



Европейская  
комиссия

# Реновация зданий

с применением стальных конструкций  
(Robust)

Исследования  
и инновации

EUR 25335 EN

# Научно-исследовательский фонд угля и стали

## Реновация зданий с применением стальных конструкций (Robust)

Лоусон Р. М., Бадду Н. Р. и Ванье Г.

**Институт стальных конструкций (SCI)**

Silwood Park, Ascot, Berks, SL5 7QN, UNITED KINGDOM (Великобритания)

Дёринг Б. и Кунхенне М.

**Рейнско-вестфальский технический университет г. Аахена (RWTH)**

Lehrstuhl für Stahlbau und Leichtmetallbau, Mies van der Rohe Str. 1, 52074, Aachen GERMANY (Германия)

Ниеминен Й.

**Центр технических исследований Финляндии (VTT)**

Materials and Construction/Indoor Climate and Building Services, PO Box 1000, 02044 VTT, Espoo, FINLAND (Финляндия)

Беган П. и Эрбан С.

**Промышленно-технический центр металлических конструкций (CTICM)**

Espace Technologique, Route de l'orme des merisiers, 91193 Saint Aubin, France (Франция)

Кароли Г.

**Научно-исследовательский центр ArcelorMittal в г. Льеж**

Industry Centre Liege/Steel Solution Design for Construction, PO Box 4000 Liege, BELGIUM (Бельгия)

Адетунджи И.

**Научно-исследовательский технологий и разработок Tata Steel**

Swinden Technology Centre (STC), Moorgate, Rotherham, South Yorkshire S60 3AR, UNITED KINGDOM (Великобритания)

Козловски А.

**Жешувский политехнический университет им. И. Лукасевича (PRz)**

W. Pola 2, 35 959 Rzeszow, POLAND (Польша)

Грантовое соглашение RFSR-CT-2007-00043,  
срок действия с 1 июля 2007 г. по 30 июня 2010 г.

### Заключительный отчет

Генеральный директорат по научным исследованиям и инновациям

## ПРАВОВОЕ УВЕДОМЛЕНИЕ

Ни Европейская комиссия, ни любое лицо, действующее от имени Комиссии, не несет ответственности за возможное использование следующей информации.

Мнения, приведенные в настоящей публикации, принадлежат исключительно их авторам и не обязательно совпадают с точкой зрения Европейской комиссии.

***Ответы на свои вопросы о Европейском союзе  
вы сможете найти в информационной сети Europe Direct***

**Бесплатный телефон (\*):  
00 800 6 7 8 9 10 11**

(\*). Некоторые операторы мобильной связи не разрешают доступ к номерам 00 800 или эти звонки могут быть платными.

Подробнее о Европейском союзе на сайте (<http://europa.eu>).

Подробности по каталогизации приводятся в конце данной публикации.

Люксембург: Бюро публикаций Европейского союза, 2013 г.

Международный стандартный книжный номер (ISBN): 978-92-79-24950-1  
ИЦО: 10.2777/97860

© Европейский союз, 2013 г.

Публикация сведений из данного документа разрешена при условии размещения ссылки на источник.

*Напечатано в Люксембурге*

НА БЕЛОЙ БУМАГЕ БЕЗ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРА

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>АННОТАЦИЯ.....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2</b> | <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>   | <b>11</b> |
| 2.1      | Установка новых фасадных систем на старые фасады .....  | 11        |
| 2.2      | Возведение надстроек и реконструкция крыш .....   | 12        |
| 2.3      | Модульные системы для реновации зданий .....  | 13        |
| 2.4      | Другие европейские проекты по реновации .....   | 14        |
| <b>3</b> | <b>ПРОГРАММА № 1: РЕНОВАЦИЯ КОММЕРЧЕСКИХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ:<br/>СТРАТЕГИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ.....</b>                               | <b>15</b> |
| 3.1      | Цели .....  | 15        |
| 3.2      | Последние проекты по установке новых фасадных систем на старые фасады зданий.....   | 15        |
| 3.3      | Исследование стальной фасадной системы, устанавливаемой на старый фасад здания...   | 16        |
| 3.4      | Критерии проектирования новых энергоэффективных фасадных систем<br>для установки на старые фасады зданий .....                    | 17        |
| 3.5      | Точность размеров при установке новой фасадной системы на старый фасад .....  | 19        |
| 3.6      | Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания<br>на потребление энергии .....                                       | 21        |
| 3.7      | Исследование гидротермических характеристик теплоизолированной фасадной<br>системы .....  | 23        |
| 3.7.1    | Описание новой фасадной системы, устанавливаемой на старый фасад здания..   | 23        |
| 3.7.2    | Эксплуатационные характеристики и показатели надежности системы.....  | 24        |
| 3.7.3    | Результаты .....  | 25        |
| 3.8      | Анализ теплоизоляции фасадных систем с двойными наружными панелями.....   | 26        |
| 3.9      | Тепловая модель здания после реновации.....   | 27        |
| 3.9.1    | Офисное здание .....  | 27        |
| 3.9.2    | Офисное здание с надстройкой на крыше .....   | 29        |
| 3.9.3    | Многоквартирный дом .....   | 30        |
| 3.10     | Инновационные энергоэффективные фасадные системы, устанавливаемые<br>на старые фасады зданий.....                                 | 32        |
| 3.10.1   | Полевые испытания системы теплоаккумулирующих стен.....   | 32        |
| 3.10.2   | Полевые испытания перфорированных солнечных коллекторов в составе<br>фасадной системы .....                                       | 34        |
| 3.11     | Указания по проектированию перфорированных солнечных коллекторов .....  | 40        |
| 3.11.1   | Основные уравнения энергетического баланса для перфорированных<br>солнечных коллекторов .....                                     | 40        |
| 3.11.2   | Типы перфорированных солнечных коллекторов.....   | 41        |
| 3.11.3   | Применение перфорированных солнечных коллекторов в составе новых<br>фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады зданий..... | 42        |
| 3.12     | Указания по реновации коммерческих и жилых зданий .....   | 44        |
| 3.12.1   | Фасадные системы для установки на старые фасады зданий .....  | 44        |
| 3.12.2   | Энергоэффективность.....  | 45        |
| <b>4</b> | <b>ПРОГРАММА № 2: РЕНОВАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ: СТРАТЕГИИ<br/>ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ .....</b>                                      | <b>47</b> |
| 4.1      | Цели .....  | 47        |
| 4.2      | Проблемные участки одноэтажных зданий и примеры реновации.....  | 47        |
| 4.3      | Расчет кассетных стен с улучшенной теплоизоляцией.....  | 49        |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.4   | Способы обеспечения воздухопроницаемости при реновации зданий .....  | 51 |
| 4.4.1 | Утечка воздуха .....   | 51 |
| 4.4.2 | Нормативные требования, касающиеся утечки воздуха.....   | 51 |
| 4.4.3 | Низкие показатели воздухопроницаемости .....   | 52 |
| 4.4.4 | Рекомендации по обеспечению герметичности, основанные на передовом опыте.....  | 52 |
| 4.5   | Тепловая модель здания — параметрическое исследование .....  | 53 |
| 4.5.1 | Описание граничных условий для теплового анализа.....  | 53 |
| 4.5.2 | Параметры теплового анализа .....  | 54 |
| 4.5.3 | Результаты теплового анализа .....   | 55 |
| 4.6   | Практические примеры зданий до и после реконструкции.....  | 56 |
| 4.6.1 | Практический пример 1. Поттерс Плейс, Скелмерсдейл, Великобритания.....  | 56 |
| 4.6.2 | Практический пример 2. Милтон-Кинс, Великобритания .....   | 61 |
| 4.6.3 | Практический пример 3. Комплекс зданий L, Польша.....  | 62 |
| 4.6.4 | Практический пример 4. Цех по производству авиационной техники, Польша....   | 63 |
| 4.6.5 | Практический пример 5. Спортивный зал, Германия .....  | 64 |
| 4.7   | Указания по установке новой крыши поверх старой и установки новой фасадной системы поверх старого фасада .....                                 | 65 |
| 4.7.1 | Установка новой фасадной системы на старый фасад одноэтажных зданий .....  | 66 |
| 4.7.2 | Установка новой крыши одноэтажных зданий на старую .....   | 66 |
| 4.7.3 | Требования к проектным решениям по установке новой крыши поверх старой и новой фасадной системы поверх старого фасада одноэтажных зданий ..... | 67 |

## **5 ПРОГРАММА № 3: СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАДСТРОЕК ЗДАНИЙ ..... 68**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.1   | Цели .....   | 68 |
| 5.2   | Обзор последних проектов.....  | 68 |
| 5.3   | Оценка возможности реализации проекта и изучение технических вопросов.....                         | 70 |
| 5.4   | Соединение надстройки со старым зданием.....   | 71 |
| 5.4.1 | Стальная колонна и бетонная стена (узловое соединение) .....                                       | 72 |
| 5.4.2 | Предпроектное исследование соединения стального порталного несущего каркаса и бетонной стены ..... | 74 |
| 5.4.3 | Соединение легкой стальной стены с бетонной стеной (стыковое соединение) ...                       | 74 |
| 5.5   | Вопросы безопасности и обеспечения доступа.....  | 75 |
| 5.6   | Исследование характеристик полужестких угловых соединений .....                                    | 76 |
| 5.6.1 | Схема испытания .....  | 76 |
| 5.6.2 | Числовое моделирование .....   | 77 |
| 5.6.3 | Характеристики момента вращения.....   | 77 |
| 5.7   | Испытания узла соединения стального каркаса с существующей бетонной стеной.....                    | 78 |
| 5.7.1 | Схема испытания .....  | 78 |
| 5.7.2 | Результаты испытаний.....  | 79 |
| 5.7.3 | Испытания одинарных легких стальных стеновых панелей.....  | 82 |
| 5.8   | Указания по проектированию надстроек .....   | 83 |

## **6 ПРОГРАММА № 4: ЛЕГКИЕ СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ КРЫШ..... 84**

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.1   | Цели .....  | 84 |
| 6.2   | Оценка возможности реализации проекта и изучение практических аспектов..... | 84 |
| 6.3   | Исследование систем бесчердачной крыши .....                                | 86 |
| 6.3.1 | Описание системы бесчердачной крыши.....                                    | 86 |
| 6.3.2 | Расчет конструкции системы бесчердачной крыши .....                         | 86 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 6.4       | Моделирование теплоизоляции обновленных крыш.....  | 89         |
| 6.4.1     | Определение моделей жилых зданий.....  | 89         |
| 6.4.2     | Результаты моделирования для жилого здания.....  | 90         |
| 6.5       | Оценка процедуры монтажа кровельных систем.....  | 92         |
| 6.6       | Исследование возможностей применения инновационных кровельных систем при реновации .....                                       | 93         |
| 6.6.1     | Стальная кровля с интегрированной солнечной батареей .....   | 94         |
| 6.6.2     | Автономная система отопления на базе солнечного воздушного коллектора.....   | 94         |
| 6.6.3     | Система отопления и вентиляции на солнечной энергии.....   | 95         |
| 6.6.4     | Интегрированный в крышу солнечный коллектор для системы водяного отопления .....   | 95         |
| 6.6.5     | Анализ применения солнечной батареи на крыше надстройки .....  | 97         |
| 6.7       | Указания по проектированию надстроек на крыше.....   | 97         |
| 6.7.1     | Трансформация плоской крыши.....   | 97         |
| 6.7.2     | Трансформация скатной крыши .....  | 97         |
| 6.7.3     | Крыша из легких стальных конструкций: «бесчердачная крыша» .....   | 98         |
| 6.7.4     | Планирование размеров помещения в пространстве под крышей .....  | 98         |
| 6.7.5     | Утепление крыши и защита от конденсата.....  | 99         |
| 6.7.6     | Пожарная безопасность.....   | 100        |
| <b>7</b>  | <b>ПРОГРАММА № 5: ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ЭКОУСТОЙЧИВОСТИ. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ .....</b> | <b>101</b> |
| 7.1       | Цели .....   | 101        |
| 7.2       | Программный инструмент для экономического обоснования.....   | 101        |
| 7.2.1     | Функциональные характеристики инструмента.....   | 101        |
| 7.2.2     | Параметрические исследования .....   | 102        |
| 7.2.3     | Вывод эмпирических зависимостей, определяющих потребность здания в энергии.....  | 104        |
| 7.2.4     | Реализация программного инструмента.....   | 105        |
| 7.2.5     | Выводы .....   | 107        |
| 7.3       | Программный инструмент для обоснования экоустойчивости.....  | 108        |
| 7.3.1     | Выявление зависимости между коэффициентом теплопередачи и углеродным следом.....   | 108        |
| 7.3.2     | Разработка инструмента .....   | 110        |
| 7.3.3     | Демонстрация инструмента на примере Поттерс Плейс.....   | 111        |
| 7.4       | Оценка реновации методом BREEAM и HQE .....  | 112        |
| 7.5       | Практические примеры применения технологий, изучаемых в данном проекте.....  | 114        |
| <b>8</b>  | <b>ВЫВОДЫ.....</b>   | <b>116</b> |
| <b>9</b>  | <b>ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОЛЬЗА И ЦЕННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>   | <b>117</b> |
| 9.1       | Польза с технической и экономической точки зрения .....  | 117        |
| 9.2       | Распространение результатов .....  | 117        |
| <b>10</b> | <b>СПИСОК РИСУНКОВ.....</b>  | <b>118</b> |
| <b>11</b> | <b>СПИСОК ТАБЛИЦ.....</b>  | <b>121</b> |
| <b>12</b> | <b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И АББРЕВИАТУР .....</b>   | <b>122</b> |
| <b>13</b> | <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>  | <b>123</b> |

# 1 АННОТАЦИЯ

## Цели проекта

Цель настоящего проекта состоит в исследовании перспектив применения стальных конструкций при реновации, реконструкции и модернизации любых существующих зданий. Ниже приводятся ключевые аспекты:

- стратегии повышения тепловой эффективности и предотвращение обветшания бетонных и кирпичных фасадов в индивидуальных и многоквартирных жилых домах, например за счет установки новой фасадной системы на старый фасад;
- стратегии повышения тепловой эффективности и воздухопроницаемости крыш и стен промышленных зданий, например за счет замены старого фасада или установки новой фасадной системы на старый фасад;
- возведение надстроек и реконструкция зданий с применением модульных стальных конструкций, включая возведение новых перекрытий и крыш;
- замена деревянных крыш в жилых домах на стальные системы;
- экономическая оценка результатов реновации зданий и энергоэффективности с учетом стоимости строительно-монтажных работ, включая примеры последних проектов.

## Программа энергоэффективности № 1 — жилые и коммерческие здания

В рамках данной программы рассматриваются способы повышения теплоизоляции коммерческих и жилых зданий за счет установки новой фасадной системы на старый фасад.

### 1) *Исследование стальной фасадной системы*

Подготовлен сводный отчет по результатам последних проектов в Бельгии, Нидерландах, Великобритании, Финляндии, Италии, Франции, Дании и Германии с установкой стальных фасадных систем на старые фасады зданий. В отчете приведены основные факторы «за» реновацию с учетом перспектив стальных фасадных систем. Установлены ключевые проектные требования для фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады зданий, включая воздухопроницаемость, теплоизоляцию, срок службы, ветровую нагрузку и другие. В том числе приведены рекомендации по обеспечению соответствующих уровней воздухопроницаемости зданий с фасадными системами, установленными на старые фасады.

### 2) *Исследование гидротермических характеристик теплоизолированной фасадной системы, устанавливаемой на старый фасад здания*

По динамическим расчетам тепла и влаги выполнен гидротермический анализ (т. е. влажности и температуры) фасадной системы, установленной на старый фасад здания, для разных климатических условий, солнечного и длинноволнового излучения, ветровой и сильной дождевой нагрузки. В целом, фасадная система показала хорошие результаты во всех климатических условиях независимо от толщины слоя теплоизоляции. Существенного влияния от отсутствия или наличия слабой вентиляции в пространстве между старым фасадом и новой фасадной системой, равно как и от умеренного попадания воды во время сильного дождя на фасадную систему, не замечено.

### 3) *Тепловая модель целого здания до и после реновации*

Для построения тепловой модели за основу взят 4-х этажный офисный центр. С учетом разного климата рассчитана общая годовая потребность здания в отоплении и охлаждении (МВт·ч), а также удельная потребность (кВт·ч/м<sup>2</sup>, общая площадь). Результаты показывают, что улучшение теплоизоляции офисного здания приводит к снижению нагрузки на обогрев помещений, но увеличивает нагрузку на их охлаждение. Таким образом, к проекту реновации любого здания с большим внутренним теплопритоком следует подходить комплексно и рассматривать все здание как одну систему.

Для многоквартирных домов проведено два аналогичных исследования. Для первого исследования взят четырехэтажный многоквартирный дом (цокольный этаж + три этажа над уровнем земли). Для второго исследования взят десятиэтажный многоквартирный дом. В рамках этих исследований проведен параметрический анализ с учетом разных климатических условий, размеров здания, количества остекления, коэффициента теплопередачи (фасада и крыши), воздухопроницаемости и наличия надстройки. По результатам исследований эмпирическим путем получены данные по энергопотреблению и добавлены в программу экономического обоснования.

#### **4) Полевые испытания перфорированных солнечных коллекторов в составе фасадной системы, установленной на старый фасад здания**

Проведены полевые испытания новых перфорированных солнечных коллекторов (TSC) типа *Solarwall™* для применения в фасадных системах, устанавливаемых на старые фасады бетонных и кирпичных зданий. Конструктивно такой солнечный коллектор представляет собой перфорированный металлический лист, который нагревается под воздействием солнечных лучей, а проходящий через перфорации наружный воздух в свою очередь нагревается от него. Далее этот нагретый воздух активно подается для обогрева вентилируемых объемов внутри здания.

Испытания проводились в многоэтажном корпусе Оксфордского университета Брукса в Великобритании, который в настоящее время не эксплуатируется, но продолжает обслуживаться. Фасадная система была установлена на старые фасады по всей южной стороне и на часть восточной стороны на уровне двух нижних этажей. Коллекторы изготовлены из листов стали с перфорацией (до 2500 отверстий на м<sup>2</sup>), выкрашенной в серый цвет. Между окнами каждого этажа по две панели были с перфорацией, а остальные — без перфорации. Регулярно проводились измерения погодных условий, температуры и потока воздуха. При разности температур поступающего наружного воздуха и воздуха внутри здания 10 °С, продолжительности обогрева 5 часов, расходе воздуха 60 л/с, площади панелей солнечных коллекторов по 5,3 м<sup>2</sup> на каждом этаже и при условии, что солнечное излучение будет таковым 150 дней в году, тепловая мощность солнечных коллекторов составит 540 кВт·ч. Если исходить из предположения, что эта тепловая энергия распределяется по зданию шириной 5 м и длиной 10 м, обеспечиваемая солнечными коллекторами мощность составит 11 кВт·ч на каждый квадратный метр площади пола. Это эквивалентно примерно 10 % от общей потребности отопления здания с фасадной системой, установленной на старый фасад. Энергия, необходимая для работы вентилятора, эквивалентна примерно 7 % от общей вырабатываемой тепловой энергии.

#### **5) Полевые испытания системы теплоаккумулирующих стен**

Для исследования потенциальной возможности более эффективного использования солнечной энергии в холодное время года и стабилизации температуры внутри помещения в жаркую погоду были проведены полевые испытания системы теплоаккумулирующих стен с большой тепловой массой. Теплоаккумулирующая стена имеет легкий стальной каркас и рассчитана для размещения на южной стороне при строительстве нового здания или реконструкции существующего. Для проведения измерений использовалась климатическая камера, внутри которой поддерживалась температура около 20 °С. Такая температура считается комфортной для людей. Стальной лист черного цвета, размещенный за стеклянной поверхностью на южной стороне здания, выполнял функцию абсорбции энергии и быстро реагировал на изменения температуры, обеспечивая эффективное поглощение энергии даже в короткие периоды интенсивного солнечного излучения. Теплоаккумулирующая стена накапливает тепловую энергию и отдает ее внутрь помещения, существенно снижая потребление электроэнергии. Определенная инерционность в отдаче тепла важна в летнее время года, чтобы не допускать перегрева воздуха внутри помещения. Комфортную температуру в помещении помогают поддерживать в том числе теплоизолирующие рулонные шторы. Они позволяют не допустить чрезмерного повышения температуры летом и снизить теплопотери зимой. Для определения оптимальных характеристик теплоаккумулирующей стены с учетом ее геометрии и используемых материалов был выполнен численный анализ.

## **Программа энергоэффективности № 2 — промышленные здания**

В рамках данной программы рассматриваются способы улучшения теплоизоляции промышленных зданий за счет установки новой фасадной системы на старый фасад, замены старого фасада на новую фасадную систему и установки новой крыши на старую.

### **1) Расчет кассетных стен с улучшенной теплоизоляцией**

Была собрана подробная информация о теплоизоляции промышленных зданий с целью выявления слабых мест в существующих вариантах конструкций. Для выявления потенциальных проблем с теплоизоляцией были проведены инфракрасные обследования нескольких типовых зданий. Тепловизионные обследования промышленных зданий с легкими стальными конструкциями выявили плохую теплоизоляцию кассетных стен. Эти выводы подтвердили и результаты лабораторных испытаний в горячей камере. Предложен ряд новых решений по повышению теплоизолирующих свойств, включая замену старого фасада на фасадную систему с дополнительной теплоизоляцией или установку новой фасадной системы со стальными сэндвич-панелями на старый фасад. Вариант, предполагающий замену старого фасада на новую фасадную систему, был подробно изучен с применением анализа методом конечных элементов и испытаний в горячей камере. Результаты исследований показали, что коэффициент теплопередачи фасадной конструкции можно увеличить примерно с 0,8 Вт/м<sup>2</sup>К при использовании простой кассетной стены (толщиной 100 мм) до 0,24 Вт/м<sup>2</sup>К при использовании сэндвич-панели толщиной 120 мм и теплопроводностью 0,045 Вт/мК.



## **2) Способы обеспечения воздухопроницаемости при реновации промышленных зданий**

Постоянно ужесточающиеся строительные нормы предписывают считать воздухопроницаемость ограждающих конструкций здания одним из важнейших критериев его энергоэффективности. В связи с чем была проведена проверка воздухопроницаемости ряда промышленных зданий на предмет соответствия европейским нормативным требованиям. Эти результаты проверки были тщательно собраны и проанализированы.

Причинами плохой воздухопроницаемости были признаны ошибки, допущенные на этапах предварительного проектирования, проектирования и строительного-монтажных работ. Были предложены меры, направленные на повышение воздухопроницаемости ограждающих конструкций зданий.

## **3) Тепловая модель здания — параметрическое исследование**

Для оценки потребности в отоплении в разных условиях эксплуатации здания были созданы тепловые модели. В результате получены эмпирические данные по энергопотреблению до и после реновации здания (с оценками «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»). Эмпирические данные по потребности в отоплении были внесены в программу экономического обоснования, приведенную в разделе 7. Всего было проведено 216 исследований.

По результатам этих исследований, проведенных в трех локациях, можно сделать вывод, что ориентация здания и степень освещенности крыши (12 и 20 %) оказывают крайне малое влияние на общую годовую потребность в отоплении. Следует отметить, что влияние ориентации здания и степени освещенности крыши было бы выше, если бы в анализе учитывались требования по охлаждению и ограничению перегрева. В целом результат показал, что реновация зданий позволит добиться значительной экономии энергии. Учитывая, что признанный «лучшим» вариант реновации обеспечивает максимальную энергоэффективность, решение о степени и объеме работ по реновации в значительной мере определяется факторами, стимулирующими проведение реновации здания, например, государственными нормативными требованиями и приемлемым уровнем окупаемости инвестиций в разных странах.

