, J., Weirsoe, C.G., Sederberg-Olsen, N., Tsutsumi, H., Agner, T., Fanger, P.O. 2002. Limiting criteria for human exposure to low humidity indoors. Proceedings of the 9th International Congress on Indoor Air Quality, July 2-6, Monterey, USA; IV: 400-405.

СНиП II-л.1.-71\* "Жилые здания, нормы проектирования" Глава 12. ЗАЩИТА ОТ ШУМА.