## **4) Практические примеры зданий до и после реновации**

В нескольких старых зданиях, до и после реновации, были проведены проверки воздухопроницаемости и тепловизионные обследования. Результаты измерений, проведенных в промышленном здании в Склмерсдейле, Великобритания, сравнили с данными, спрогнозированными по упрощенной энергетической модели здания, принятой в Великобритании.

## **Программа № 3 — стальные конструкции для возведения надстроек и реконструкции зданий**

В рамках данной программы рассмотрены способы возведения надстроек зданий для создания нового жилого пространства, в том числе с применением сборных металлоконструкций.

### **1) Проектирование надстроек зданий из легких стальных конструкций**

При проведении исследования по европейским странам была собрана информация о наиболее часто встречающихся размерах жилых зданий и ключевых нормативных требованиях по проектированию конструкций, пожарной безопасности, теплоизоляции и т. д. Подробно проанализированы результаты реализации проекта по возведению надстроек на крышах двух типов. По всему зданию были выявлены ключевые места, считающиеся потенциально критическими в отношении соблюдения особых требований.

Также были проработаны разные конструктивные решения по объединению металлоконструкции надстройки с существующим бетонным зданием, были проработаны решения для узловых соединений и решения для соединений стен надстройки с существующим бетонным зданием. В том числе рассмотрены вопросы организации безопасности и доступа.

### **2) Исследование характеристик полужестких угловых соединений**

Было проведено исследование по определению характеристик полужесткого углового болтового соединения внахлест на тонкостенном стальном каркасе порталного типа, используемого для возведения надстройки здания. Для калибровки численной модели были проведены соответствующие лабораторные испытания. В дальнейшем по полученной модели были построены кривые момента вращения соединения.

### **3) Испытания мест соединения металлоконструкции надстройки с существующей бетонной стеной здания**

По результатам серии испытаний, в рамках которых нагружались стальные каркасы, соединенные с бетонными парапетами здания, определили несущую способность этих каркасов, используемых в качестве надстройки здания. Горизонтальные нагрузки в 50 кН на каждую бетонную опору успешно выдер-

живались четырьмя болтовыми соединениями. Такие нагрузки более чем в два раза превышают горизонтальные порывы ветра, действующие на одноэтажную трехметровую надстройку с опорами, разнесенными на расстоянии 6 метров.

Также были проведены испытания легких стальных стеновых панелей, подверженных воздействию сдвигающей силы. Главная задача сводилась к определению характеристик полужесткости панели в условиях горизонтальной нагрузки с последующим определением жесткости панели, необходимой для общего анализа конструкции.

## **Программа № 4 — применение легких стальных конструкций для модернизации крыш**

Задачи данной программы сводились к исследованию способов реновации деревянных крыш с применением стальных конструкций с целью повышения эффективности использования пространства под крышей и повышения теплоизоляционных свойств крыши.

### **1) Способы реконструкции существующих крыш**

Были исследованы эксплуатируемые в странах Европы виды крыш, их конструктивные схемы и способы реконструкции. Разработана общая концепция реконструкции крыш для организации на них жилого пространства и рассмотрены перспективы применения в этих целях легких стальных конструкций.

### **2) Исследование крыш совмещенного типа**

Проведены исследования инновационной концепции реновации деревянных крыш под названием «Крыши совмещенного типа» (Open Roof System). Первый вариант предполагает реновацию конструкции существующих крыш для организации на них жилого пространства с применением балок из стали и фанеры (так называемые балки plyweb). Второй вариант — предполагает применение С- или Z-образных холодногнутых профилей, для создания помещений между фермами крыш. По стандарту Eurocode 3 был создан пилотный проект фермы совмещенной крыши длиной 8 м по второму варианту. В основу проектного решения положен модифицированный расчет конструкции в пластической стадии. Для предварительного анализа внутренних сил и прогибов конструкции использован метод конечных элементов.

### **3) Моделирование теплоизоляции модернизированных крыш**

Для иллюстрации потенциальной экономии энергии в результате реновации были созданы тепловые модели для отдельного одноэтажного дома, среднего таунхауса, дуплекса и отдельно стоящего дома. При анализе учитывались следующие факторы:

- коэффициент теплопередачи (значение U) конструкции до/после реновации (включая контроль мостиков холода);
- повышение компактности (дополнительная площадь внутри здания за счет незначительного увеличения площади поверхности ограждающих конструкций здания);
- контроль перегрева (большие поверхности, попадающие под действие солнечных лучей, в сочетании с небольшой массой);
- воздухопроницаемость (сложность количественной оценки воздухопроницаемости старой и новой конструкции крыши).

Из результатов очевидно, что в таком решении как создание дополнительного пространства в совокупности с модернизацией старого здания кроется большой потенциал энергосбережения.

### **4) Оценка процедуры монтажа кровельных систем**

Был изучен ряд проектов с использованием сборной кровельной системы *Hi-point* фирмы Corus. *Hi-point* — это усовершенствованная модульная кровельная система из легких стальных холодногнутых профилей, которая подходит как для реновации эксплуатируемых зданий, так и для применения в новых строящихся зданиях.

### **5) Реновация крыш с установкой солнечных коллекторов**

Рассмотрены инновационные кровельные системы, включающие солнечные коллекторы. Были проведены лабораторные испытания с использованием горячей камеры на опытном образце встроенного в кровлю солнечного коллектора системы водяного отопления. Система работает по следующему принципу: солнечная энергия нагревает воду, которая циркулирует в трубах, уложенных поверх теплоизоляции. КПД системы измерялся при разном массовом расходе воды и температуре. Также для оценки перспектив выработки энергии проводилось параметрическое исследование солнечных батарей на крыше надстройки здания.

## Программа № 5 — программные средства обоснования и практические примеры

В задачи настоящей программы входит разработка двух простых инструментов предварительного проектирования: один для экономического обоснования проекта реновации здания, а второй — для обоснования экоустойчивости. Также приведены примеры из практики эксплуатации зданий после реновации в разных странах Европы.

### 1) Программный инструмент для обоснования экономичности

Был разработан инструмент для многокритериального анализа, помогающий застройщикам принимать решение о сносе или реновации здания. Данный инструмент позволяет оценить потенциальную экономию средств в результате обновления отделки и/или крыши и/или строительства надстройки на крыше с применением стальных конструкций.

Он учитывает такие аспекты, как экономия на счетах за отопление, снижение затрат на техническое обслуживание, улучшение внешнего вида, повышение арендной платы и увеличение срока службы здания. Национальные различия некоторых параметров также принимаются во внимание. Этот инструмент подходит для оценки прямоугольных многоэтажных жилых и коммерческих зданий, а также одноэтажных промышленных зданий.

Инструмент предлагает два метода расчета экономии энергии:

- упрощенный метод, при котором экономия энергии оценивается самим инструментом на основе эмпирических зависимостей, полученных в результате параметрических исследований по результатам теплового анализа различных типов зданий;
- метод прямого ввода, при котором пользователь может вводить результаты более подробного расчета энергии с помощью сторонней программы для теплового моделирования.

Программа рассчитывает сроки окупаемости по расчетной чистой приведенной стоимости.

### 2) Программный инструмент для обоснования экоустойчивости

Был разработан простой инструмент для работы с электронными таблицами, который оценивает углеродный след от ряда решений по реновации промышленных, коммерческих и жилых зданий. Была проведена оценка жизненного цикла (LCA) на примере десяти проектов по реновации с целью разработки алгоритма описания эмпирической зависимости между коэффициентом теплопередачи  $U$  для каждого варианта реконструкции и связанными с ним выбросами углерода  $\text{CO}_2/\text{м}^2$ . Оценка жизненного цикла проводилась по ведомостям материалов. По этим данным были разработаны эмпирические зависимости углеродного следа и коэффициентов теплопередачи.

Программа показала, что углеродный след у фасадных систем с композитными панелями получается больше, чем у фасадных систем из сборочных единиц, поскольку содержание углерода в утеплителе из ППУ/ПИР больше, чем в утеплителе из минеральной ваты. Инструмент также показывает, что чем лучше теплоизоляция ограждающей конструкции здания, тем выше углеродный след. Главным образом это связано с тем, что для достижения более низких значений  $U$  необходимо увеличить толщину теплоизоляции. Это говорит о том, что повышение энергоэффективности здания и снижение энергопотребления для его эксплуатации ведет к значительному увеличению углеродного следа в рамках всего жизненного цикла здания. Тем не менее, общий углеродный след теплоустойчивых зданий или зданий, отремонтированных в соответствии с текущими нормативными требованиями к теплоизоляции, намного ниже, чем у зданий, построенных до введения норм.

### 3) Практические примеры

Подготовлены одиннадцать практических примеров по реновации зданий в странах Европы:

- 1) фасадная система, монтируемая на старый фасад здания, в городе Милтон-Кинс, Великобритания;
- 2) реновация офисного здания в Милане, Италия;
- 3) надстройка на крыше жилого дома в Роттердаме, Нидерланды;
- 4) реновация коммерческого здания в Милане, Италия;
- 5) фасадная система, монтируемая на старый фасад здания промышленного склада, с солнечными коллекторами SolarWall™ в городе Дарем, Великобритания;
- 6) реновация коммерческого здания в Париже, Франция;
- 7) надстройка на крыше здания университета в Жешуве, Польша;
- 8) надстройка на крыше жилого дома в городе Булонь, Франция;
- 9) надстройка на крыше здания в Сент-Уэн, Франция;
- 10) фасадная система из композитных панелей, монтируемая на старый фасад промышленного здания, Шотландия;
- 11) реновация жилого дома в Восточном Лондоне, Великобритания.

## 2 ВВЕДЕНИЕ

В странах Европы на долю реновации, ремонта и технического обслуживания зданий приходится до 40 % всех расходов в сфере строительства. С социальной, экономической и экологической точек зрения важно, чтобы эксплуатируемые здания соответствовали современным стандартам комфорта, функциональности и энергоэффективности. Во многих странах большая часть эксплуатируемых зданий (и особенно жилых домов) была построена еще до внедрения современных нормативных требований. На долю новых зданий приходится всего 1 % от существующего фонда, поэтому максимальных результатов по энергосбережению и комфорту можно достигнуть за счет реновации и реконструкции всех этих зданий, а не за счет строительства новых.

В городских районах требования по планированию и экологии обязывают сохранять существующий уличный ландшафт, а не перестраивать его, поэтому технологии реновации и возведения надстроек зданий, открывающие возможности по использованию новых пространств, должны соответствовать нормам и правилам работ, принятым в городских районах. Возведение надстроек и реконструкция зданий обычно предполагают применение стальных конструкций, что сопряжено с определенными сложностями со строительством, оптимальным использованием модульных систем, стыковкой конструкций с частями здания, а также безопасностью, устойчивостью и нагрузками. В демонстрационном проекте Европейского Объединения Угля и Стали [1], завершеном в 2003 г., приводятся примеры успешного возведения надстроек на крышах существующих зданий и их эффективной эксплуатации. Что в свою очередь открыло новые сегменты рынка.

Настоящий проект посвящен исследованию перспектив применения стальных конструкций при реновации, реконструкции и модернизации существующих зданий во всех секторах со следующими ключевыми решениями:

- повышения теплоизоляции и предотвращения обветшания кирпичных фасадов отдельных и многоквартирных жилых домов за счет установки новой фасадной системы на старые фасады;
- повышения теплоизоляции и воздухопроницаемости крыш и стен промышленных зданий за счет установки новой или замены старой фасадной системы на стенах и крыше;
- возведение надстроек и реконструкция зданий с применением модульных стальных конструкций, включая возведение новых перекрытий и крыш;
- замена деревянных крыш в жилых домах на совмещенные крыши из стальных конструкций;
- экономическая оценка результатов улучшения зданий и повышения энергоэффективности с учетом стоимости строительно-монтажных работ, включая примеры последних проектов.

Работы проводятся с учетом требований государственных нормативов по строительству, а также климатических условий и экономических факторов. Проводимые в рамках проекта исследования основных физических свойств зданий, учет строительных и экономических факторов применения стальных конструкций открывают новые перспективы их применения для реновации зданий.

### 2.1 Установка новых фасадных систем на старые фасады

Данный вариант реновации предусматривает установку новой фасадной системы непосредственно на старый фасад [2] и принципиально отличается от «замены фасадной системы», при которой, как следует из названия, предусматривается замена старого фасада на новую фасадную систему. Установка новой фасадной системы на старый фасад здания призвана обеспечивать следующие преимущества:

- снижение теплопотерь через фасад здания и обеспечение соответствия современным нормам теплоизоляции;
- улучшение внешнего вида здания;
- защита старого фасада здания, включая предотвращение протечки воды;
- минимальный дискомфорт для жильцов во время реновации.

В новой фасадной системе, устанавливаемой на старый фасад здания, могут использоваться разные материалы, включая композитные панели (или сэндвич-панели) и металлические кассетные панели, как показано на рис. 2.1. Теплоизоляция размещается за новой фасадной системой и крепится к стене здания с применением необходимых средств защиты от погодных воздействий.

Как правило, новая фасадная система предполагает установку дополнительного каркаса, который крепится либо непосредственно к старому фасаду, либо, что предпочтительнее, к плитам перекрытия или несущим элементам конструкции здания. Это лучше, чем крепить каркас новой фасадной системы к потенциально слабому старому фасаду. По высоте модули каркаса берутся из расчета высоты этажа здания и при установке на здание производится необходимая подгонка по месту с учетом неровностей существующего фасада.

На многих жилых и коммерческих зданиях, а также зданиях образовательных учреждений, в частности в Великобритании и Скандинавии, по такому принципу уже установлены новые металлические фасадные системы. Обычно работы по реновации здания проводятся комплексно и одновременно с уста-

новой новой фасадной системы на старый фасад здания производится реконструкция крыши. В здание также устанавливаются новые окна, что значительно повышает общую экономию энергии.

Эксплуатационная необходимость установки новой фасадной системы на старый фасад во многом диктуется необходимостью значительного повышения теплоизоляции здания, предотвращения проникновения воды внутрь и отвода влаги из здания или старого фасада.



**Рис. 2.1.** Примеры установки новых фасадных систем на старые фасады зданий с бетонными стеновыми панелями. Новые фасадные системы состоят из горизонтальных металлических панелей

## 2.2 Возведение надстроек и реконструкция крыш

«Реконструкция крыши» — это создание новой конструкции крыши на существующем здании [3, 4]. Чаще всего причинами реконструкции крыш являются плохие эксплуатационные характеристики существующей крыши (например, протечки воды) и желание использовать пространство под крышей, например, под коммунальное хозяйство или новые квартиры. Конструктивное исполнение новой крыши во многом определяется назначением пространства под ней, т. е. будет оно жилым или нет. Преимущества от появления в здании нового пространства зачастую окупают все расходы на его организацию. При реконструкции крыши могут применяться легкие стальные каркасы в следующих вариантах:

- Часто (близко) расположенные стропильные фермы (стропила) между фасадными стенами;
- Редко расположенные стропильные фермы (стропила) между фасадными стенами и прогоны опирающиеся непосредственно на них;
- порталные рамы или другие устойчивые системы, опирающиеся на колонны по периметру;
- легкая стальная конструкция, поддерживаемая ростверком из стальных балок, опирающихся на отдельные колонны внизу.

Фермы могут быть простыми скатными (типа Fink или Pratt) или мансардными, дающими больше полезного пространства. Для возведения надстроек на здании обычно оптимальнее всего использовать легкие стальные конструкции, опирающиеся на стальные балки, перекрывающие существующую плоскую или немного скатную крышу как показано на рис. 2.2.



**Рис. 2.2.** Двухэтажная надстройка из легкого стального каркаса на существующем здании, Роттердам

## 2.3 Модульные системы для реновации зданий

Надстройки на зданиях можно легко возводить при помощи модульных или «объемных» систем. Эти системы являются самонесущими по вертикали, но поддерживаются существующей конструкцией по бокам. Как правило, модули этих систем имеют ширину до 3,6 м, поэтому легко перевозятся без специального сопровождения и также легко поднимаются на здания. Облицовку на модули можно устанавливать заранее или на месте. Лучших результатов от применения таких модульных систем для реновации зданий добились в Скандинавии. Популярность модульных систем для возведения надстроек на зданиях неуклонно растет в Великобритании и в числе последних примеров можно отметить отели среднего размера и проекты социального жилья.



**Рис. 2.3.** Надстройка из модулей на здании Плимутского университета, Великобритания

## 2.4 Другие европейские проекты по реновации

Теме реновации зданий посвящен ряд европейских научно-исследовательских проектов, однако ни один из них полноценно не рассматривает стальные конструкции. Пять из вышеупомянутых проектов вкратце приводятся ниже.

### ***Проект STACCATO (Sustainable Technologies And Combined Community Approaches Take Off)***

Это шестой рамный проект. Основная цель данного проекта состоит в ускорении внедрения возобновляемых источников энергии и мероприятий по повышению энергоэффективности при реконструкции больших площадей. Идет строительство и контроль трех амбициозных демонстрационных объектов (на 2500 квартир). Исследования технических и социально-экономических аспектов даст обеим сторонам возможность более широкого применения технических концепций и методов в новых проектах по реновации.

### ***Проект Annex 50 — сборные системы для реконструкции зданий в рамках повышения энергоэффективности/комфорта***

Данный проект реализован Международным энергетическим агентством под эгидой «Программы повышения энергоэффективности зданий и коммунальных систем». Проект стартовал в январе 2007 года и завершился в 2010 году. Цель проекта: разработка и демонстрация инновационной концепции реконструкции типовых многоквартирных домов с применением прототипа сборных кровельных систем со встроенными системами ОВиК, горячего водоснабжения и солнечными панелями, а также обеспечением высокой теплоизоляции ограждающих конструкций здания со встроенными новыми распределительными системами для отопления, охлаждения и вентиляции. Некоторые цели были общими с проектом ROBUST, пусть и не в отношении материалов. Кроме того, состоялась встреча с партнером ЕМРА (по проекту Annex 50) для обсуждения инструментов расчета стоимости проекта реновации.

### ***Проект FC-DISTRICT***

Общая цель проекта FC-DISTRICT состоит в оптимизации и внедрении инновационной концепции производства и распределения энергии для энергоэффективных реконструированных и/или новых районов в рамках программы «экологического развития». В основу концепции положен принцип динамического теплообмена в рамках одного или нескольких зданий (с установками производства энергии на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ), усовершенствованными системами аккумуляции тепла и теплоизоляцией). Данная концепция также предусматривает применение распределительной системы (оптимизированные трубопроводы и централизованное теплоснабжение с/без теплового буфера) и потребителя (новые модели коммерческих услуг и обслуживания). Такой подход призван обеспечить энергетический баланс на уровне городского района. Для улучшения теплоизолирующих характеристик зданий и трубопроводов планируется разработка и внедрение передовых теплоизоляционных материалов. Проект стартовал в 2010 году и завершился в 2014 году.

### ***Проект REDUCA***

Цель проекта заключается в обеспечении оптимального качества внутренней отделки зданий и повышении энергоэффективности. Дополнительное финансирование проекта осуществлялось Европейским фондом регионального развития (ERDF) в рамках оперативной программы «Технической помощи» в период с 2007 по 2013 годы. Основную поддержку проекту оказывает конгломерат Acciona. Для достижения основной цели проекта REDUCA требуется разработка новых технологий для реновации школьных зданий в Андалусии. Проект стартовал в 2007 году и завершился в 2013 году.

### ***Проект BEEM-UP***

Проект BEEM-UP (Building Energy Efficiency for Massive market UPtake) призван дать экономическое, социальное и техническое обоснование инициатив по реконструкции зданий в рамках программы снижения энергопотребления и стать первой ступенью на пути освоения рынка. В задачи проекта входит разработка концепции по реконструкции многоквартирных домов в рамках программы снижения энергопотребления и демонстрация ее рентабельности и высокой эффективности. Проект стартовал в 2011 году и завершился в 2014 году.

# 3 ПРОГРАММА № 1: РЕНОВАЦИЯ КОММЕРЧЕСКИХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ: СТРАТЕГИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Рабочие отчеты по этой программе доступны по ссылке [www.steel-renovation.org](http://www.steel-renovation.org)

## 3.1 Цели

В рамках данной программы рассмотрены способы улучшения физических и теплоизолирующих характеристик отдельных домов, многоквартирных домов и коммерческих зданий. Основное внимание уделено большим зданиям, для которых в большей степени подходят стальные фасадные системы. Также рассмотрена технологическая сторона вопроса для решения следующих задач:

- улучшение теплоизоляции за счет установки фасадной системы подходящего типа с внешним утеплителем с учетом температуры и влажности под новой фасадной системой и влияния движения воздуха и влаги;
- уменьшение попадания воды и обветшания здания по результатам оценки его характеристик;
- демонстрация увеличения срока службы за счет установки новой фасадной системы в рамках реконструкции здания по численной модели, результатам лабораторных и натуральных испытаний на реальных зданиях;
- изучение перспектив применения больших модулей, состоящих из фасадных панелей и легких стальных каркасов;
- оценка строительно-монтажных работ для зданий разной формы.

## 3.2 Последние проекты по установке новых фасадных систем на старые фасады зданий

По некоторым оценкам в Европейском союзе насчитывается от 200 000 до 250 000 зданий из бетонных стеновых панелей, построенных в период с 1950 по 1980 годы. В срочной реконструкции нуждается не менее 10 % из них, а в Восточной Европе их еще больше.

Подготовлен сводный отчет по результатам последних проектов в Бельгии, Нидерландах, Великобритании, Финляндии, Италии, Франции, Дании и Германии с установкой стальных фасадных систем на старые фасады зданий. В таблице 3.1 приведены основные факторы «за» реновацию с учетом перспектив металлоемких фасадных систем.



Таблица 3.1 Основные преимущества реновации зданий

| Основные преимущества   | Перспективы применения металлоконструкций   |
|---|---|
| <b>Коммерческие здания</b>  |   |
| Эстетичный внешний вид повышает привлекательность здания для арендаторов, а следовательно, повышается и стоимость аренды. | У коммерческих зданий предпочтительней полностью заменять старый фасад на новую фасадную систему, а не устанавливать ее на старый фасад. Как правило, применяются фасадные системы с большим количеством стекла и металла.  |
| Повышение уровня предоставляемых услуг до современных стандартов, включая ИТ-сервисы, ОВиК и др.                          | Железобетонные панели не подходят для реконструкции, поэтому частично демонтируются и заменяются на стальные стены, например из профилей Slimdek. Замена тяжелых стен на легкие стальные каркасные стены позволяет сэкономить пространство и уменьшить нагрузку.  |
| Надстройки (обычно сверху здания) для повышения эффективности эксплуатации здания.  | Перспективнее возводить надстройки из стальных каркасов и легких стальных каркасных стен.   |
| Сохранение фасадов в викторианском/эдвардианском стиле и строительство новых конструкций изнутри                          | Стальные каркасы устанавливаются изнутри (как правило, большепролетные перфорированные балки). Минимальная высота от одной плиты перекрытия до другой может обязывать использовать профили Slimdek. Широко используемая технология располагает к применению стали в качестве материала опорной конструкции. |
| <b>Жилые здания</b>   |   |
| Модернизация существующих зданий до уровня государственных норм по энергоэффективности                                    | Мало перспектив для реновации существующих домов, за исключением указанных ниже.  |
| Реновация обветшавших фасадов панельных железобетонных домов, построенных в период с 1950 по 1980 годы                    | Больше перспектив применения стальных конструкций в новых фасадных системах, устанавливаемых на старые фасады, балконах и т. д. в многоэтажных домах и особенно находящихся в собственности зарегистрированных арендодателей социального жилья (RSL).   |
| Малозэтажные жилые дома со сплошными стенами (построенные до 1930 г.) нуждаются в повышении энергоэффективности           | Хорошие перспективы установки новых фасадных систем с тонкостенными каркасами на старые фасады домов.   |
| Возведение новых этажей на домах дает новые помещения или квартиры, что финансово выгодно                                 | Хорошие перспективы возведения новых этажей (надстройки) из легких стальных каркасов и модульных систем.  |
| Замена кровли   | На современном рынке предпочтение отдается стальной и легкой кровле, например композитным панелям с большим коэффициентом теплоизоляции и кровельным покрытиям Kalzip.  |

### 3.3 Исследование стальной фасадной системы, устанавливаемой на старый фасад здания

Варианты фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады зданий и используемых в настоящее время в странах Европы, подробно проанализированы и в общих чертах приведены ниже.

1. Вентилируемые фасадные системы (rain-screen), в которых зазоры между облицовочными панелями «уравнивают давление» для максимального снижения вероятности попадания дождя под порывами ветра [5]. Новый утеплитель крепится к существующему фасаду, потому что любой утеплитель в новой фасадной системе будет малоэффективен из-за движения воздуха за ним. Чтобы дождевая вода не попадала через стыки панелей, там устанавливаются защитные рейки. Также периодически возникает необходимость в дополнительных вертикальных и горизонтальных барьерах для быстрого уравнивания давлений, что является основополагающим принципом такого вентилируемого фасада.
2. Вентилируемая навесная фасадная система предусматривает отвод и слив всей воды, которая может попадать под облицовочные панели. Швы между облицовочными панелями меньше, чем у вентилируемых фасадных систем, но в остальном эти системы похожи. Как и у вентилируемых фасадных систем, утеплитель крепится к существующему фасаду здания. Благодаря эффективной вентиляции вся влага, остающаяся в пространстве за облицовочными панелями фасадной системы, быстро высыхает.

3. Герметичная фасадная система типа face sealed образует водонепроницаемый барьер, аналогичный новой облицовке. В данном случае фасадная система имеет утеплитель и воздухопроницаемую конструкцию, а движение паров возможно только по вертикали до уровня крыши. Такая фасадная система плохо подходит для зданий с паропроницаемым фасадом, поскольку она удерживает влагу. В других вариантах фасадной системы типа face sealed может предусматриваться принудительная вентиляция в виде специальных пластиковых вентиляторов или через стыки между облицовочными панелями. Вентиляция слабая, но ее достаточно для испарения конденсата. При этом она не оказывает существенного влияния на теплоизоляцию, обеспечиваемую наружными облицовочными панелями. В других вариантах фасадной системы типа face sealed может предусматриваться естественная вентиляция («микропроветривание») через стыки облицовочных панелей. Такая вентиляция не контролируется, поскольку ее эффективность всецело определяется разностью давлений и температур внутри и снаружи здания. Такой вентиляции достаточно для испарения конденсата, однако она может влиять на теплоизоляцию, обеспечиваемую наружными облицовочными панелями.
4. Фасадные системы «сплошного» типа, у которых зазор с существующим фасадом здания не предусматривается. Утеплитель, обычно это минеральная вата, просто крепится к фасаду здания и покрывается штукатуркой. Чтобы не допускать формирования влаги под слоем утеплителя со штукатуркой, могут предусматриваться определенные средства вентиляции. Такая фасадная система широко применяется при реновации малоэтажных зданий.

Если качество существующего фасада здания достаточно низкое и крепить материал к нему небезопасно, к плитам перекрытия или к колоннам крепится дополнительный каркас. Ширина такого каркаса должна быть минимальной, чтобы не увеличивать толщину фасадной системы. В данном случае также необходимо учитывать «мостики холода», образующиеся в местах контакта дополнительного каркаса или его креплений с новым слоем теплоизоляции.

Дополнительный каркас может быть разной формы:

- вертикальные профили (обычно С-образные). Устанавливаются с шагом (межцентровым расстоянием) примерно 600 мм, к которым и крепятся новые облицовочные панели. Эти профили могут крепиться непосредственно к существующему фасаду здания, как показано на рис. 3.2 (а), или к плитам и перекрытиям, как показано на рис. 3.2 (б). Непосредственное крепление к существующему фасаду здания допускается при помощи Г-образных профилей. Эти профили устанавливаются по вертикали с шагом от 0,6 до 1 м. В системах свободных пролетов могут использоваться профили С- и Z-образного сечения, обладающие достаточной жесткостью на изгиб, чтобы выдерживать ветровые нагрузки, воздействующие на пролеты длиной от 2,7 до 3,2 м;
- дополнительный каркас из вертикальных и горизонтальных профилей, устанавливаемый между плитами перекрытия или колоннами, служит для крепления новой фасадной системы и оконных рам. Такая система показана на рис. 3.2 (в). В качестве горизонтальных профилей дополнительного каркаса в зависимости от расстояния между точками крепления могут применяться С- и Н-образные профили. В идеале крепления должны выполняться в опорных точках существующей конструкции и располагаться таким образом, чтобы при выходе из строя одного крепления усилие распределялось по соседним креплениям;
- горизонтальные профили, поддерживающие длинные большепролетные панели на уровне каждой плиты перекрытия. На рис. 3.2 (г) изображен горизонтальный модифицированный С-образный профиль, поддерживающий вертикальные композитные панели. Через горизонтальные стыки панелей обеспечивается естественная вентиляция («микропроветривание»).

Стальные профили с большим количеством перфорации уменьшают вероятность образования «мостиков холода» и могут применяться во всех каркасах. Однако в местах крепления все равно могут наблюдаться локальные теплопотери. Стальные профили компактнее алюминиевых, поэтому для длинных пролетов от 2,7 до 3,2 м предпочтительнее использовать именно их.

Внешний вид типового здания с фасадной системой из больших стальных горизонтальных кассетных панелей, установленной на старый фасад, показан на рис. 3.1. Исследования проведены в рамках реализации «реального» проекта по реконструкции зданий студенческого городка Gipsy Lane университета Оксфорд Брукс.

### **3.4 Критерии проектирования новых энергоэффективных фасадных систем для установки на старые фасады зданий**

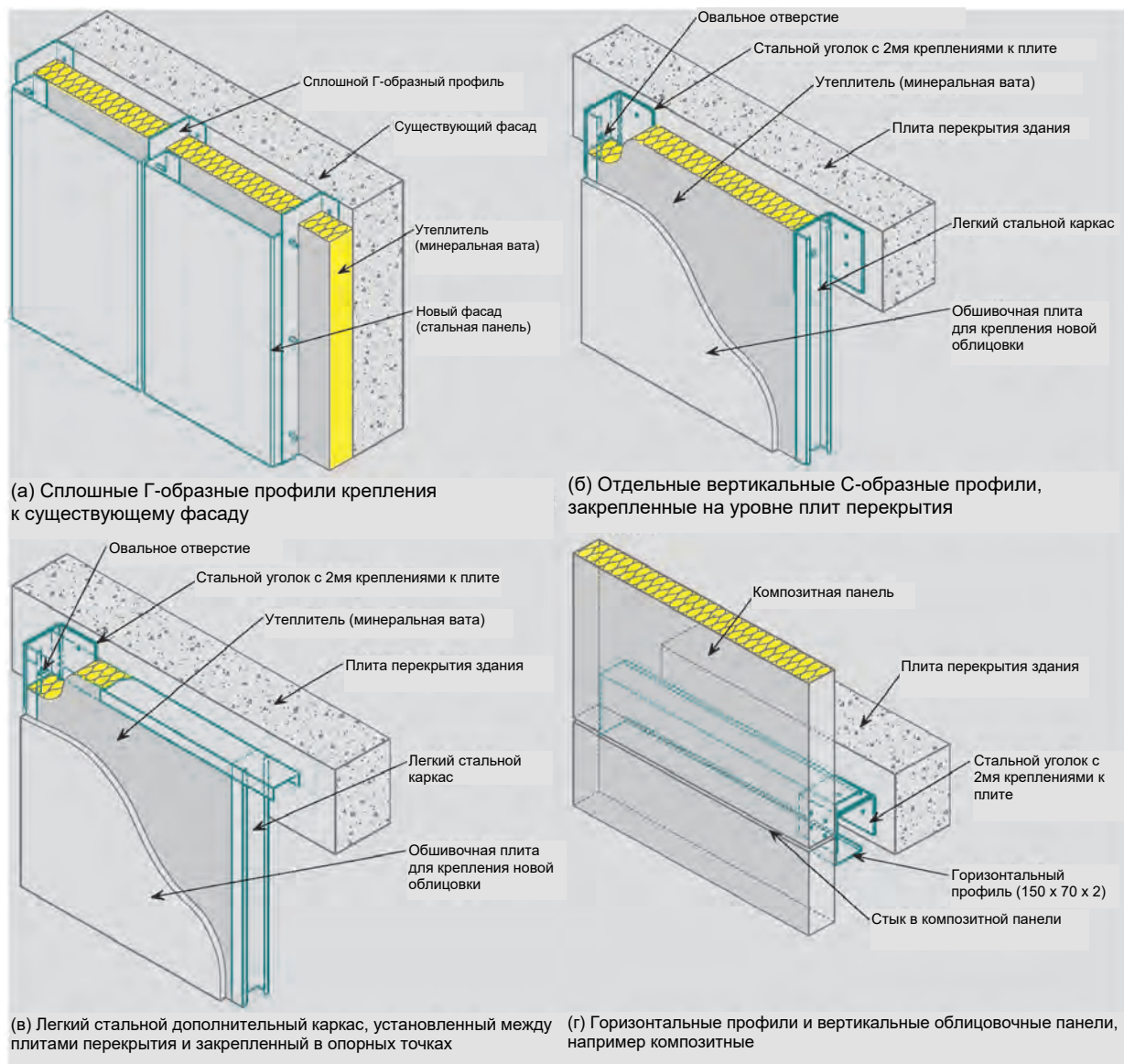
Новая фасадная система в рамках проекта реновации здания должна удовлетворять следующим требованиям:

- быть герметичной (часто старые фасады пропускают воду во время выпадения атмосферных осадков);
- быть самонесущей;
- выдерживать ветровые нагрузки;
- улучшать теплоизоляцию и воздухопроницаемость здания;

- быть долговечной;
- соответствовать требованиям пожарной безопасности;
- компенсировать неровности старых стен здания за счет применения специальных профилей.



**Рис. 3.1.** Внешний вид здания с новой фасадной системой из больших стальных кассетных панелей.



**Рис. 3.2.** Разные варианты легких стальных каркасов фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады

Как правило, новая фасадная система для установки на существующий фасад здания разрабатывается с учетом требований по теплоизоляции новых зданий, установленных государственными нормативами. Коэффициент теплопередачи для комбинированного фасада здания (т. е. новая фасадная система + старый фасад) обычно устанавливается в диапазоне от 0,17 до 0,30 Вт/м<sup>2</sup>К. Это обеспечивает снижение теплотерь через стены на 40–70 % (за исключением окон и дверей). Для фасадных систем, устанавливаемых на существующие фасады здания в рамках программы реновации по стандартам пассивных домов, установлено еще более низкое значение коэффициента теплопередачи (0,14 Вт/м<sup>2</sup>К). Этот коэффициент теплопередачи должен учитывать все «мостики холода» в местах креплений, которые могут приводить к теплотерям от 15 до 30 % через наружные стены.

При необходимости прокладывается воздухонепроницаемая мембрана, но при этом важно следить, чтобы не увеличивался риск формирования конденсата. В идеале она должна располагаться изнутри здания, но если это нецелесообразно, то — внутри новой теплоизоляции. Также данная мембрана должна быть паропроницаемой, чтобы влага от строительной ткани могла испаряться.

В таблице 3.2 приведены основные проектные требования к фасадным системам, устанавливаемым на существующие фасады зданий, в сравнении с государственными нормативами.

### **3.5 Точность размеров при установке новой фасадной системы на старый фасад**

Установка новой фасадной системы на старый фасад предполагает очень точные результаты обследования наружных стен здания. Это необходимо, чтобы все детали точно подходили по размерам без необходимости доработки по месту. Поэтому было проведено исследование факторов, влияющих на точность лазерного сканирования. В рамках данного исследования необходимо было подтвердить, что технология лазерного сканирования способна обеспечить достаточное разрешение и точность результатов измерения для проектирования и производства сборочных единиц стальной фасадной системы для установки на старый фасад здания. Существующие на сегодняшний день стальные фасадные системы, предназначенные для установки на старые фасады зданий, допускают отклонение размеров в местах крепления в пределах 5 мм во все стороны. Соответственно, используемые для обследования фасада здания технологии должны обеспечивать соответствие этим допускам. Стальные облицовочные панели фасадной системы имеют ровную гладкую поверхность, и любая неровность или кривой шов между ними будут сразу заметны невооруженным глазом.

Как правило, здания, требующие реновации в виде новой фасадной системы, очень высокие, поэтому ручное обследование их фасадов сопряжено с большими сложностями. Эту проблема позволяет решить технология лазерного сканирования, способная обеспечить требуемую точность результатов. Данная технология позволяет выполнять трехмерные измерения с некоторого расстояния и при условии достаточной точности результатов может быть важным инструментом для сбора данных, необходимых для проектирования и производства частей сборной стальной фасадной системы для установки на старые фасады больших зданий.

Точность системы лазерного сканирования в высоком разрешении определяется рядом факторов. Поскольку определяющей технической особенностью системы лазерного сканирования, отличающей ее от традиционных инструментов обследования зданий, является высокая детализация, можно четко определить следующие факторы:

- плотность сканирования и размер пятна (или диаметр луча);
- помехи;
- краевые эффекты (искажения по краям);
- разрешение;
- точность диапазона;
- угловая точность;
- отражательная способность поверхности;
- условия окружающей среды.

Система лазерного сканирования способна обеспечивать требуемый уровень точности на расстоянии до 50 м. Поэтому, для обследования зданий подходят только самые точные системы лазерного сканирования при условии точного соблюдения рабочей процедуры исследования. Очень важными характеристиками системы считаются точность сканирования (например, шаг сетки 1,5 мм) и размер пятна (в пределах 5 мм). Достаточной для проектирования и производства сборных стальных фасадных систем считается точность измерений в пределах 5 мм во всех направлениях.

**Таблица 3.2** Критерии проектирования новых фасадных систем для установки на старые фасады зданий

| Критерий                                  | Предельное значение   | Комментарии   |
|---|---|---|
| Теплоизоляция (коэффициент теплопередачи) | Предполагается, что для новых фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады зданий, коэффициент теплопередачи не должен превышать 0,25 Вт/м <sup>2</sup> К. Этого достаточно на перспективу, если в будущем появятся новые требования. В будущем может возникнуть необходимость снизить коэффициент теплопередачи до значения от 0,1 до 0,15 Вт/м <sup>2</sup> К. | Коэффициенты теплопередачи новой фасадной системы и старой стены здания следует складывать, но учитывать при этом любое движение воздуха за новой фасадной системой. Также следует учитывать «мостики холода» в местах крепления.<br>Будущие требования по энергоэффективности фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады зданий, могут оказаться жестче текущих требований. |
| Воздухонепроницаемость                    | Утечка воздуха из здания с новой фасадной системой, установленной на старом фасаде, не должна превышать 5 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> /ч. Великолепным показателем считается утечка воздуха менее 2 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> /ч.   | Утечка воздуха будет зависеть от характеристик старого фасада здания и движения воздуха в пространстве между ним и новой фасадной системой.   |
| Расчетный срок службы                     | Каркас фасадной системы ≥ 60 лет.<br>Облицовочные панели ≥ 30 лет или 15 лет до первого технического обслуживания.  | Каркас фасадной системы и его крепления должны иметь больший расчетный срок службы. Облицовочные панели должны быть съемными на случай необходимости их замены при повреждении.   |
| Ветровые нагрузки                         | Исходят из результатов измерения ветра в конкретном географическом положении за последние 50 лет.<br>Минимальное локальное отрицательное давление ≥ 0,8 кН/м <sup>2</sup>   | Допустимое давление ветра определяется государственными нормативами. Отрицательное давление ветра будет максимальным по углам здания.<br>Давление может уравниваться за новой фасадной системой, что снижает локальное давление в разных местах.  |
| Собственный вес                           | Собственный вес фасадной системы, устанавливаемой на старый фасад здания (≥ 0,5 кН/м <sup>2</sup> ) со смещением относительно оси в зависимости от способа крепления.   | Может наблюдаться изгиб в местах крепления фасадной системы к старому фасаду здания под ее собственным весом.<br>Стандартное минимальное смещение относительно оси = 100 мм.  |
| Огнестойкость                             | Огнестойкость новой фасадной системы ≥ 30 мин. Полые барьеры препятствуют проникновению дыма. Они размещаются с шагом ≤ 6 м (межцентровое расстояние).  | Новая фасадная система должна препятствовать распространению пламени и обладать определенной огнестойкостью. Полые барьеры размещаются дальше плит перекрытий, т. е. не более 6 м по вертикали.   |
| Звукоизоляция                             | Снижение уровня шума, передающегося по воздушной среде ≥ 30 дБ + C <sub>tr</sub>  | Конкретный предел звукоизоляции не указан, но требования более жесткие для зданий, расположенных возле автомагистралей и железных дорог.  |
| Окна                                      | Двойное остекление (с низкой излучательной способностью). Коэффициент теплопередачи ≤ 1,5 Вт/м <sup>2</sup> К   | Необходимо учитывать теплотери через окна (особенно двери террасы).   |
| Балконы и точки крепления                 | Балконы крепятся к дополнительным конструктивным элементам, например полым колоннам квадратного сечения, или плитам перекрытия здания.  | Нельзя рассчитывать на старый фасад как надежную поверхность, способную выдерживать большие локальные нагрузки. Полые колонны квадратного сечения крепятся к плитам перекрытия здания химическими анкерами.   |
| Крепление и дополнительный каркас         | Фасадная система может крепиться к стальному дополнительному каркасу или существующей конструкции здания.   | Крепление к старому фасаду следует производить с осторожностью.<br>Предпочтительнее устанавливать дополнительный стальной каркас, который подходящим способом крепится к плитам перекрытия здания или колоннам.<br>Необходимо производить расчет надежности фасадных систем при выходе из строя одного или нескольких креплений   |
| Защита от солнца                          | На южной или западной сторонах предусматриваются наружные средства затенения.   | Средства затенения важны для уменьшения вероятности перегрева воздуха в зданиях с хорошей теплоизоляцией.   |
| Возобновляемые источники энергии          | Солнечные батареи, солнечные коллекторы и другие технические средства накопления солнечной энергии предусматриваются как часть общего механизма обеспечения энергетического баланса.  | Солнечные батареи и коллекторы могут размещаться на южных фасадах здания. Они крепятся к дополнительному каркасу фасадной системы, а не к старому фасаду здания.  |

### 3.6 Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания на потребление энергии

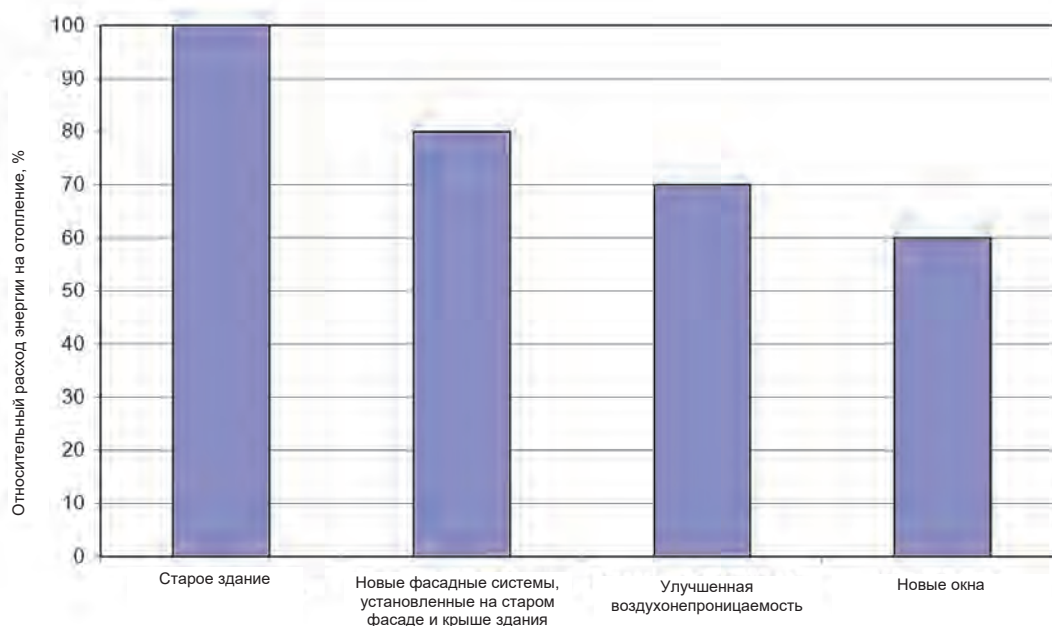
*Дополнительно см. раздел 4.4, посвященный способам обеспечения воздухопроницаемости промышленных зданий*

Воздухонепроницаемость ограждающих конструкций здания позволяет значительно снизить расход энергии как на отопление, так и охлаждение здания. В ограждающих конструкциях здания есть три основных причины теплопотерь:

- теплопотери через наружный материал, т. е. через плоскость элемента здания, включая окна;
- теплопотери через «мостики холода», т. е. через детали и участки здания с пониженным тепловым сопротивлением;
- теплопотери за счет циркуляции воздуха через ограждающие конструкции здания, стыки и примыкания. Его приходится нагревать или охлаждать до нужной температуры в здании.

По мере повышения уровня теплоизоляции здания влияние утечки воздуха на общее потребление энергии становится все более важным (рис. 3.3). И в особенности это важно в жилых домах, офисах и зданиях с мощной вентиляцией. Из-за плохой воздухопроницаемости здания появляются дополнительные воздушные потоки, которые участвуют в общей вентиляции здания. Эти потоки воздуха не участвуют в теплообмене системы вентиляции и увеличивают расход энергии в здании. Кроме этого, эти неконтролируемые потоки воздуха ухудшают микроклимат, влияя на температуру воздуха в здании. Еще одно важное следствие плохой воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания состоит в том, что влажный воздух в здании может приводить к формированию конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций здания, особенно в холодную погоду.

В старых зданиях плохая воздухопроницаемость чаще всего объясняется плохими примыканиями его конструктивных элементов. Даже в новых зданиях, построенных по последним стандартам, утечка воздуха может быть достаточно высокой, а на компенсацию нежелательной утечки теплого воздуха из здания может приходиться от 10 до 20 % от общей энергии, расходуемой на отопление здания.



**Рис. 3.3.** Зависимость расхода энергии на отопление жилого дома от принимаемых мер по повышению энергоэффективности

Примечание. Новые окна могут сразу устанавливаться в сборочные единицы фасадной системы на заводе-изготовителе.

В зданиях, построенных по более высоким современным стандартам теплоизоляции, на компенсацию этих утечек воздуха может приходиться от 20 до 30 % от общей энергии, расходуемой на отопление (и даже на охлаждение). Поэтому важно максимально снижать утечки воздуха без ущерба качеству воздуха в здании и принимать меры по предотвращению формирования конденсата. Новые фасадные системы из легкого стального каркаса способны обеспечить воздухопроницаемость на уровне 0,6–1,0 л/ч (при 50 Па) при условии устранения возможной утечки воздуха на стыках конструктивных элементов здания, в служебных местах и во всех местах соединений в целом.

Увеличение количества слоев наружного материала при установке новой фасадной системы на старый фасад здания не обязательно окажет существенное влияние на итоговую воздухопроницаемость ограждающих конструкций здания, особенно если в основном утечка воздуха происходит через стыки старого фасада.

А если это вентилируемая фасадная система (rain-screen), то вентиляция за ней вообще обязательна для выравнивания давлений. Кроме того, некоторая вентиляция необходима и через старый фасад во избежание формирования конденсата (при отсутствии хорошей пароизоляции с внутренней стороны контура здания).

Из этого следует, что без принятия мер по герметизации швов в здании будет технически трудно добиться уменьшения утечек воздуха в фасадных системах, устанавливаемых на старые фасады зданий. В малоэтажных зданиях также важное значение имеют утечки на стыках стен и крыши.

Воздухопроницаемость здания преимущественно зависит от двух составляющих: воздухопроницаемым барьером со внутренней стороны теплоизоляции и ветрозащитным барьером с внешней стороны теплоизоляции. Воздухопроницаемый и ветрозащитный барьеры не обязательно являются отдельными слоями. Они могут быть частью конструкции стены, например оштукатуренной внутренней стороной стены или покрытым облицовочным материалом фасадом стены. При проектировании воздухопроницаемого барьера соблюдаются следующие правила:

- рекомендованная воздухопроницаемость материала не должна превышать  $1 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с Па}$ , включая любые места стыков. Это может быть пароизоляционная полиэтиленовая пленка, укладываемая внахлест с запайкой стыков. Варианты организации воздухопроницаемого барьера:
  - укладка мембранного материала по внутренней стороне здания с дополнительным слоем в качестве финишной поверхности. Между внутренней обшивкой и стеной можно оставлять пространство шириной 30 мм под прокладку коммуникаций. Особое внимание следует уделить местам примыкания стен к крыше и стен к полу, потому что загерметизировать эти места только изнутри может оказаться недостаточным,
  - укладка мембранного материала с наружной стороны несущей конструкции или старого фасада, при этом открытой остается как минимум 75 % от всей площади теплоизоляции, чтобы не допустить формирования конденсата на воздухопроницаемом барьере;
- воздухопроницаемый барьер должен идти непрерывно по всей ограждающей конструкции здания. Особенно важно, чтобы не было разрывов контура на стыках частей здания, в местах прокладки коммуникаций и т. д.;
- места примыкания оконных и дверных рам к стенам заполняются утеплителем и запениваются герметиком с обеих сторон. Учитывая большой вес окон и необходимость обеспечить хорошее примыкание рам по всему периметру к стенам здания без малейших зазоров, рекомендуется применять специальные оконные монтажные системы или сразу устанавливать окна в сборочные единицы на заводе-изготовителе;
- монтаж вентиляционных каналов необходимо производить внутри воздухопроницаемого барьера. Через воздухопроницаемый барьер здания должны проходить только воздуховоды свежего приточного и вытяжного воздуха;
- все места ввода в здание вентиляционных, санитарно-технических и инженерных коммуникаций систем электроснабжения, водоснабжения, газоснабжения и т. д. делаются герметичными. Для этого используются фланцы и другие средства герметизации на старой стене здания или под новой фасадной системой, установленной на старом фасаде;
- панели и железобетонные элементы конструкции здания с герметичными стыками, внутренние кирпичные оштукатуренные стены выполняют функцию воздухопроницаемого барьера;
- ячеистые теплоизоляционные материалы с герметичными швами, укладываемые снаружи старой стены здания, также выполняют функцию воздухопроницаемого барьера здания.

Как правило, функции ветрозащиты выполняет барьер, расположенный с наружной стороны теплоизоляции и защищающий ее. Контур ветрозащиты должен идти непрерывно по всей ограждающей конструкции здания. Чем толще слой теплоизоляции, тем важнее роль ветрозащиты. Все утепленные фасады нуждаются в воздухопроницаемом барьере, который можно организовывать следующим образом:

- слой материала с воздухопроницаемостью не более  $3 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с Па}$ , включая все швы;
- ДВП, гипсокартон и другие плиты с герметичными швами;
- наружная теплоизоляция со слоем штукатурки;
- ветрозащитная минеральная вата или вспенивающийся полистирол с герметичными швами;
- кирпичная стена без щелей между ней и утеплителем.

В качестве альтернативы можно организовывать локальные воздухопроницаемые барьеры на всех швах старого фасада и стыках элементов конструкции здания. Но эффективность таких воздухопроницаемых барьеров будет низкой, если остается много щелей и источников утечки воздуха. Поэтому, рациональнее сначала найти основные места утечки и только потом укладывать непрерывным слоем мембранный материал. Кроме того, необходимо загерметизировать все стыки по периметру окон и дру-

гих проемов. Примыкания между стенами и крышей тоже считаются зоной потенциальной утечки воздуха и это необходимо учитывать.

Эти методы зависят от типа фасадной системы, устанавливаемой на старый фасад здания, т. е.:

- вентилируемый навесной фасад с защитой от дождя;
- герметичный фасад (минимальная циркуляция воздуха);
- фасад с естественной вентиляцией типа «микропроветривание» (т. е. с умеренной циркуляцией воздуха).

### 3.7 Исследование гидротермических характеристик теплоизолированной фасадной системы

#### 3.7.1 Описание новой фасадной системы, устанавливаемой на старый фасад здания

По динамическим расчетам тепла и влаги выполнен гидротермический анализ (т. е. влажности и температуры) фасадной системы, установленной на старый фасад здания, для разных климатических условий, солнечного и длинноволнового излучения, ветровой и сильной дождевой нагрузки. Анализ выполнен в программе Wufi Pro 4.1 от VTT. Фасадная система, прошедшая анализ, изображена на рис. 3.4. Она установлена на старую бетонную стену здания. Панели вентилируемого фасада из листовой стали защищают фасадную систему от воздействия внешних климатических факторов и дождя. Стандартный вариант применения такой фасадной системы — для реновации старых бетонных фасадов зданий. В рамках такой реновации наружный слой бетона удаляется. Поэтому поверхность, на которую устанавливается фасадная система, обычно не бывает идеально ровной.



Рис. 3.4. Поперечный разрез анализируемой фасадной системы

На здание установлен вентилируемый фасад (rain-screen). Температура и влажность воздуха в здании приняты по стандарту EN 15026 [6] и приближены к нормальным, т. е. температура в пределах от 20 до 25 °С, а относительная влажность от 30 до 60 %. Уличные условия приняты из расчета статистики последних лет в разных странах. Проанализированы следующие климатические зоны:

- холодный континентальный климат (например, Москва);
- холодный морской климат (например, Рига);
- умеренно континентальный климат (например, Берлин);
- умеренный морской климат (например, Лондон);
- теплый континентальный климат (например, Бухарест).



Самое подробное исследование проведено для условий холодного континентального климата. На основе полученных результатов были изучены потенциальные проблемы для других климатических условий. Данная модель учитывает как длинноволновое, так и коротковолновое излучение, а также проливной дождь.

### 3.7.2 Эксплуатационные характеристики и показатели надежности системы

Эксплуатационные характеристики системы исследованы методами расчета и анализа

- Относительная влажность (%) на критических границах: внешняя сторона теплоизоляции и слой между старой стеной и новой фасадной системой.
- Риск накопления влаги,  $\Delta w$  (кг/м<sup>3</sup>) в утеплителе.

Места фасадной системы, к которым относятся эти параметры, показаны на рис. 3.5. Результаты измерения относительной влажности на наружной поверхности внешнего слоя теплоизоляции и на внутренней поверхности внутренней панели фасадной системы регистрировалась каждый час. Также была изучена устойчивость системы к недостаткам. Были проанализированы следующие переменные:

- скорость вентиляции в неветилируемом пространстве,  $n = 0 \text{ ч}^{-1}$  или  $1 \text{ ч}^{-1}$ ;
- попадание воды во время ливня (DRL) в не вентилируемое пространство (включая варианты с вентиляцией), 0 или 1% от DRL.

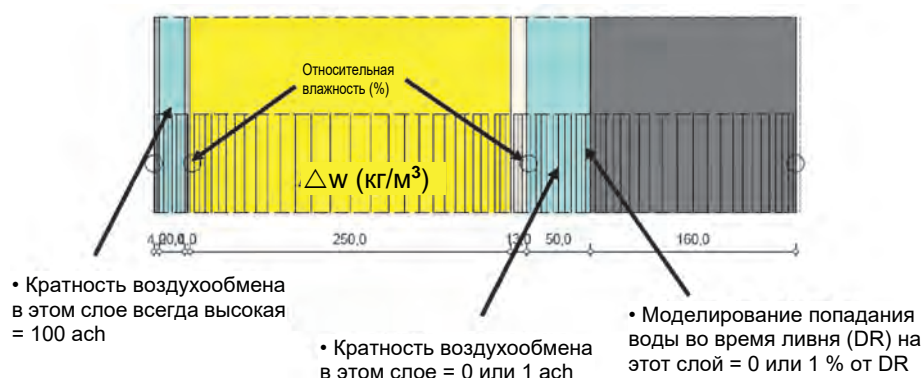


Рис. 3.5. Эксплуатационные характеристики

Кратность воздухообмена и попадание проливного дождя в пространство между старой стеной здания и навесной фасадной системой — это наиболее важные аспекты данного исследования. Новая фасадная система устанавливается на старый фасад с образованием герметичного, по крайней мере теоретически, пространства между стеной и системой. И можно считать, что воздухообмен в этом пространстве отсутствует, а капли проливного дождя в него не проникают. Поперек и по периметру элемента стены внутри этого пространства уложены полосы утеплителя из минеральной ваты. Это также снижает конвекцию внутри этого пространства. На основании предположений о размере трещины в герметике и давления воздуха было подсчитано, что максимальная кратность воздухообмена в этом пространстве составляет примерно  $1 \text{ ach}^1$ . В программе HEAT2 были произведены двумерные расчеты для анализа влияния мостиков холода на эксплуатационные характеристики системы. Удельная теплопроводность перфорированного С-образного профиля составляет  $6 \text{ Вт/мК}$ , что соответствует снижению теплопроводности «сплошного» С-образного профиля на 88 %.

Один показатель определяет относительную влажность и содержание влаги в теплоизоляции стены. Этот показатель считается хорошим, если относительная влажность не поднимается выше 80 % в течение длительного периода времени и влага не накапливается в теплоизоляции. Кроме того, относительная влажность на участке между стеной здания и установленной фасадной системой в течение длительного времени не должна подниматься выше 80 %. Относительная влажность на холодной стороне слоя измерялась при наихудших условиях.

Поэтому результаты приведены отдельно для теплоизоляции стены следующим образом:

- относительная влажность во времени RH(t) для разных вариантов системы;
- максимальная относительная влажность как простой показатель для сравнения разных вариантов системы;
- изменение содержания влаги в течение 3 лет создает опасность накопления влаги или высыхания.

В пространстве между старой стеной и новой фасадной системой:

- относительная влажность во времени RH(t) для разных вариантов системы;
- максимальная относительная влажность как простой показатель для сравнения разных вариантов системы;

<sup>1</sup> АСН — это аббревиатура от Air Changes per Hour (количество смен воздуха за час), которая используется для измерения сменяемости воздуха в помещении. Это общий объем воздуха в здании, который замещается за один час.

- роль воздухообмена и последствия попадания воды.

Из всего моделируемого периода времени для анализа был взят 3-й год, потому что обычно это наиболее подходящий для расчета период, когда квазистационарные условия уже достигнуты.

### **3.7.3 Результаты**

#### ***Влияние климата***

Результаты моделирования показывают, что для относительно паропроницаемой конструкции влажность воздуха в неветилируемой полости получается достаточно низкой во всех исследованных климатических условиях. А относительная влажность холодной стороны теплоизоляции наоборот может быть достаточно высокой во всех климатических условиях, кроме теплого континентального климата. Высокая влажность и низкая температура зимой не так критичны, как высокая относительная влажность летом.

#### ***Влияние толщины теплоизоляции и сопротивления диффузии***

Были проведены исследования степени влияния толщины теплоизоляции и паропроницаемости внутренней панели фасадной системы (паропроницаемой из гипсокартона или паронепроницаемой, например, из листовой стали). Толщина слоя теплоизоляции практически не влияет на гидротермические характеристики конструкций. Внутренняя поверхность фасадной системы должна быть «паропроницаемой» для предотвращения накапливания влаги в пространстве между старой стеной здания и фасадной системой. Бетонная стена здания (предполагается, что на ней нет трещин) все равно обладает большей диффузией, чем стальной лист, поэтому относительная влажность на этом участке будет расти. Увеличение толщины слоя теплоизоляции у конструкции, склонной к диффузии, увеличивает вероятность пересыхания в любом климате.

#### ***Влияние вентиляции в неветилируемом пространстве***

Небольшая вентиляция в пространстве между фасадной системой и старой стеной здания снижает относительную влажность в этой полости и способствует контролю влажности при использовании листовой стали на внутренней стороне фасадной системы. В других фасадных системах эта вентиляция практически не дает никакого результата или незначительно повышает и так низкую относительную влажность. Если капли проливного дождя проникают в фасадную систему, максимальные значения относительной влажности увеличиваются у любой фасадной системы. Если на внутренней стороне фасадной системы не используются стальные листы, вентиляция в пространстве между фасадной системой и стеной дает минимальный эффект. Способность просыхать у наружной теплоизоляции определяется свойствами наружной панели. Например, наружная панель из гипсокартона просыхает лучше, чем фиброцементная плита. Максимальная относительная влажность теплоизоляции немного увеличивается по мере увеличения ее толщины.

#### ***Выводы***

В целом, исследуемая фасадная система показала хорошие гидротермические характеристики во всех климатических условиях независимо от толщины слоя теплоизоляции. Небольшая вентиляция или ее полное отсутствие в пространстве между старой стеной и фасадной системой оказывает незначительное влияние. Наконец, умеренное попадание воды, например во время сильного дождя, мало влияет на эксплуатационные характеристики фасадной системы.

Исключением является фасадная система с тонким слоем листовой стали с внутренней стороны. Гидротермические характеристики фасадной системы считаются неприемлемыми при отсутствии небольшой вентиляции в пространстве между стеной здания и фасадной системой. Критическими для гидротермических характеристик признаны холодный континентальный и умеренный морской климат.

### 3.8 Анализ теплоизоляции фасадных систем с двойными наружными панелями

Это исследование посвящено фасадным системам с двойными наружными панелями трех типов:

- с открывающейся внутренней панелью, механической вентиляцией пространства между двойными наружными панелями и регулируемым забором тепла;
- с герметичным пространством между двойными наружными панелями. Может быть зонирование пространства по этажам или общее пространство по всей высоте здания;
- акустический барьер с наружной оболочкой из материала с большой или небольшой тепловой массой.

Проведены исследования теплового конвекционного потока в пространстве между двумя наружными панелями фасадной системы и полученные результаты сопоставлены с эталонной стеной, имеющей оптимальную теплопередачу в зависимости от толщины бетона (рис. 3.6).

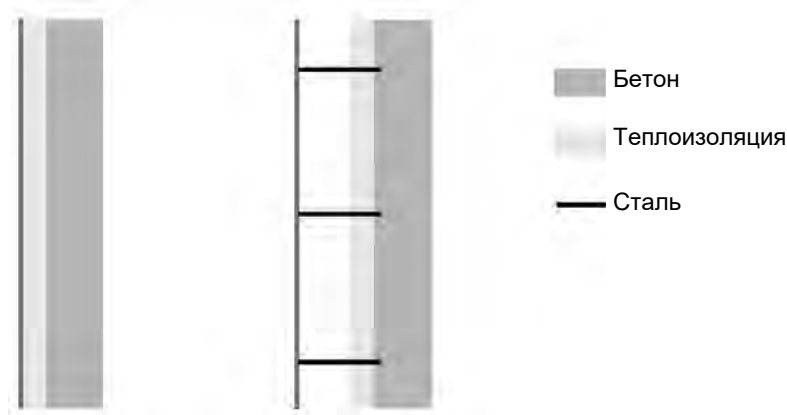


Рис. 3.6. Эталонная стена (слева) и двойная фасадная система (справа)

Стены выполнены из трехслойной сплошной плиты (сталь, теплоизоляция и бетон). У двойной фасадной системы стальной лист и теплоизоляция разделены прослойкой воздуха. Стальная панель крепится несколькими тонкими стальными крепежными деталями, которые обеспечивают необходимую жесткость и образуют мостик холода между внешней средой и сплошной плитой.

Когда солнечные лучи нагревают стальную панель, ее температура повышается и начинается естественная конвекция, влияющая на общую теплопередачу (эффект тяги). В программе Fluent был проведен анализ тепловой конвекции для двойной фасадной системы. В поставленную задачу входила оценка коэффициента теплопередачи двойной фасадной системы и сравнение результатов с эталонной стеной. Двойная фасадная система существенно улучшает теплоизоляцию (см. таблицу 3.3), и результаты анализа показали, что коэффициент теплопередачи у двойной фасадной системы в 4,5 раза меньше эталонного значения.

Таблица 3.3 Коэффициент теплопередачи эталонной стены и двойной фасадной системы в зависимости от толщины бетона при одинаковой толщине теплоизоляции (50 мм)

| Толщина бетона, мм | Эталонная стена без воздуха, Вт/м <sup>2</sup> К | Эталонная стена с воздухом, Вт/м <sup>2</sup> К | Двойная фасадная система, Вт/м <sup>2</sup> К |
|--------------------|--|---|---|
| 90                 | 0,768  | 0,183   | 0,157   |
| 120                | 0,758  | 0,182   | 0,155   |
| 150                | 0,749  | 0,182   | 0,154   |
| 200                | 0,732  | 0,181   | 0,151   |
| 250                | 0,717  | 0,180   | 0,149   |

## 3.9 Тепловая модель здания после реновации

### 3.9.1 Офисное здание

Для построения тепловых моделей было взято 4-этажное офисное здание, представляющее собой упрощенный вариант офисного здания 70-х годов постройки с одинаковой планировкой этажей (рис. 3.7). (Пример здания заимствован из программы энергетических исследований офисных зданий LVIS 2000 (HVAC 2000)). Всего было создано по одной модели для каждой из четырех локаций: Хельсинки (Финляндия), Лондон (Великобритания), Москва (Россия) и Берлин (Германия). Полезная площадь здания составила 3520 м<sup>2</sup>, а общая площадь — 3664 м<sup>2</sup>. Данные до и после реновации здания представлены в таблице 3.4.

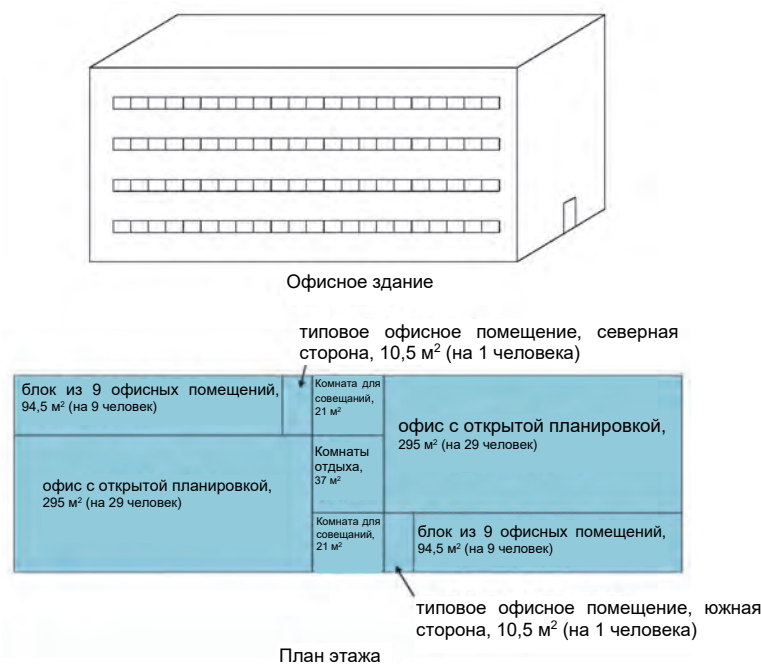


Рис. 3.7. Офисное здание для построения тепловой модели

Заданная температура системы отопления принята равной 21 °С, а системы охлаждения — 24 °С. Система охлаждения включается по мере необходимости по будним дням в период с 06:00 до 20:00. Система отопления реализована в виде батарей с централизованным теплоснабжением. Вентиляция также обеспечивает охлаждение. Окна без дополнительного затемнения. Режим работы вентиляции: с 06:00 до 20:00 по будним дням. Стандартная кратность воздухообмена: 1,21 ч<sup>-1</sup>. Годовая эффективность рекуперации тепла принята равной 50 % до и после реновации здания. В период с июня по август рекуперация тепла и отопление помещений выключены.

Каждый человек выделяет 75 Вт явной теплоты<sup>2</sup> и 38 Вт скрытой теплоты<sup>3</sup> (всего 113 Вт). Принято считать, что 70 % явной теплоты передается через излучение окружающим поверхностям, а 30 % — отдается посредством конвекции окружающему воздуху. Эти значения действительны для температуры воздуха в помещении 25 °С. Тепловая нагрузка одного компьютера или широкоэкранный проектор принимается равной 200 Вт. В офисных помещениях установлено по одному компьютеру на человека, а конференц-залы оборудованы широкоэкранными проекторами. 30 % выделяемой каждым устройством теплоты излучается на окружающие поверхности и 70 % — отдается окружающему воздуху посредством конвекции.

<sup>2</sup> Явная теплота — это энергия, передаваемая термодинамической системой, единственным результатом которой является изменение температуры.

<sup>3</sup> Скрытая теплота — это количество скрыто передаваемой энергии, т. е. ее нельзя определить по изменению температуры. Во время фазового перехода, например таяния льда, температура системы, содержащей лед и жидкость, остается неизменной пока весь лед не растает.

Тепловая нагрузка осветительного прибора составляет 15 Вт/м<sup>2</sup>. При этом 60 % теплоты излучается на окружающие поверхности и 40 % — передается окружающему воздуху посредством конвекции.

**Таблица 3.4** Данные до и после реновации офисного здания

| Здание до реновации (данные от внешних источников)    |  | Общая толщина, мм | Коэффициент теплопередачи, Вт/м <sup>2</sup> К |
|---|--|-------------------|--|
| Стена   | Бетон 60 мм, ДВП 80 мм, бетон 160 мм                                     | 300               | 0,82   |
| Крыша   | Бетон 60 мм, ДВП 80 мм, бетон 180 мм                                     | 320               | 0,81   |
| Первый этаж   | Гравий 200 мм, бетон 100 мм, ДВП 100 мм, бетон 60 мм, заполнитель 20 мм  | 480               | 0,63   |
| Плита перекрытия                                      | Заполнитель 20 мм, многослойная плита 310 (190 + 120), заполнитель 20 мм | 350               | 2,1  |
| Окно  | 2 стекла (толщина стекла = 4 мм), воздушная камера 60 мм                 | 68                | 2,6  |
| Здание после реновации (данные от внешних источников) |  | Общая толщина, мм | Коэффициент теплопередачи, Вт/м <sup>2</sup> К |
| Стена   | Фиброцементная плита толщиной 4 мм                                       | 364 (150)         | 0,25   |
|   | Минеральная вата толщиной 150/200/250 мм                                 | 414 (200)         | 0,20   |
|   | Минеральная вата/воздух (2/3 воздуха) 50 мм, бетон 160 мм                | 464 (250)         | 0,17   |
| Окно 1  | Новые окна по государственным строительным нормативам                    |                   | 1,40   |
| Окно 2  | Стандартные окна для пассивного дома, коэффициент g = 0,35               |                   | 0,81   |

В таблицах 3.5 и 3.6 приведены результаты разных тепловых моделей. С учетом разного климата дана общая годовая потребность здания в отоплении и охлаждении (МВт·ч) и удельная потребность (кВт·ч/м<sup>2</sup>, общая площадь).

Улучшение теплоизоляции офисного здания приводит к снижению нагрузки на обогрев помещений, но увеличению нагрузки на их охлаждение. При построении модели средства пассивного охлаждения не учитывались. Например, после реновации здания внешние средства затенения могут снизить потребность в охлаждении примерно на 50 %. В целом, проектные требования по реновации зданий с большими внутренними теплопритоками следует оценивать комплексно. Улучшение теплоизоляции повышает энергоэффективность здания независимо от климатических условий, но может привести к увеличенному расходу электроэнергии на охлаждение.

**Таблица 3.5** Годовая потребность в отоплении здания в Хельсинки, Лондоне, Берлине и Москве

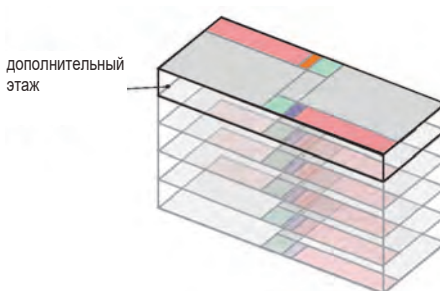
| Конструкция                    | Коэффициент теплопередачи окна, Вт/м <sup>2</sup> К | Годовая потребность в отоплении, МВт·ч (кВт·ч на квадратный метр общей площади) |          |          |           |
|--------------------------------|---|---|----------|----------|-----------|
|                                |   | Хельсинки   | Лондон   | Берлин   | Москва    |
| Местоположение                 |   |   |          |          |           |
| Здание до реновации            | 2,5   | 439 (120)   | 194 (53) | 245 (67) | 394 (108) |
| Здание после реновации         |   |   |          |          |           |
| Толщина теплоизоляции = 150 мм | 1,4   | 227 (62)  |          |          |           |
|                                | 0,8   | 191 (52)  | 72 (19)  | 97 (27)  | 173 (47)  |
| Толщина теплоизоляции = 200 мм | 1,4   | 221 (60)  |          |          |           |
|                                | 0,8   | 185 (50)  |          |          |           |
| Толщина теплоизоляции = 250 мм | 1,4   | 216 (59)  |          |          |           |
|                                | 0,8   | 181 (49)  | 67 (18)  | 91 (25)  | 163 (45)  |

**Таблица 3.6** Годовая потребность в охлаждении здания в Хельсинки, Лондоне, Берлине и Москве

| Конструкция                    | Коэффициент теплопередачи окна, Вт/м²К | Годовая потребность в охлаждении, МВт·ч (кВт·ч на квадратный метр общей площади) |         |         |         |
|--------------------------------|--|--|---------|---------|---------|
|                                |  | Хельсинки  | Лондон  | Берлин  | Москва  |
| Местоположение                 |  | Хельсинки  | Лондон  | Берлин  | Москва  |
| Здание до реновации            | 2,6                                    | 22 (6)   | 40 (11) | 52 (14) | 36 (10) |
| Здание после реновации         |  |  |         |         |         |
| Толщина теплоизоляции = 150 мм | 1,4                                    | 37 (10)  |         |         |         |
|                                | 0,8                                    | 43 (12)  | 69 (19) | 75(21)  | 54 (15) |
| Толщина теплоизоляции = 200 мм | 1,4                                    | 38 (10)  |         |         |         |
|                                | 0,8                                    | 44 (12)  |         |         |         |
| Толщина теплоизоляции = 250 мм | 1,4                                    | 39 (11)  |         |         |         |
|                                | 0,8                                    | 45 (12)  | 71 (20) | 77 (21) | 55 (15) |

### 3.9.2 Офисное здание с надстройкой на крыше

Для изучения степени влияния надстройки на крыше на энергоэффективность здания были построены тепловые модели для здания с надстройкой высотой от одного до трех этажей. Для первого анализа характеристики всего здания на момент «до реновации» были приняты одинаковыми, включая дополнительные этажи. Для второго анализа здания после реновации была введена «отправная точка».



**Рис. 3.8.** Упрощенный вид офисного здания с надстройкой на крыше

Результаты теплового анализа офисного здания приводятся в таблице 3.7.

**Таблица 3.7** Потребность в отоплении (круглый год, удельные значения, старое здание с надстройкой на крыше)

| Вариант   | Кол-во этажей       | Хельсинки | Берлин | Лондон |
|---|---------------------|-----------|--------|--------|
|   | 4 (отправная точка) | 108,1     | 64,5   | 43,5   |
| Старый вариант до реновации (кВт·ч/м² в год)                    | 5                   | 102,9     | 60,8   | 40,5   |
|   | 6                   | 99,9      | 58,4   | 38,4   |
|   | 7                   | 97,8      | 56,7   | 36,8   |
| Здание после реновации с дополнительным этажом (кВт·ч/м² в год) | 4 (отправная точка) | 55,5      | 30,0   | 17,6   |
|   | 5                   | 53,2      | 28,1   | 16,1   |
|   | 6                   | 51,8      | 26,9   | 15,2   |
|   | 7                   | 50,7      | 26,1   | 14,5   |

Основное преимущество надстройки на крыше здания заключается в уменьшении отношения площади поверхности к объему здания, поскольку дополнительные этажи не увеличивают площадь основания и крыши, а только площадь фасада.

Для коммерческих зданий большое значение имеет количество энергии, расходуемой системой охлаждения. В таблице 3.8 приводятся потребности в охлаждении одного здания в трех разных городах. Повышение компактности здания не снижает его потребности в охлаждении, как и улучшение коэффициента теплопередачи после реновации здания. Следовательно, для уменьшения расходуемой на охлаждение здания энергии необходимы другие решения, например повышение эффективности применения средств затенения и вентиляции).

**Таблица 3.8** Годовое потребление энергии на охлаждение здания с дополнительными этажами после реновации

| Потребность в охлаждении здания после реновации |                            | Хельсинки | Берлин | Лондон |
|---|----------------------------|-----------|--------|--------|
| 4 этажа (отправная точка)                       | кВт·ч/м <sup>2</sup> в год | 10,2      | 17,5   | 14,4   |
| 5 этажей  | кВт·ч/м <sup>2</sup> в год | 10,8      | 18,4   | 15,1   |
| 6 этажей  | кВт·ч/м <sup>2</sup> в год | 11,2      | 18,9   | 15,7   |
| 7 этажей  | кВт·ч/м <sup>2</sup> в год | 11,5      | 19,3   | 16,0   |

### 3.9.3 Многоквартирный дом

Построена тепловая модель 4-этажного многоквартирного дома (цокольный этаж + три верхних этажа). У таких зданий обычно наружные стены из бетонных сэндвич-панелей, пологая крыша с внутренним водостоком и бетонные балконы, закрепленные на плитах перекрытия. Для теплоизоляции стен в рамках реновации здания обычно используется утеплитель из минеральной ваты толщиной от 80 до 120 мм. Также произведена реновация старых стен, в рамках которой бетон часто проходил через теплоизоляцию.

При низкой надежности бетонных панелей реновация фасадов обычно предусматривает демонтаж наружной облицовки бетонных панелей. Также приходится снимать балконные плиты для укладки дополнительной теплоизоляции. В таблице 3.9 приведены размеры анализируемого здания. Окна расположены только на главных фасадах, и при построении модели исходили из того, что они выходят на юг и север. Площадь окон на южной стороне здания составляет 132 м<sup>2</sup>, а на северной — 73 м<sup>2</sup>. Общая площадь окон составила 19,7 % от общей площади стен.

**Таблица 3.9** Основные размеры многоквартирного дома

| <b>Внутренние размеры</b> |  |
|---------------------------|--|
| Ширина                    | 10,5 м (между внутренними поверхностями наружных стен)                                       |
| Длина                     | 52,5 м (между внутренними поверхностями наружных стен)                                       |
| Высота этажа              | 2,7 м, цокольный этаж — 2,1 м  |
| Высота помещения          | 2,4 м, цокольный этаж — 2,1 м  |
| <b>Наружные размеры</b>   |  |
| Ширина                    | 11 м (между наружными поверхностями наружных стен)   |
| Длина                     | 53 м (между наружными поверхностями наружных стен)   |
| <b>Площадь</b>            |  |
| Полезная площадь          | 550 м <sup>2</sup> (один этаж), 2200 м <sup>2</sup> (все этажи)                              |
| Общая площадь             | Общая площадь одного этажа составляет 583 м <sup>2</sup> , всех этажей — 2332 м <sup>2</sup> |

Заданная температура системы отопления 21 °С для жилых помещений и 19 °С для цокольного этажа. Система охлаждения не предусмотрена. Система отопления реализована в виде обычных батарей с централизованным теплоснабжением. Предполагается, что механическая вытяжная вентиляция работает круглосуточно, кратность воздухообмена составляет 0,5 ч<sup>-1</sup>. В старом здании рекуперации тепла от системы вентиляции отсутствовала. Предполагается, что после реновации рекуперация тепла составит 75 % в год. Воздухонепроницаемость здания до реновации ( $n_{50}$ ) составляла 3,0 ч<sup>-1</sup>. После реновации этот показатель составил примерно 1,0 ч<sup>-1</sup>. Материалы конструкции многоквартирного дома до и после реновации приводятся в таблице 3.10.

**Таблица 3.10** Данные до и после реновации многоквартирного дома

| Здание до реновации (данные от внешних источников)    |   | Общая толщина, мм | Коэффициент теплопередачи, Вт/м <sup>2</sup> К |
|---|---|-------------------|--|
| Наружная стена  | Бетон 60 мм<br>Теплоизоляция 80 мм<br>Бетон 120 мм  | 260               | 0,5  |
| Внутренняя стена                                      | Бетон 200 мм  | 200               | 2,6  |
| Крыша   | Утеплитель 150 мм, бетон 150 мм   | 300               | 0,3  |
| Первый этаж   | Утеплитель 80 мм, бетон 100 мм  | 180               | 0,4  |
| Плита перекрытия                                      | Железобетонная плита 300 мм   | 300               | 2,7  |
| Окно  | 2 стекла (толщина стекла = 4 мм), воздушная камера 60 мм                                    | 68                | 2,6  |
| Здание после реновации (данные от внешних источников) |   | Общая толщина, мм | Коэффициент теплопередачи, Вт/м <sup>2</sup> К |
| Наружная стена  | Утеплитель из минеральной ваты 250 мм<br>Бетон 60 мм<br>Теплоизоляция 80 мм<br>Бетон 120 мм | 510               | 0,16   |
| Крыша   | Утеплитель из минеральной ваты 300 мм<br>Теплоизоляция 150 мм<br>Бетон 150 мм               | 600               | 0,11   |
| Первый этаж   | Теплоизоляция 80 мм<br>Бетон 100 мм<br>Теплоизоляция 60 мм                                  | 240               | 0,22   |
| Окно  | Окна для пассивного дома, коэффициент g = 0,35 для площади остекления                       | —                 | 0,81   |

В таблице 3.11 приводятся результаты построенной модели многоквартирного дома. С учетом разного климата дана общая годовая потребность здания в отоплении и охлаждении (МВт·ч) и удельная потребность (кВт·ч/м<sup>2</sup>, общая площадь).

**Таблица 3.11** Годовая потребность в отоплении здания в Хельсинки, Лондоне, Берлине и Москве

| Конструкция  | Годовая потребность в отоплении, МВт·ч (кВт·ч на квадратный метр общей площади) |          |          |
|--|---|----------|----------|
|  | Хельсинки   | Лондон   | Берлин   |
| Местоположение   |   |          |          |
| Старое здание без рекуперации тепла  | 212 (91)  | 107 (46) | 126 (54) |
| После реновации: увеличение вентиляции на 50 %.  |   |          |          |
| Пропускание окон снижено на 40 % в период с июня по сентябрь. Эффективность рекуперации тепла составила 75 % | 39 (17)   | 8 (4)    | 15 (7)   |

Предложенный вариант реновации здания позволяет снизить потребление энергии на отопление до стандарта пассивного дома. При построении модели не учитывалась потребность в охлаждении, которая по расчетам увеличится из-за улучшенной теплоизоляции ограждающих конструкций здания. Поэтому необходимо предусмотреть средства затенения или жалюзи.



### 3.10 Инновационные энергоэффективные фасадные системы, устанавливаемые на старые фасады зданий

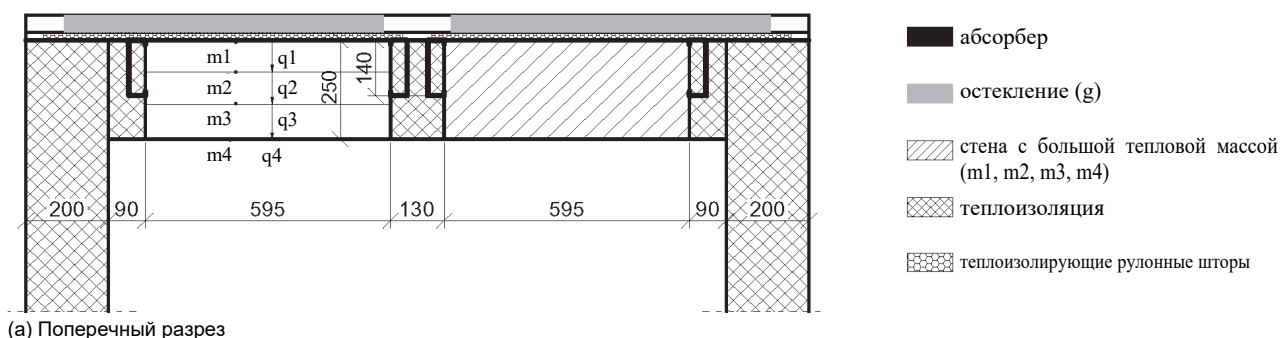
Проведено исследование инновационных фасадных систем для реновации старых зданий, в состав которых входят технические средства повышения энергоэффективности. В состав таких фасадных систем входит динамическая теплоизоляция, панели с вакуумной изоляцией, материалы с фазовым переходом и средства солнцезащиты.

#### 3.10.1 Полевые испытания системы теплоаккумулирующих стен

Солнечные лучи достаточно сильно нагревают южные стены зданий. Зимой это тепло от солнца может служить дополнительным источником тепловой энергии, а летом наоборот приводит к нежелательному перегреванию. Теплоаккумулирующие стены с большой тепловой массой дают возможность эффективно использовать солнечное тепло в холодное время года и не позволяют температуре внутри помещения слишком сильно подниматься в жаркую погоду. В рамках настоящего исследования рассматриваются теплоаккумулирующие стены из легкого стального каркаса, предназначенные для установки на южной стороне при строительстве нового здания или реконструкции старого.

Для проведения измерений использовалась климатическая камера, внутри которой поддерживалась температура около 20 °С. Такая температура считается комфортной для людей. Уличная температура определяется текущими погодными условиями. Для улучшения эффективности теплоаккумулирующей стены использовались теплоизолирующие рулонные шторы. Внешний вид и поперечный разрез теплоаккумулирующей стены приводятся на рис. 3.9.

Остекление на южной стороне нагревает абсорбер в виде черного листа стали. Сталь быстро реагирует на изменения температуры, поэтому лист успевает нагреваться, даже если солнечные лучи попадают на него кратковременно. Теплоаккумулирующая стена накапливает тепловую энергию и отдает ее внутрь помещения, существенно снижая потребление электроэнергии. При этом определенная инерционность в отдаче тепла не допускает перегрева воздуха внутри помещения в летнее время. Комфортную температуру в помещении помогают поддерживать, в том числе и теплоизолирующие рулонные шторы. Они не допускают чрезмерного повышения температуры летом и позволяют снизить теплопотери зимой.



(а) Поперечный разрез



(б) Пример теплоаккумулирующей стены

**Рис. 3.9.** Внешний вид и поперечный разрез теплоаккумулирующей стены в процессе монтажа

## Результаты в летнее время

Проведено исследование степени влияния теплоизолирующих рулонных штор на количество тепла, проходящего через теплоаккумулирующую стену в летнее время года. Результаты исследования приводятся для центрального участка стены. В июне теплоизолирующие рулонные шторы всегда были подняты, а в июле, августе и сентябре — опускались с восходом солнца и поднимались с закатом. Днем шторы не допускали перегрева абсорбера, а ночью в поднятом положении позволяли отдавать тепло.

Солнечные лучи сильно нагревали абсорбер, перегревая теплоаккумулирующую стену и приводя к повышению температуры внутренней стены помещения, поэтому температура воздуха в помещении была выше комфортной. Результаты измерений в летнее время приводятся в таблице 3.12.

**Таблица 3.12** Результаты измерения из тепловой камеры по месяцам лета 2008 г.

| время    | среднемесячное значение                               |   |   | средняя температура, °С |          |                                       |                                       |                                       |                                       |                 |
|----------|---|---|---|-------------------------|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
|          | интенсивность солнечного излучения, Вт/м <sup>2</sup> | плотность теплового потока в стене с большой тепловой массой, Вт/м <sup>2</sup> | плотность теплового потока на внутренней поверхности стены с большой тепловой массой, Вт/м <sup>2</sup> | уличный воздух          | абсорбер | в 1/4 стены с большой тепловой массой | в 2/4 стены с большой тепловой массой | в 3/4 стены с большой тепловой массой | в 4/4 стены с большой тепловой массой | воздух в камере |
| Апрель   | 89,049  | 2,274   | -5,745  | 10,663                  | 27,354   | 27,528                                | 26,988                                | 26,728                                | 26,817                                | 28,052          |
| Май      | 94,315  | 6,087   | -1,555  | 14,869                  | 28,494   | 30,741                                | 29,835                                | 29,308                                | 28,838                                | 29,173          |
| Июнь     | 97,444  | 12,961  | 6,095   | 19,998                  | 32,887   | 32,646                                | 31,118                                | 30,160                                | 28,596                                | 27,287          |
| Июль     | 91,731  | 5,324   | 1,337   | 20,420                  | 27,350   | 27,080                                | 26,434                                | 26,067                                | 25,417                                | 25,129          |
| Август   | 116,500   | 6,773   | 2,471   | 21,252                  | 30,847   | 30,448                                | 29,707                                | 29,190                                | 28,332                                | 27,798          |
| Сентябрь | 76,615  | 4,615   | 0,177   | 14,580                  | 24,402   | 24,225                                | 23,551                                | 23,260                                | 22,783                                | 22,737          |

Теплоизолирующие рулонные шторы закрывали от солнечных лучей в жаркие летние месяцы (июль, август). Среднее значение плотности теплового потока в июле составило всего 20,9 % от аналогичного показателя в июне, а в августе — всего 40,5 % от июньского значения. Теплоаккумулирующая стена не допускала больших изменений температуры в помещении, компенсируя большую амплитуду колебаний уличной температуры и интенсивность солнечного излучения в течение дня. Во многом за счет использования рулонных штор удавалось поддерживать комфортную температуру внутри здания.

## Результаты в зимнее время

В июне теплоизолирующие рулонные шторы всегда были подняты, а зимой — поднимались с восходом солнца и опускались с закатом. Таким образом, абсорбер нагревался днем, а ночью теплоизолирующие рулонные шторы не давали стене остыть. В таблице 3.13 приводятся сводные результаты, а в таблице 3.14 — теплопотери:

- исследуемой стены на основе полученных результатов;
- исследуемой стены без учета солнечного тепла;
- обычной стены с теплоизоляцией (коэффициент теплопередачи 0,30 (Вт/м<sup>2</sup>К)).

**Таблица 3.13** Сводные результаты измерения центрального участка стены зимой

| время   | среднемесячное значение                               |   |   | средняя температура, °С |          |                                       |                                       |                                       |                                       |                 |
|---------|---|---|---|-------------------------|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
|         | интенсивность солнечного излучения, Вт/м <sup>2</sup> | плотность теплового потока в стене с большой тепловой массой, Вт/м <sup>2</sup> | плотность теплового потока на внутренней поверхности стены с большой тепловой массой, Вт/м <sup>2</sup> | уличный воздух          | абсорбер | в 1/4 стены с большой тепловой массой | в 2/4 стены с большой тепловой массой | в 3/4 стены с большой тепловой массой | в 4/4 стены с большой тепловой массой | воздух в камере |
| Март    | 96,919  | 2,832   | -6,146  | 5,318                   | 22,509   | 22,813                                | 22,077                                | 21,858                                | 21,928                                | 23,256          |
| Октябрь | 94,700  | 10,539  | 3,820   | 12,410                  | 25,972   | 25,563                                | 24,214                                | 23,478                                | 22,269                                | 21,449          |
| Ноябрь  | 63,777  | 1,774   | -2,382  | 6,723                   | 18,538   | 18,784                                | 18,253                                | 18,232                                | 18,229                                | 18,741          |
| Декабрь | 42,441  | -6,266  | -10,135   | 2,328                   | 13,719   | 15,161                                | 15,459                                | 16,590                                | 17,119                                | 19,297          |
| Январь  | 46,730  | -8,058  | -11,509   | -0,810                  | 12,530   | 14,097                                | 14,225                                | 15,870                                | 16,615                                | 19,077          |
| Февраль | -   | -2,497  | -6,631  | 0,585                   | 16,450   | 16,997                                | 16,729                                | 17,041                                | 17,777                                | 19,208          |

**Таблица 3.14** Теплопотери зимой

| месяц         | исследуемая стена на основе полученных результатов, кВт·ч/м <sup>2</sup> |                   |              | исследуемая стена без учета солнечного тепла, кВт·ч/м <sup>2</sup> |                   |              | обычная стена с теплоизоляцией, коэффициент теплопередачи 0,30 (Вт/м <sup>2</sup> К) кВт·ч/м <sup>2</sup> |                   |              |
|---------------|--|-------------------|--------------|--|-------------------|--------------|---|-------------------|--------------|
|               | верхняя часть  | центральная часть | нижняя часть | верхняя часть  | центральная часть | нижняя часть | верхняя часть   | центральная часть | нижняя часть |
| Март          | 2,519  | 4,572             | 3,020        | 7,644  | 9,422             | 4,479        | 4,059   | 4,004             | 3,393        |
| Октябрь       | -3,575   | -2,842            | -1,215       | 3,913  | 4,748             | 2,432        | 2,078   | 2,017             | 1,843        |
| Ноябрь        | 0,165  | 1,715             | 2,044        | 4,924  | 6,109             | 3,206        | 2,614   | 2,596             | 2,428        |
| Декабрь       | 6,363  | 7,541             | 6,918        | 7,199  | 8,913             | 4,644        | 3,823   | 3,787             | 3,518        |
| Январь        | 6,526  | 8,563             | 7,879        | 8,433  | 10,446            | 5,449        | 4,478   | 4,439             | 4,128        |
| Февраль       | 4,456  | 4,456             | 4,456        | 7,071  | 8,836             | 4,956        | 3,754   | 3,754             | 3,754        |
| Σ одной части | 16,454   | 24,005            | 23,104       | 39,184   | 48,473            | 25,166       | 20,806  | 20,598            | 19,065       |
| Σ всех частей | 63,563   |                   |              | 112,823  |                   |              | 60,469  |                   |              |

Результаты измерений, проведенных в климатической камере, подтвердились численным анализом, что позволило проанализировать влияние теплопроводности разных частей стены на разных этапах эксперимента.

### Выводы и рекомендации по результатам исследования

По результатам исследования можно утверждать, что прототип теплоаккумулирующей стены хорошо подходит для размещения на южных сторонах зданий. По результатам измерений зимой установлены теплопотери стены. Они сопоставимы с теплопотерями обычных фасадов с теплоизоляцией с коэффициентом теплопередачи 0,30 Вт/м<sup>2</sup>. Наилучшие результаты были получены на верхнем участке стены. Теплопотери на этом участке стены получились на 20,9 % ниже, чем в среднем по всей стене. Дальнейший численный анализ позволит определить оптимальные характеристики теплоаккумулирующей стены с учетом ее геометрии и используемых материалов.

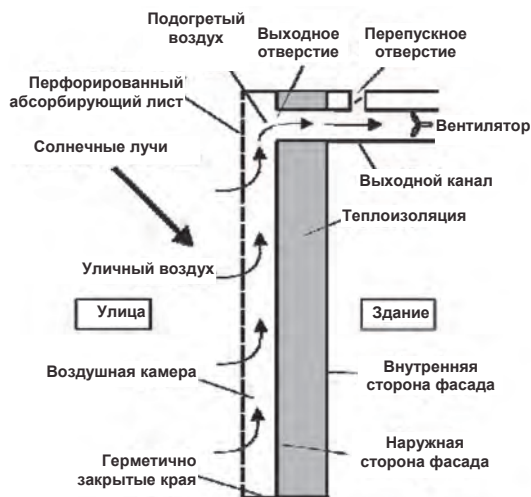
### 3.10.2 Полевые испытания перфорированных солнечных коллекторов в составе фасадной системы

В рамках данного проекта исследованы результаты практического применения новых перфорированных солнечных коллекторов (TSC) типа *Solarwall™* для применения в составе фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады бетонных и кирпичных зданий. Такие коллекторы представляют собой перфорированные листы металла, которые крепятся к ограждающей конструкции здания. При этом между перфорированным листом и ограждающей конструкцией здания получается воздушная

прослойка, так называемая воздушная камера. Через перфорацию (отверстия) металлического листа («абсорбера») уличный воздух нагнетается в эту камеру приточным вентилятором. В момент прохождения воздуха через перфорацию ему передается тепло от листа по принципу конвекции. Далее подогретый солнечным коллектором воздух из камеры поступает в здание (рис. 3.10). Когда подогреть уличный воздух не требуется, у коллекторов предусмотрены специальные перепускные отверстия, по которым воздух может поступать, минуя перфорированный металлический лист.

Воздушная камера полностью герметична со всех сторон. У перфорированных солнечных коллекторов мгновенный КПД составляет более 70 %, при этом капитальные инвестиции достаточно низкие. У крупных проектов срок окупаемости составляет менее двух лет [7].

По ссылке 8 можно посмотреть последние результаты применения таких коллекторов.

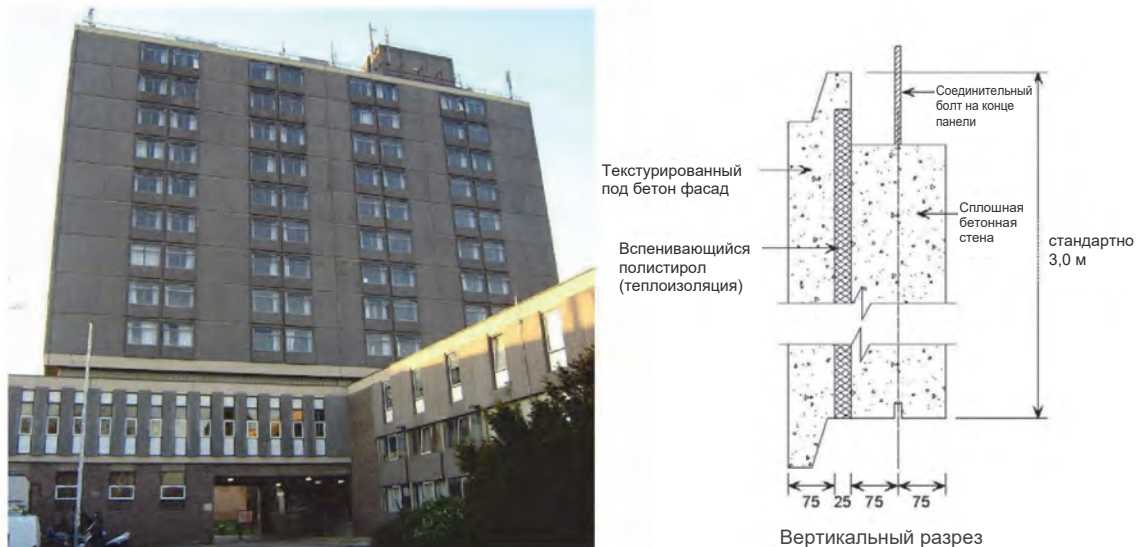


**Рис. 3.10.** Схематическое изображение перфорированного солнечного коллектора

Для полевых испытаний вместо профилированных листов были выбраны плоские стальные касетные панели. Так был получен первый опыт применения перфорированных солнечных коллекторов с такими панелями. В перспективе применение перфорированных солнечных коллекторов совместно с внешней теплоизоляцией в составе обычной фасадной системы, устанавливаемой на старый фасад здания, может существенно снизить затраты на отопление.

### **Испытание на здании**

Для испытания выбрано многоэтажное здание Оксфордского университета Брукса в Великобритании, которое в настоящее время не эксплуатируется, но по-прежнему обслуживается. На рис. 3.11 изображен северо-восточный фасад 12-этажного здания. Новая фасадная система была установлена на всем южном фасаде и части восточного на уровне двух первых этажей. Коллекторы изготовлены из листов стали Corus Prisma, выкрашенных в серый цвет Merlin Grey. На каждый квадратный метр приходилось до 2500 перфорированных отверстий. Между окнами каждого этажа по две панели были с перфорированными отверстиями, а остальные — без перфорации.



**Рис. 3.11.** Многоэтажное здание Оксфордского университета Брукса, выбранное для испытаний фасадной системы и поперечное сечение старого бетонного фасада

### Монтаж фасадной системы

Монтаж фасадной системы из больших кассетных облицовочных панелей на старый фасад здания был произведен в июле – августе 2009 года. Фасадная система была установлена на первых двух этажах на южной стороне многоэтажного здания и частично на восточной. Бетонная стена, построенная компанией Bison в 1962 году, состоит из железобетонных панелей высотой в один этаж с двойной облицовкой (наружный слой 75 мм, теплоизоляция 25 мм, внутренний слой 150 мм). Подробнее это приводится на рис. 3.11. Панели с оконными проемами выступали на 80 мм относительно сплошных панелей здания между ними. Все здание опирается на стилобат на уровне второго этажа, с которого велись монтажные работы.

Расчетный коэффициент теплопередачи старого бетонного фасада составлял  $1,2 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ , а после реновации новая фасадная система должна обеспечить коэффициент теплопередачи до  $0,25 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ . Кроме того для отопления здания будет использоваться солнечная энергия за счет применения новых перфорированных солнечных коллекторов.

Кассетные панели изготовлены из покрашенной стали толщиной 1,2 мм. С учетом расстояния между окнами здания стандартная ширина такой панели, как правило, составляет 2,9 м, а высота 0,9 м. У всех панелей предусмотрены уступы шириной 30 мм и ребра жесткости, размещенные на задних сторонах панелей с шагом примерно 1 м. Конструкция панелей обеспечивает достаточную жесткость, чтобы выдерживать порывы ветра и снижает эффект коробления металла от теплового расширения под действием солнечных лучей, попадающих на все плоские металлические панели.

Несущие профили из холодногнутой стали располагались вдоль вертикальных краев панелей. Это шляпные профили шириной 200 мм и толщиной 2 мм. Вертикальные профили крепятся ко внутренней стороне железобетонной плиты здания химическими анкерами длиной 120 мм и стержнями из нержавеющей стали диаметром 8 мм. Расстояние от наружной стороны облицовочной панели фасадной системы до наружной стороны старого фасада составило 140 мм. Замена старых окон не производилась.

Две кассетные панели на южной стороне здания были установлены следующим образом:

- стена на уровне первого этажа здания была утеплена ячеистым теплоизоляционным материалом толщиной 80 мм, прикрепленным между окнами к старому фасаду. За облицовочными панелями фасадной системы образовалась полость шириной 30 мм;
- старая стена на уровне второго этажа не утеплялась. Это было сделано для сравнения результатов испытания панелей с утеплителем и без утеплителя на воздействие тепловой инерции бетонной панели здания за ними. Таким образом, ширина полости на уровне этого этажа составила 110 мм.

Вся сторона восточной стены, где установлена фасадная система, утеплена ячеистым теплоизоляционным материалом толщиной 80 мм. На обоих этажах с южной стороны здания только две центральные кассетные панели были перфорированными, как изображено на рис. 3.12.

Края панелей были герметично закрыты, чтобы не мог попадать воздух.



**Рис. 3.12.** Местоположение перфорированных панелей на южной стороне здания

В старом бетонном фасаде были просверлены два отверстия диаметром 150 мм, чтобы воздух мог попадать внутрь здания через перфорированные панели. Вытяжные вентиляторы производительностью от 60 до 120 литров в секунду были установлены с внутренней стороны старой стены, чтобы можно было измерять расход воздуха через гибкий воздуховод, находясь в здании.

Панели стыковались между собой горизонтальными краями, а боковыми краями крепились к вертикальным С-образным профилям. Панели планировалось поднимать на место монтажа с внутренней стороны лесов, поэтому леса были установлены на расстоянии 300 мм от стены здания и удерживались по бокам через открытые окна здания. Вес стандартной панели составлял менее 20 кг, поэтому ее можно было достаточно легко разворачивать в нужное положение. По завершении монтажа фасадной системы по периметру вокруг окон и по углам были установлены заглушки. Внешний вид готового фасада показан на рис. 3.13.



**Рис. 3.13.** Готовый новый фасад на двух первых этажах выше стилобата, август 2009 г.

## Результаты исследования

Всего по ходу строительно-монтажных работ было установлено 42 датчика. Результаты измерения регистрируются и сохраняются каждые 30 секунд. По результатам непрерывной регистрации показаний датчиков расход составил от 60 до 90 л/с/этаж. При таком расходе скорость движения воздуха через отверстия составила 3–4,5 м/с. В определенные дни для сравнения температуры нагретого воздуха и количества тепловой энергии с расчетными значениями измерения проводились с разным расходом. В целом, экспериментальные данные подтверждают прогнозируемый энергетический баланс и доказывают, что плоские перфорированные солнечные коллекторы отлично подходят в качестве облицовочных панелей новой фасадной системы для реновации жилых и коммерческих зданий.

Стена, названная южной, на самом деле юго-западная (10 градусов на запад). Точные координаты здания: 51,7° северной широты и -1,1° западной долготы. Эти факторы важно учитывать в контексте количества попадающего на стену солнца. Весной и осенью расчетный период работы отопления на этой стороне здания был с 11:00 до 16:00. На примыкающем к южному фасаду стилобате установлена метеостанция, которая регистрировала погодные условия и солнечное излучение. Она была установлена в начале февраля 2010 года. Солнечное излучение регистрировалось в горизонтальной плоскости и затем производилось преобразование в вертикальную плоскость для точного определения относительно ориентации фасада с учетом времени года.

Результаты измерения в прохладный, но солнечный день 25 сентября 2010 г. приведены на рис. 3.14 (в данном случае это результаты измерения солнечного излучения). Корреляционная зависимость изменения температуры приточного воздуха от интенсивности солнечного излучения получилась максимальной. В это время года отопительный период длился с 10:30 до 18:00. Температура на улице колебалась от 5 °С ночью до 12 °С днем, а температура воздуха в помещении — от 12 °С ночью до 21 °С днем. При включенном отоплении температура приточного воздуха колебалась в пределах от 19 до 29 °С, а в 13:00 поверхность металлических панелей нагревалась до 50 °С. Во время работающего отопления интенсивность солнечного излучения колебалась от 200 до 750 Вт/м<sup>2</sup>.

Разность температур приточного и комнатного воздуха колебалась в пределах от 5 до 8 °С. Как уже отмечено выше, температура в помещении будет повышаться как от поступления приточного воздуха, так и под действием солнечных лучей. Днем температура внутренней поверхности стен здания составляла примерно 15 °С. Поэтому важно отделить влияние солнечного света, поступающего через окна. Кроме того, в реальных условиях эксплуатации здания с такой фасадной системой нагретый воздух будет направляться на более холодную северную сторону здания в качестве «бесплатного» отопления. Считается, что за контрольную температуру внутри здания правильно принимать температуру внутренней стены, а не выходящего на юг помещения, где проводятся измерения. Для графика на рис. 3.14 эту температуру можно взять за 12 °С.

Результаты измерения в обычный холодный, но солнечный день (10 февраля 2010 г.) приведены в виде графика на рис. 3.15. В течение дня температура колебалась в пределах от 1 до 3 °С, а температура металлических панелей — от 5 до 37 °С (в среднем 20 °С). При включенном с 10 до 16 часов отоплении (зимний режим отопления) температура приточного воздуха колебалась в пределах от 10 до 22 °С (в среднем 15 °С). Интенсивность солнечного излучения в горизонтальной плоскости колебалась от 100 до 600 Вт/м<sup>2</sup>.

Температура в помещении колебалась от 8 °С ночью до 15 °С днем. Нельзя однозначно определить, в какой степени на повышение температуры в помещении влияет проникающий через окна солнечный свет, а в какой — воздух, нагретый перфорированным солнечным коллектором. Температура внутренней поверхности стены в течение всего дня оставалась на отметке около 9 °С. Эту температуру можно принять за контрольную. В самое теплое время дня температура приточного воздуха была примерно на 5 °С выше температуры воздуха в помещении и на 10 °С выше температуры стен, что больше характерно для частей здания на теневой стороне.

Перспектива использования получаемого таким образом тепла зависит от климатических условий и заполняемости здания людьми, поэтому нуждается в дальнейших исследованиях.

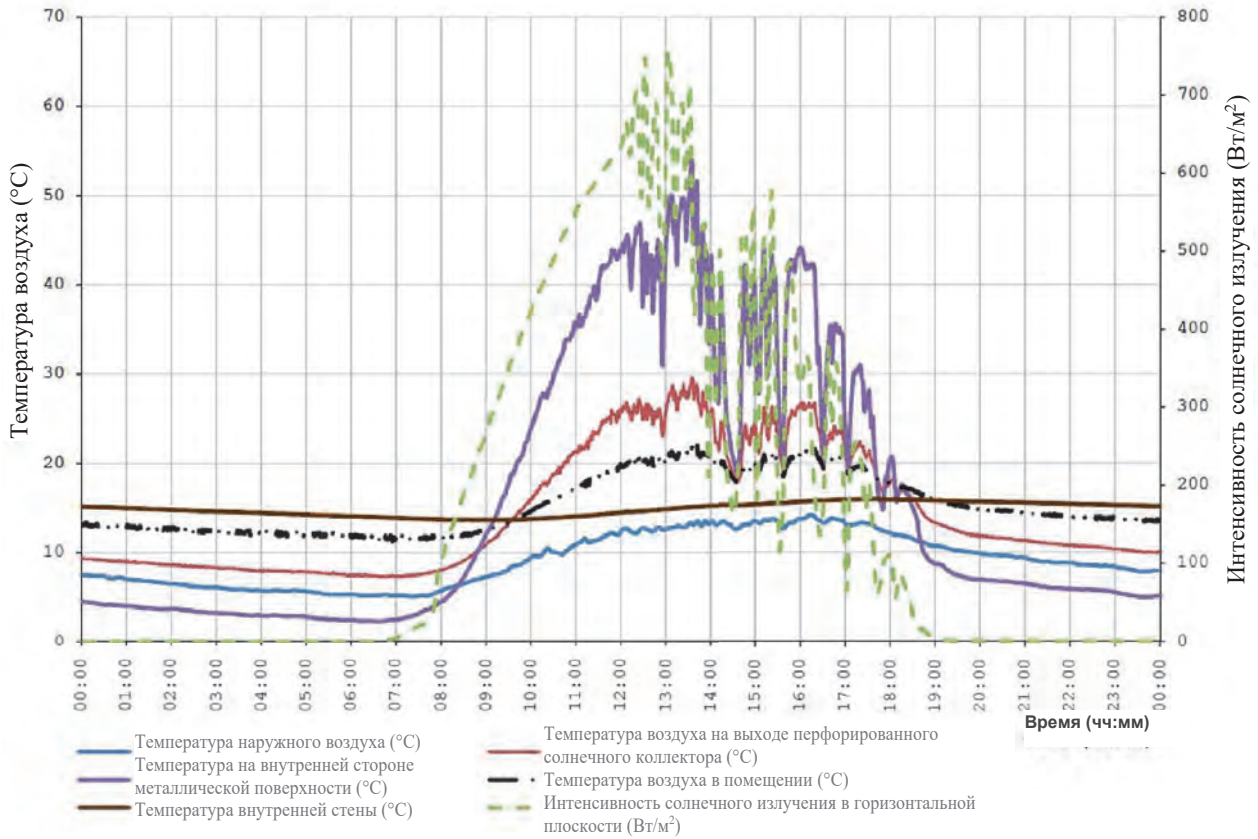


Рис. 3.14. Результаты испытаний в прохладный солнечный день (25 сентября 2010 г.)

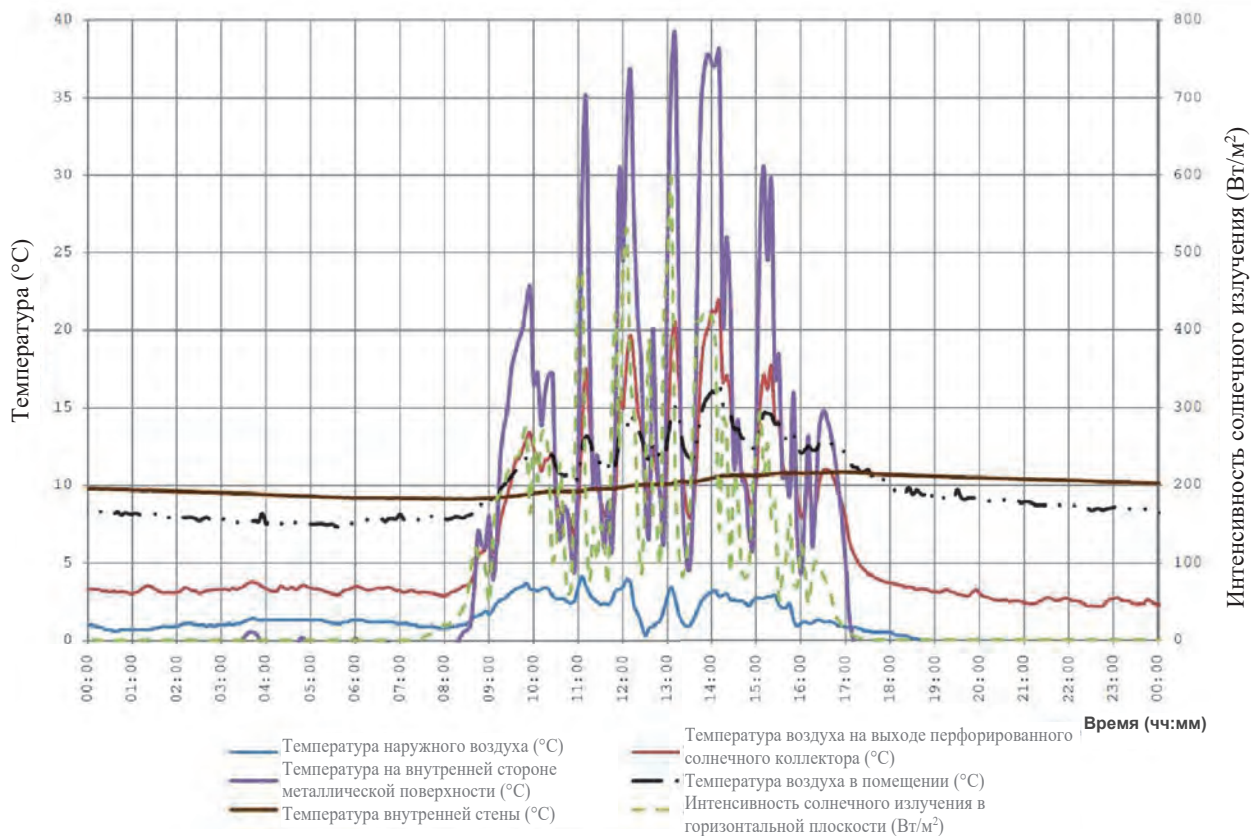


Рис. 3.15. Результаты измерений 10 февраля 2010 г.



### 3.11 Указания по проектированию перфорированных солнечных коллекторов

Настоящие указания распространяются на применение перфорированных солнечных коллекторов в составе новых фасадных систем в качестве облицовочных панелей в виде больших плоских стальных кассет с перфорацией, через которую поступает нагреваемый свежий воздух, в рамках реновации жилых и коммерческих зданий.

#### 3.11.1 Основные уравнения энергетического баланса для перфорированных солнечных коллекторов

Мгновенный КПД перфорированного солнечного коллектора выражается уравнением КПД плоского солнечного коллектора, который определяется количеством энергии, сообщаемой потоку воздуха на выходе коллектора, поделенным на общее солнечное излучение, попавшее на перфорированную поверхность абсорбера:

$$\eta_i = \frac{m C_p (T_{\text{вых}} - T_{\text{ул}})}{A G_T}, \quad (3.1)$$

где  $C_p$  — удельная теплоемкость уличного воздуха,  $A$  — площадь проекции перфорированного коллектора,  $m$  — массовый расход воздуха перфорированного коллектора,  $T_{\text{вых}}$  — температура воздуха на выходе перфорированного коллектора,  $G_T$  — общее солнечное излучение, попавшее на поверхность коллектора,  $T_{\text{ул}}$  — температура уличного воздуха. Уравнение (3.1) можно преобразовать, чтобы определить температуру воздуха на выходе перфорированного солнечного коллектора.

Температура  $T_{\text{вых}}$  на выходе перфорированного солнечного коллектора [9] определяется, как и для плоского солнечного коллектора, по уравнению энергетического баланса. Графически уравнение энергетического баланса показано на рис. 3.16, а математически — в формуле 3.2.

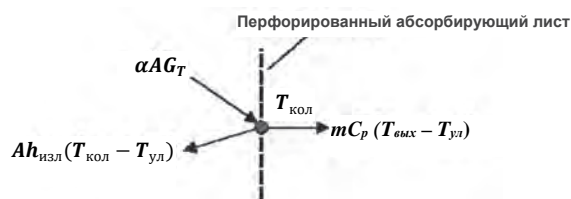


Рис. 3.16. Простой энергетический баланс перфорированного солнечного коллектора

$$m C_p (T_{\text{вых}} - T_{\text{ул}}) = a A G_T - A h_{\text{изл}} (T_{\text{кол}} - T_{\text{ул}}) \quad (3.2)$$

В уравнении (3.2)  $a$  — это коэффициент поглощения перфорированного коллектора,  $T_{\text{кол}}$  — температура перфорированного коллектора и  $h_{\text{изл}}$  — линеаризованный коэффициент теплопередачи излучением (линеаризация коэффициента теплопередачи излучением является эффективным способом преобразования температуры в 4-ю степень по закону Стефана-Больцмана в линейную формулу для узкого диапазона температур). Уравнение 3.2 предполагает, что теплопотерями на ветер можно пренебречь [10].

Учитывая, что количество передаваемой воздуху на выходе перфорированного коллектора энергии определяется его конструкцией, эффективность теплообмена ( $\varepsilon_{\text{HX}}$ ) описывает зависимость между фактическим повышением температуры и максимально возможным повышением температуры:

$$\varepsilon_{\text{HX}} = \frac{(T_{\text{вых}} - T_{\text{ул}})}{(T_{\text{кол}} - T_{\text{ул}})}, \quad (3.3)$$

где эффективность теплообмена определяется экспериментальным путем [11]. Если преобразовать предыдущее уравнение (3.3) с  $T_{\text{вых}}$ , уравнение (3.2) примет следующий вид:

$$m C_p \varepsilon_{\text{HX}} (T_{\text{кол}} - T_{\text{ул}}) = a A G_T - A h_{\text{изл}} (T_{\text{кол}} - T_{\text{ул}}) \quad (3.4)$$

Массовый расход выражается через фронтальную скорость коллектора ( $v$ ), которая определяется как скорость воздуха, проходящего через всю площадь поверхности абсорбера коллектора:

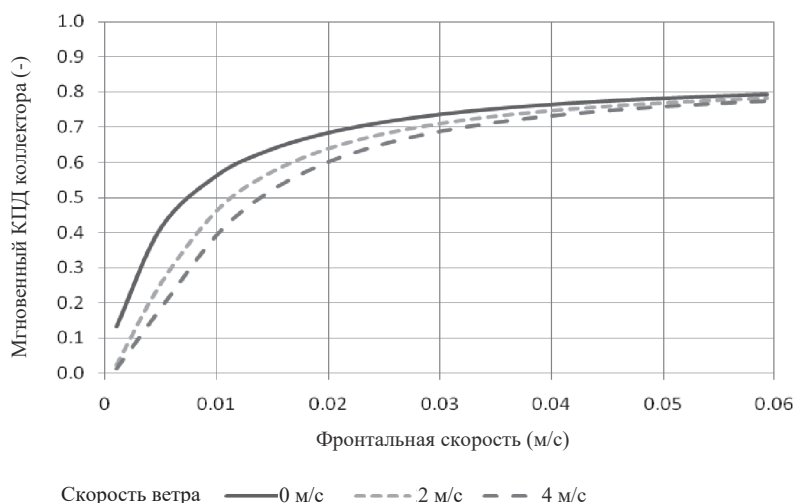
$$v = \frac{m}{A \rho_{\text{возд}}} \quad (3.5)$$

где,  $\rho_{\text{возд}}$  — это плотность уличного воздуха. Получившееся уравнение мгновенного КПД коллектора выглядит следующим образом [11,12]:

$$n_i = \frac{\alpha}{\left(1 + \frac{h_{\text{изл}}}{\varepsilon_{\text{HX}} \rho_{\text{возд}} C_p v}\right)} \quad (3.6)$$

Уравнение (3.6) показывает, что КПД перфорированного солнечного коллектора прямо пропорционален его поглощающей способности. Как правило, поглощающая способность выше всего у темных материалов, поэтому важно не жертвовать КПД коллектора в угоду эстетике его внешнего вида. В зависимости от области применения солнечного коллектора поглощающая поверхность может быть синей, красной, зеленой или серой. Считается, что поверхности этих цветов хорошо поглощают солнечное излучение.

График на рис. 3.17 показывает, что мгновенный КПД перфорированного солнечного коллектора может превышать 70 %, если фронтальная скорость превышает 0,02 м/с. При фронтальной скорости менее 0,02 м/с мгновенный КПД перфорированного солнечного коллектора снижается, но увеличивается скорость повышения температуры воздуха.



**Рис. 3.17.** Зависимость мгновенного КПД коллектора от 3 скоростей ветра (исходя из расчетов в программе RETScreen® V3.1 и коэффициента поглощения 0,9)

Чтобы теплотери на ветер и «отток» не приводили к снижению КПД перфорированного солнечного коллектора [10, 12], рекомендуемая фронтальная скорость абсорбирующей поверхности коллектора должна быть от 0,04 до 0,05 м/с. Отток — это явление, при котором нагретый воздух из воздушной камеры покидает перфорированный солнечный коллектор и теряется тепло. Гуннервик и др. [13] установили, что когда скорость ветра составляет 5 м/с, оттока воздуха можно избежать при условии, что фронтальная скорость у перфорированного солнечного коллектора будет 0,0125 м/с в нормальных условиях эксплуатации и до 0,039 м/с, когда ветер попадает на коллектор под углом 45°.

### 3.11.2 Типы перфорированных солнечных коллекторов

Перфорированные солнечные коллекторы бывают трех основных типов: 1) отдельные; 2) устанавливаемые на южной стороне ограждающей конструкции здания и 3) устанавливаемые на крыше здания. На рис. 3.18 изображен солнечный коллектор, устанавливаемый на южной стороне здания (также называется коллектором, устанавливаемым на ограждающей конструкции здания). Металлические перфорированные коллекторы данного типа могут устанавливаться на фасады старых и строящихся зданий. Поскольку коллектор становится частью фасада, он состоит только из металлического листа (перфорированного абсорбера) и креплений.



**Рис. 3.18.** Перфорированный солнечный коллектор типа SolarWall® на южной стене АЗС города Биконсфилд (Великобритания), подогревающий воздух для системы вентиляции фуд-корта

Чаще всего перфорированный солнечный коллектор применяется для подогрева воздуха для систем вентиляции. Далее этот воздух, как правило, уже нагревается до необходимой температуры самой системой ОВиК здания. На лето, когда подогрев воздуха обычно не требуется, предусматривается возможность пропускать приточный воздух в обход солнечного коллектора.

Климатические и экономические показатели перфорированного солнечного коллектора рассчитываются в программе RETScreen® V3.1 в проекте солнечного отопления [14]. Это программа для работы с электронными таблицами в формате Excel, использующая метеорологические карты поверхности NASA и сводку по солнечному излучению для расчета энергосбережения в среднем за месяц. Программа использует уравнение КПД, аналогичное уравнению (3.6), которое учитывает переменные поглощающей способности, расход воздуха и скорость ветра. Расчетное энергосбережение представляет собой сумму солнечной энергии, поглощенной активным коллектором, и рекуперации тепла стеной (теплопотери через стену передаются потоку воздуха).

В упрощенную модель получения энергии заложены алгоритмы расчета эффективности, исследованные в задаче 14 программы солнечного отопления и охлаждения МЭА [11]. По этой модели можно рассчитать необходимый подогрев воздуха для систем вентиляции большинства типов зданий. Следует отметить, что большинство программ для динамического моделирования энергопотребления зданий пока не поддерживают модели расчета энергии, выдаваемой перфорированными солнечными коллекторами.

Перфорированные солнечные коллекторы можно устанавливать совместно с солнечными батареями. В результате получается гибридная система в составе солнечной батареи и перфорированного солнечного коллектора (PV/TSC), которая одновременно преобразует солнечное излучение в тепло и электричество. Такие гибридные системы бывают двух типов.

1. Совмещенные — солнечные батареи/модули физически соединены с абсорбирующей поверхностью коллектора.
2. Интегрированные — солнечные батареи установлены на коллекторе.

Тема физического соединения солнечных батарей с перфорированным металлическим солнечным коллектором была исследована компанией Conserval Engineering Inc. [15, 16]. Результаты исследования подтвердили, что гибридная система в составе солнечной батареи и перфорированного солнечного коллектора понижает температуру солнечной батареи, но при этом снижается и КПД коллектора по сравнению с таким же стандартным коллектором. На сегодняшний день коммерческая продажа таких гибридных систем не осуществляется. В основном это объясняется сложностью производства солнечных батарей, которые можно было бы соединить с коллектором бюджетным способом.

Гибридные системы интегрированного типа, в которых обычные солнечные батареи интегрированы в коллектор, доступны в коммерческой продаже. Они продаются как в исполнении для монтажа на южной стене здания, так и в модульном исполнении. По результатам одного исследования, где для принудительного охлаждения солнечной батареи из поликристаллического кремния использовался перфорированный солнечный коллектор, удалось добиться снижения рабочей температуры солнечной батареи на 3–9 °С.

### **3.11.3 Применение перфорированных солнечных коллекторов в составе новых фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады зданий**

В рамках данного исследования разработан перфорированный солнечный коллектор для применения в составе фасадной системы для установки на старый фасад бетонного или кирпичного здания.

Вместо профилированных листов были выбраны плоские стальные кассетные панели. Это был первый опыт применения перфорированных солнечных коллекторов с такими панелями.

В коллекторе использовались стандартные стальные кассетные панели длиной 2,9 м и шириной 0,9 м.

Новая фасадная система была установлена на южном фасаде панельного здания из железобетона и части восточного фасада на уровне двух первых этажей. Установленная фасадная система изображена на рис. 3.13. Металлические панели изготовлены из покрашенной стали с плотностью перфорации до 2500 отверстий на квадратный метр и пористостью 0,35 % по всей площади панели (включая края панели). Между окнами каждого этажа по две панели были с перфорированными отверстиями, а остальные — без перфорации.

Рассмотрим приведенные на рис. 3.15 результаты измерения эффективности перфорированного коллектора на южном фасаде здания в обычный весенний или осенний день с отоплением, включенным в стандартный для этого времени года период с 11:00 до 16:00. Температура наружной поверхности стального листа может подниматься до 37 °С, но средняя температура в период работы отопления составляет от 25 до 30 °С. Средняя температура приточного воздуха примерно 20 °С. За контрольную температуру воздуха в помещении принимается температура, не зависящая от солнечного излучения (т. е. в коридоре или помещении, выходящем на север). Во время работы отопления она в среднем составляет 15 °С. Температура приточного воздуха примерно на 7 °С ниже температуры наружной поверхности стального листа. Во время работы отопления температура приточного воздуха примерно на 8 °С выше контрольной температуры воздуха в помещении.

Стандартные результаты измерения:

|  |                        |
|--|------------------------|
| разность температур приточного воздуха и воздуха в помещении | = 10 °С в среднем;     |
| время работы отопления (с 11:00 до 16:00 весной и осенью)    | = 5 часов;             |
| расход воздуха вентилятора (примерный)                       | = 60 л/с;              |
| площадь перфорированных панелей (на одном этаже)             | = 5,3 м <sup>2</sup> . |

Расчетная вырабатываемая в час энергия составила 0,72 кВт. За 5 часов в день это эквивалентно 3,6 кВт·ч энергии, расходуемой на отопление. Предположим, что 150 дней в году интенсивность солнечного излучения будет такой, что эквивалентно годовому потреблению энергии 540 кВт·ч. Если исходить из предположения, что эта тепловая энергия распределяется по зданию шириной 5 м и длиной 10 м, эквивалентная экономия расходуемой на отопление энергии составляет  $Q_{\text{неф}} = 540 / (5 \times 10) \approx 11$  кВт на каждый квадратный метр площади в год. Это эквивалентно примерно 30 % от общей энергии, расходуемой на отопление здания с новой фасадной системой. Энергия на отопление здания составила примерно 136 Вт/м<sup>2</sup> на единицу площади перфорированной панели.

Мощность потребления вентилятора берется из расчета 0,1 кВт в режиме полного расхода 120 литров в секунду, таким образом мощность, необходимая вентилятору, работающему на половине оборотов в течение 5 лет, составляет примерно 0,25 кВт·ч в день. Это эквивалентно примерно 7 % от общей вырабатываемой тепловой энергии.

Стандартную погоду в течение года можно усреднить как показано в таблице 3.15 и на основании этих данных рассчитать общую выгоду от применения перфорированного солнечного коллектора такого типа в контексте снижения годового расхода энергии на отопление типового жилого дома.

По этим стандартным значениям температуры можно рассчитать:

- 1) энергию, вырабатываемую перфорированным солнечным коллектором при поглощении солнечного излучения;
- 2) снижение потерь энергии из-за утечки и плохой теплоизоляции старого фасада;
- 3) потребляемую мощность вентилятора во время работы перфорированного солнечного коллектора.

Охлаждением полости ночью за счет излучения на поверхность металлической панели можно пренебречь. Аналогично жарким летом нагретый воздух может отводиться наружу, а не подаваться в помещение.

**Таблица 3.15** Стандартные погодные условия для расчета экономии энергии за счет установки солнечного коллектора с кассетными панелями

| Условия                 | Контрольная температура в помещении<br>$t_{\text{пом}}^{\circ}\text{C}$ | Температура приточного воздуха<br>$t_{\text{полости}}^{\circ}\text{C}$ | Уличная температура<br>$t_{\text{ул}}^{\circ}\text{C}$ | Солнечный коллектор работает |
|-------------------------|---|--|--|------------------------------|
| Солнечный зимний день   | 15  | 22   | 3  | Да                           |
| Пасмурный зимний день   | 15  | 5  | 5  | Нет                          |
| Солнечный весенний день | 18  | 27   | 12   | Да                           |
| Пасмурный весенний день | 18  | 12   | 12   | Нет                          |
| Теплое летнее утро      | 18  | 30   | 20   | Да                           |
| Теплый летний день      | 22  | 35   | 25   | Нет                          |

## 3.12 Указания по реновации коммерческих и жилых зданий

### 3.12.1 Фасадные системы для установки на старые фасады зданий

#### Размеры здания

Перед проектированием и производством новых фасадных систем в виде стальных сборочных единиц для улучшения теплоизоляции и защиты старых фасадов зданий от погодных условий необходимо детально исследовать стены зданий и собрать максимально точные данные. Правильно собранные данные гарантируют, что все части фасадной системы идеально подойдут по размеру и их не придется подгонять по месту. Для обмера фасадов зданий отлично подходят высокоточные системы лазерного сканирования. Такие системы позволяют обследовать фасады зданий с земли и соседних зданий на расстоянии до 50 м.

Отклонение размеров при проектировании и производстве сборочных единиц стальной фасадной системы должно быть в пределах 5 мм во все стороны. Лазерная система способна обеспечить такой уровень точности измерений при подходящих параметрах системы, методах и программном обеспечении, условиях окружающей среды и отражающей способности поверхностей.

#### Требования к фасадным системам

Перед установкой новой фасадной системы на старый фасад здания необходимо обследовать его и установить степень износа, особенно по углам и в местах примыкания окон к стенам, а в железобетонных стенах — степень коррозии арматуры. К стене здания, на которую будет устанавливаться новая фасадная система, предъявляются следующие требования:

- стена должна быть чистой: без следов плесени и т. д.;
- несущая способность: стена должна выдерживать вес каркаса фасадной системы, теплоизоляции и облицовочных панелей;
- сухость: стена должна быть сухой или новая фасадная система должна обеспечивать высыхание влаги.

Новая фасадная система в рамках проекта реновации здания должна удовлетворять следующим требованиям:

- быть герметичной;
- быть самонесущей и выдерживать ветровые нагрузки;
- снижать теплопотери (в соответствии с действующими нормативами);
- быть долговечной (рекомендуемый срок службы более 30 лет);
- удовлетворять требованиям пожарной безопасности, принятым в конкретной стране;
- компенсировать неровности и/или отклонения стен от вертикали.

Монтаж фасадной системы должен быть достаточно быстрым, чтобы влага не успевала попасть в конструкцию. Модульные фасадные системы предпочтительнее благодаря более высокому качеству и циклу доставки. В малоэтажных зданиях высотой до 4 этажей модульные и высотные элементы предусматривают возможность прокладки коммуникаций новых электрических и климатических систем, что сокращает время вынужденного простоя здания.

### **Способы повышения воздухопроницаемости в рамках реновации здания**

Способы улучшения воздухопроницаемости в рамках программы реновации здания зависят от ряда факторов, включая:

- тип и форму здания;
- состояние и тип материалов несущих конструкций;
- конструкцию стен и крыши;
- конструкцию окон;
- герметичность фасада;
- расположение воздухопроницаемого и паронепроницаемого барьеров в здании;
- возможность доступа в здание во время реновации.

Необходимо обследовать здание на воздухопроницаемость тепловизионным или дымовым методом, чтобы выявить все утечки воздуха в ограждающих конструкциях здания. Плохая воздухопроницаемость старого фасада здания в значительной степени связана с утечкой воздуха через швы между панелями, блоками, конструктивными элементами и через отверстия под заходящие в здание коммуникации. При реновации здания новая теплоизоляция всегда укладывается снаружи, чтобы избежать проблем с влагой. Для устранения утечки воздуха принимаются все необходимые дополнительные меры. Кроме того, воздушный барьер, уменьшающий утечку воздуха, должен быть размещен так, чтобы не увеличился риск формирования конденсата. Для устранения риска формирования конденсата внутри конструкции может потребоваться дополнительная пароизоляция, которая также может выполнять функции воздухопроницаемого барьера.

Прежде чем определяться с мерами по повышению воздухопроницаемости ограждающей конструкции здания, важно выявить основные места утечки воздуха. Также необходимо обеспечить нормальный приток свежего воздуха, чтобы качество микроклимата в здании было высоким. Это важно, потому что в старых зданиях свежий воздух преимущественно поступает через окна и щели в ограждающей конструкции здания. Меры по улучшению воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания приводятся в разделе 3.6.

### **Устойчивость новых фасадных систем к влаге**

Как правило, наружная теплоизоляция в новой фасадной системе обладает хорошими гидротермическими свойствами, подходящими для всех климатических поясов независимо от:

- толщины теплоизоляции;
- наличия небольшой вентиляции или ее полного отсутствия в полости между старой стеной и новой фасадной системой;
- попадания небольшого количества воды, например во время сильного дождя.

Исключением является новая фасадная система, у которой паронепроницаемый барьер находится с внутренней стороны. Гидротермические свойства конструкции считаются приемлемыми, если:

- старая стена здания полностью сухая (относительная влажность < 50 %) на момент установки новой фасадной системы;
- 75 % всей теплоизоляции находится за пределами паронепроницаемого барьера;
- пространство между новой фасадной системой и старой стеной здания немного вентилируется снаружи.

В условиях теплого и влажного климата важно провести анализ рисков формирования конденсата в летнее время.

### **3.12.2 Энергоэффективность**

Улучшение теплоизоляции офисного здания или жилого дома снижает нагрузку на обогрев помещений, но может привести к увеличению нагрузки на охлаждение. Расходы энергии на отопление здания можно сократить на 50–60 % при условии правильно спроектированной новой фасадной системы и крыши с правильно подобранной с учетом климатических особенностей региона дополнительной теплоизоляцией и вентиляцией с функцией рекуперации тепла.

Дополнительный уровень теплоизоляции, предусматриваемый проектом реновации здания, зависит от климата, типа и формы здания, назначения здания и т. д. При проектировании мер по повышению энергоэффективности здания необходимо учитывать следующие рекомендации:

- требуемый уровень энергоэффективности здания согласовывается на проектном совещании. В совещании должны принимать участие все проектировщики. Существует много разных концепций зданий с очень низким энергопотреблением, включая так называемый «пассивный дом», стандарт Minergie и здания с нулевым или около нулевым энергопотреблением. Подходящий вариант определяется суммой затрат и бюджетом проекта;
- в рамках программы по повышению энергоэффективности здания подход всегда должен быть комплексным. Оптимальное решение с учетом количества расходуемой энергии и ее стоимости можно найти только при комплексном рассмотрении всех аспектов повышения энергоэффективности;
- снижение расхода энергии на отопление может привести к увеличению расхода на охлаждение. В этом случае следует рассмотреть методы пассивного охлаждения, чтобы уменьшить или вообще устранить необходимость в механических средствах охлаждения;
- необходимо обследовать старые фасады здания, определить их состояние и рассмотреть подходящие варианты по установке новой крыши и фасадной системы на старые фасады здания. Во многих случаях снос старого здания может оказаться экономически более выгодным по сравнению с его реновацией;
- увеличение толщины стены или крыши влечет за собой необходимость других мероприятий, в частности реконструкции карнизов и теплоизоляции фундамента, а по архитектурным требованиям и установки новых окон или изменения их расположения;
- при решении реновации фасада здания экономически выгодно будет параллельно выполнить дополнительное утепление стен и крыши;
- установка новых окон редко бывает экономически целесообразной. Если старые окна в плохом состоянии и требуют замены, увеличение энергоэффективности здания от установки новых высокотехнологичных окон может покрыть все дополнительные расходы на их закупку и установку вместо обычных окон.

# 4 ПРОГРАММА № 2: РЕНОВАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ: СТРАТЕГИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Рабочие отчеты по этой программе доступны по ссылке [www.steel-renovation.org](http://www.steel-renovation.org)

## 4.1 Цели

В рамках данной программы рассматриваются способы повышения теплоизоляции одноэтажных промышленных зданий. Важной задачей является анализ старых зданий до и после реконструкции. Представлены также решения по реновации однопролетных промышленных зданий и исследование фактических характеристик с помощью численного анализа и измерений.

## 4.2 Проблемные участки одноэтажных зданий и примеры реновации

Была собрана подробная информация о теплоизоляции промышленных зданий с целью выявления слабых мест в существующих вариантах конструкций. Чтобы проиллюстрировать возможные проблемы с теплоизоляцией, проведены инфракрасные (ИК) обследования ряда типовых зданий, в том числе построенного в 1993 году здания научно-исследовательского университета в Аахене (рис. 4.1). Результаты тепловизионных обследований, проведенных в декабре 2008 года, показаны на рис. 4.2. На термограмме видна характерная структура кассетных стен с систематически встречающимися мостиками холода. На парапете заметны крупные «горячие» участки, которые возникают из-за наличия мостиков холода или движения воздуха.



Рис. 4.1. Здание Рейнско-Вестфальского технического университета (RWTH) — южный фасад

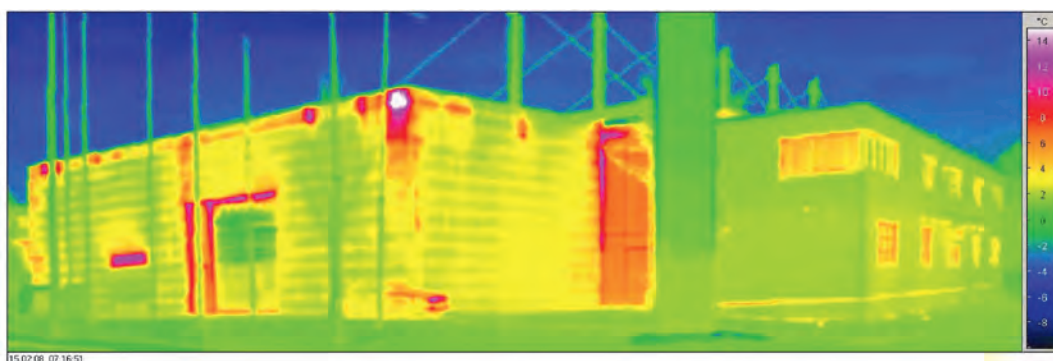


Рис. 4.2. Термограмма здания RWTH — южный фасад

Была проведена реновация и возведена надстройка на лабораторном корпусе Университета Аахена с применением стальных элементов и облицовки (см. рис. 4.3). Для сооружения надстройки на крыше потребовались железобетонные плиты. После укладки плит перекрытия были установлены стальные балки. Все здание (старый фасад из кирпичной кладки и надстройка) было облицовано сэндвич-панелями. Следующим этапом повышения энергоэффективности здания стала установка новых окон.





**Рис. 4.3.** Лабораторный корпус до и после реновации, г. Аахен

У завода компании Siemens в г. Конглтон графства Чешир на северо-западе Англии с 1950-х годов сохранилась асбестоцементная кровля плохого качества. Во время работы завода ее невозможно было легко и безопасно демонтировать. Чтобы повысить устойчивость к погодным условиям и улучшить теплоизоляцию, было принято решение установить новую крышу поверх старой. Крыша до и после реновации показана на рис. 4.4.

Для установки новой крыши поверх старой к существующим прогонам крепился легкий стальной дополнительный каркас *Instalok*. Затем к старой крыше крепился слой теплоизоляции из минеральной ваты толщиной 180 мм и новые профилированные стальные листы, а также устанавливались новые зенитные фонари и вентиляционное оборудование. Общая площадь крыши составила 4000 м<sup>2</sup>, в качестве кровельного настила использовался окрашенный листовый профиль HPS R32/1000 от компании Corus. Проектное значение коэффициента теплопередачи новой крыши равно 0,25 Вт/м<sup>2</sup>К. Также была улучшена воздухопроницаемость здания. Во время строительно-монтажных работ эксплуатация здания продолжалась.



**Рис. 4.4.** Промышленное здание до и после реновации, Великобритания

### 4.3 Расчет кассетных стен с улучшенной теплоизоляцией

Данные тепловизионных обследований промышленных зданий из легких стальных конструкций показали, что кассетные стены, изображенные на рис. 4.5 (а), могут иметь плохую теплоизоляцию. Эти выводы подтвердились и по результатам лабораторных испытаний в горячей камере (см. рис. 4.5 (б)).



**Рис. 4.5.** Существующая кассетная стена (а), термограмма кассетной стены, полученная во время испытаний в горячей камере (б)

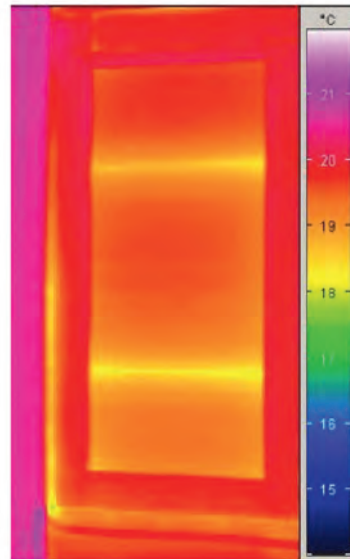
Таким образом, необходимы новые решения с повышенным качеством теплоизоляции. В рамках этого проекта рассматривалось два варианта, показанные на рис. 4.6:

- установка фасадной системы с использованием дополнительной теплоизоляции с заменой старого фасада;
- установка новой фасадной системы с использованием стальных сэндвич-панелей на старый фасад.

Вариант, предполагающий установку фасадной системы с заменой старого фасада и монтаж дополнительной теплоизоляции, был подробно изучен с применением расчета методом конечных элементов (МКЭ) и испытаний в горячей камере. На рис. 4.7 показано решение по установке фасадной системы с заменой старого фасада (сравните с рис. 4.5!), а влияние на коэффициент теплопередачи иллюстрирует рис. 4.8. При рекомендуемой толщине теплоизоляции 40 мм коэффициент теплопередачи стеновой системы может достигать примерно 0,4 Вт/м<sup>2</sup>К.

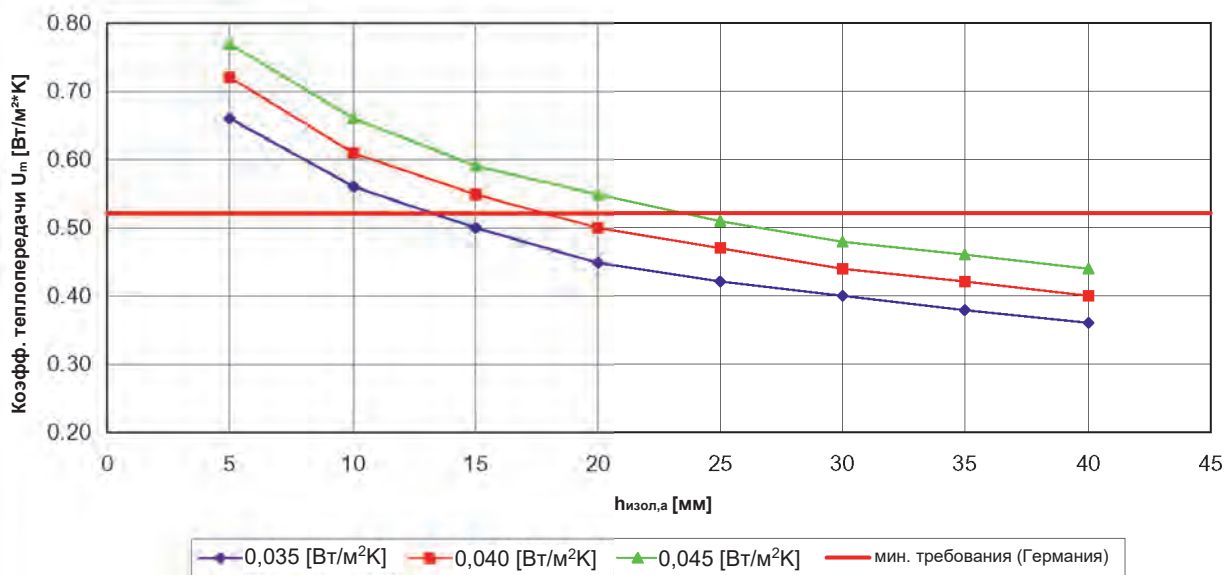


**Рис. 4.6.** Установка фасадной системы с заменой старого фасада и монтаж дополнительного слоя теплоизоляции (плита Steelrock компании Rockwool, слева), установка новой фасадной системы с использованием стальных сэндвич-панелей на старый фасад (справа)



**Рис. 4.7.** Горячая камера с тепловизором (слева), результат установки фасадной системы на кассетную стену с заменой старого фасада (справа)

**Кассетная стена толщиной 100 мм с дополнительным слоем теплоизоляции ( $h_{\text{изол,а}}$ )**



**Рис. 4.8.** Влияние дополнительного слоя теплоизоляции на эффективность теплоизоляции стальных кассет

Влияние дополнительного слоя теплоизоляции толщиной 100 мм на кассетной стене и использование стальных сэндвич-панелей были изучены с применением расчета МКЭ. Коэффициент теплопередачи фасадной системы можно улучшить примерно с 0,8 Вт/м²К при использовании простой кассетной стены (толщиной 100 мм) до 0,24 Вт/м²К при использовании сэндвич-панели толщиной 120 мм и теплопроводностью  $\lambda = 0,045$  Вт/мК.

## 4.4 Способы обеспечения воздухопроницаемости при реновации зданий

*Дополнительно см. раздел 3.6, посвященный способам обеспечения воздухопроницаемости жилых и коммерческих зданий.*

Утечка воздуха является основной причиной теплопотерь как в новых, так и в старых зданиях. В условиях постоянно ужесточающихся строительных норм показатели воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания являются одним из важнейших аспектов проектных решений, направленных на энергосбережение. В этом разделе рассматриваются вопросы утечки воздуха через ограждающие конструкции здания и влияния таких утечек на эксплуатационные характеристики здания, а также нормативные требования, действующие в Европе. В разделе представлены данные по воздухопроницаемости, полученные в результате физических испытаний различных типов зданий. В нем освещены причины низких показателей воздухопроницаемости и существующие неэффективные методы, а также передовой опыт. На базе этих данных были разработаны практические способы обеспечения высокого уровня воздухопроницаемости.

### 4.4.1 Утечка воздуха

Утечку воздуха в здании можно охарактеризовать как движение воздуха внутрь здания и из него, не предусмотренное проектом и не для отвода застоявшегося или притока свежего воздуха. Утечка воздуха обусловлена сочетанием ветра, эффекта тяги и устройством механических систем и возникает везде, где в ограждающих конструкциях есть трещины, щели или пористые участки. Необходимо снизить до минимума интенсивность незапланированной утечки воздуха через ограждающие конструкции, чтобы не допустить попадания влаги в пустоты и накапливания конденсата в теплоизоляции, что может значительно сократить срок службы ограждающих конструкций здания.

Утечка воздуха через ограждающие конструкции здания служит хорошим показателем общего качества проектного решения, конструктивного исполнения и строительно-монтажных работ. Утечка воздуха имеет четыре основных последствия для эксплуатационных характеристик здания:

- значительное увеличение нагрузки на системы кондиционирования помещений (системы отопления и охлаждения);
- низкий уровень комфорта внутри здания;
- разрушение узлов ограждающих конструкций из-за конденсации влаги в них и (или) проникания вместе с воздухом капель дождя;
- попадание с улицы загрязнений, например пыли, а также шума и т. д.

### 4.4.2 Нормативные требования, касающиеся утечки воздуха

В таблице 4.1 приведены стандартные европейские нормативные требования, касающиеся утечки воздуха. В будущем эти значения, вероятно, удастся значительно улучшить. Как показывает практика, для поддержания комфортного микроклимата в здании, во многом определяющего производительность труда, кроме качественной воздухопроницаемости ограждающих конструкций необходимо обеспечить принудительную вентиляцию.

**Таблица 4.1** Европейские нормативные требования к воздухопроницаемости ограждающих конструкций новых зданий

| Страна         | Тип здания                               | Значение | Ед. изм.                                   |
|----------------|--|----------|--|
| Великобритания | Все здания площадью > 500 м <sup>2</sup> | 10       | м <sup>3</sup> /ч·м <sup>2</sup> при 50 Па |
|                | < 500 м <sup>2</sup> (без проверки)      | 15       | м <sup>3</sup> /ч·м <sup>2</sup> при 50 Па |
| Бельгия        |  | 3,0      | ч <sup>-1</sup>                            |
|                | Пассивный дом                            | 0,6      | ч <sup>-1</sup>                            |
| Германия       | С принудительной вентиляцией             | 1,5      | ч <sup>-1</sup>                            |
|                | С естественной вентиляцией               | 3,0      | ч <sup>-1</sup>                            |
| Финляндия      |  | 1,0      | ч <sup>-1</sup>                            |
| Франция        | Офисные                                  | 1,2      | м <sup>3</sup> /ч·м <sup>2</sup> при 4 Па  |
|                | Коммерческие                             | 2,5      | м <sup>3</sup> /ч·м <sup>2</sup> при 4 Па  |

### 4.4.3 Низкие показатели воздухопроницаемости

Благодаря исследованиям, проведенным в рамках этого проекта, были выявлены основные причины низких показателей воздухопроницаемости зданий. Их можно сгруппировать по следующим категориям.

#### **Этап эскизного проекта**

- Нечеткое техническое задание на проектирование.
- Отсутствие ясности в отношении желаемого уровня эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций (особенно при реконструкции из-за неоднозначности нормативных требований).

#### **Этап проектного решения**

- Упущения при разработке концепции воздушных барьеров на раннем этапе подготовки проектного решения.
- Использование слишком большого количества материалов в ограждающих конструкциях для создания воздушного барьера.
- Отсутствие точности в отношении расположения воздушного барьера в ограждающих конструкциях здания.
- Большое количество негерметичных проходов через воздушный барьер.
- Детали соединений и проходов не продуманы должным образом, чтобы обеспечить целостность воздушного барьера.
- Недостаточное понимание характеристик материалов воздушного барьера с точки зрения воздухопроницаемости, технической возможности их применения и надежности уплотнений.

#### **Этап строительно-монтажных работ**

- Недостаток коммуникации между группами проектирования и строительства.
- Отсутствие активного контроля качества, что приводит к низкому качеству исполнения.
- Отсутствие процесса отслеживания изменений и пересмотра проектного решения.
- В строительно-монтажных работах участвуют несколько субподрядчиков, но ни один из них не отвечает за организацию критически важных уплотнений.

### 4.4.4 Рекомендации по обеспечению герметичности, основанные на передовом опыте

Чтобы обеспечить низкий уровень утечки воздуха, необходимо принять меры на стадиях эскизного проекта, рабочего проекта и строительства. Рекомендуются следующие способы (цифрами обозначены те способы, которые более подробно показаны на рис. 4.9):

- герметизация воздушного барьера в месте соединения пароизоляции и узла ендовы (1);
- герметизация воздушного барьера и паронепроницаемого слоя — сварные соединения внахлест;
- установка ленты для уплотнения воздушного барьера на соединениях внахлест внутренних стальных конструкций сборной системы;
- гибкая самоклеящаяся мембрана, которая образует воздушный барьер в месте примыкания стены и крыши;
- ленты для уплотнения, обеспечивающие целостность воздушного барьера на стыках между плитами обшивки;
- теплоизоляционная алюминиевая фольга *Therma-foil Plus* на фронте склада, чтобы обеспечить целостность воздушного барьера;
- уплотнение из теплоизоляционной алюминиевой фольги *Therma-foil Plus* на наружной стороне внутренней стальной обшивки, которое создает целостный воздушный барьер крыши (2);
- нанесение теплоизоляционной полосы *Therma-strip* на кровельные листы, чтобы обеспечить целостность воздушного барьера;
- установка новой фасадной системы на существующую кирпичную стену с применением вентилируемого фасада: создание воздушного барьера, пропускающего воздух, чтобы обеспечить пароизоляцию и ограничить утечку воздуха (3);
- звукоизолирующий настил: создание воздушного барьера, пропускающего воздух, чтобы обеспечить пароизоляцию и ограничить утечку воздуха;
- установка новой фасадной системы на старый фасад жилых зданий: создание воздушного барьера, пропускающего воздух, чтобы обеспечить пароизоляцию и ограничить утечку воздуха;

- установка новой фасадной системы на старый фасад промышленных зданий с применением систем вентилируемого фасада: создание воздушного барьера, пропускающего воздух, чтобы обеспечить пароизоляцию и ограничить утечку воздуха (4).

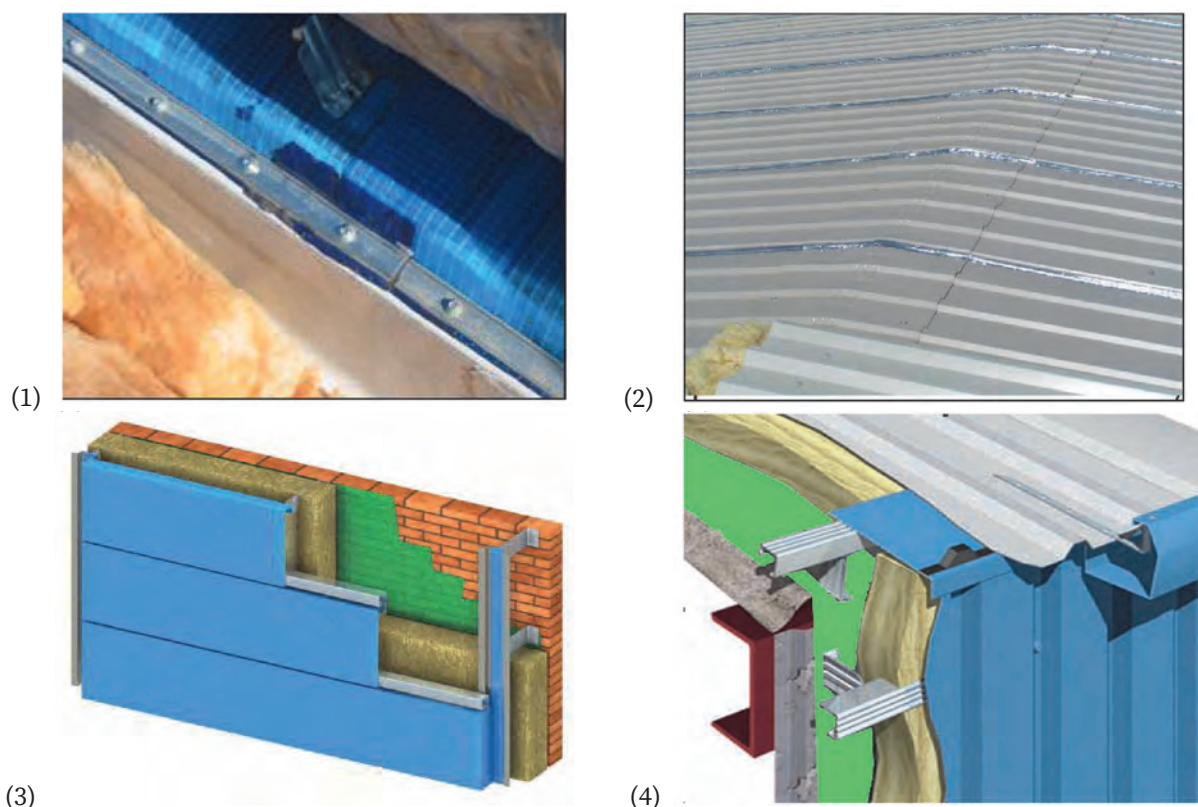


Рис. 4.9. Способы обеспечения воздухопроницаемости при реновации

## 4.5 Тепловая модель здания — параметрическое исследование

Были созданы тепловые модели зданий, чтобы получить данные о расходе энергии на отопление и на их основании вывести эмпирические соотношения для оценки энергопотребления до и после реновации промышленных зданий. Это позволяет оценить экономию энергии и соответствующее снижение затрат в результате работ по реновации. Эмпирические данные о расходе на отопление были внесены в программу экономического обоснования, приведенную в разделе 7.

### 4.5.1 Описание граничных условий для теплового анализа

В таблице 4.2 приведены параметры, которые учитывались при создании тепловых моделей: размеры здания, его местоположение, ориентация, режимы эксплуатации и заполняемости. Как показано в таблице 4.2, для создания тепловых моделей промышленных зданий небольшого и среднего размера рассматривались три города с разными климатическими условиями (Берлин, Хельсинки и Лондон).

Таблица 4.2 Характеристики зданий для создания тепловых моделей

| Место-<br>Положение | Размер | Небольшое     | Среднее         | Ориентация: север/юг и восток/запад<br>Национальный метод расчета Великобритании,<br>Характеристики эксплуатации и заполняемости [17]:<br>склад,<br>с естественной вентиляцией,<br>режим работы с 07:00 до 19:00, 7 дней в неделю |
|---------------------|--------|---------------|-----------------|---|
|                     |        | 30 × 60 × 6 м | 60 × 120 × 10 м |   |
| Берлин              |        | x             | x               |   |
| Хельсинки           |        | x             | x               |   |
| Лондон              |        | x             | x               |   |

## 4.5.2 Параметры теплового анализа

В таблице 4.3 представлены основные параметры теплового анализа. Столбец «Базовый вариант» отражает текущее состояние здания. В таблице 4.4 приведены предполагаемые параметры заполняемости, оборудования, освещения и систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВиК). В программе теплового моделирования, используемой для данного анализа, значения этих параметров являются стандартными для промышленных зданий в Великобритании.

Таблица 4.3. Параметры теплового анализа

|   | Параметр, влияющий на теплоизоляцию                                     | Базовый вариант   | Современная практика   | Рекомендуемая практика | Улучшенная практика | Наилучшая практика |      |
|---|---|---|--|------------------------|---------------------|--------------------|------|
| 1   | Воздухонепроницаемость $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ при 50 Па | 27  | 10   | 7                      | 4                   | 1                  |      |
| 2   | Коэфф. теплопередачи ( $\text{Вт}/\text{м}^2\text{K}$ )                 | Полая стена   | 1,7  | 0,35                   | 0,25                | 0,20               | 0,15 |
|   |   | Стеновая панель   | 2,3  | 0,35                   | 0,25                | 0,20               | 0,15 |
|   |   | Внутренняя стена  | 1,7  | 1,7                    | 1,7                 | 1,7                | 1,7  |
|   |   | Крыша   | 1,95   | 0,25                   | 0,20                | 0,15               | 0,10 |
|   |   | Перекрытие первого этажа                                  | 1,0  | 0,25                   | 0,20                | 0,15               | 0,10 |
|   |   | Окно  | 5,4  | 2,20                   | 1,50                | 1,10               | 0,70 |
|   |   | Зенитный фонарь   | 6,6  | 2,20                   | 1,80                | 1,50               | 1,20 |
|   |   | Затенение от солнца (фактическое значение коэффициента g) | 0,85   | 0,65                   | 0,50                | 0,35               | 0,20 |
|   |   | Входная дверь   | 3,0  | 2,20                   | 1,50                | 1,10               | 0,70 |
|   |   | Ворота для въезда транспортных средств                    | 5,9  | 1,50                   | 1,30                | 1,10               | 0,90 |
|   |   | Вентиляционное оборудование на крыше                      | —  | —                      | —                   | —                  | —    |
| 3   | Зенитные фонари (%)   | 20, 12  | 20, 12   | 20, 12                 | 20, 12              | 20, 12             |      |
| 4   | Значения $\Psi$ мостиков холода ( $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$ ) | Разжелобок (ендова)                                       | Согласно национальному методу расчета NCM [17] к коэффициенту теплопередачи для каждого элемента по умолчанию добавляется 10 % |                        |                     |                    |      |
|   |   | Капельник (стена первого этажа)                           |  |                        |                     |                    |      |
|   |   | Крыша — стена (карнизы + края крыши)                      |  |                        |                     |                    |      |
|   |   | Стена — угловая стена                                     |  |                        |                     |                    |      |
|   |   | Стена — не первый этаж                                    |  |                        |                     |                    |      |
|   |   | Перемычка (окно/дверь)                                    |  |                        |                     |                    |      |
|   |   | Подоконник  |  |                        |                     |                    |      |
|   |   | Боковой откос (окно/дверь)                                |  |                        |                     |                    |      |
| Освещение ( $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot 100 \text{ люкс})$ ): офис, склад и ангар   |   | 4,5   | 3,75   | 2,5                    | 1,75                | 1,25               |      |
| Освещение ( $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot 100 \text{ люкс})$ ): другие помещения  |   | 6,0   | 5,2  | 4,0                    | 3,3                 | 2,5                |      |
| Снижение яркости освещения при использовании дневного света   |   | Нет   | Нет  | Да                     | Да                  | Да                 |      |
| Датчик присутствия людей  |   | Нет   | Нет  | Да                     | Да                  | Да                 |      |
| Удельная мощность вентилятора ( $\text{Вт}/(\text{литр}/\text{с})$ ): централизованная, сбалансированная система вентиляции |   | 3   | 1,8  | 1,5                    | 1,1                 | 0,9                |      |
| Эффективность рекуперации тепла (%)   |   | 0   | 0  | 60                     | 70                  | 80                 |      |
| Сезонная энергоэффективность генератора тепла   |   | 0,65  | 0,84   | 0,9                    | 0,95                | 1,15               |      |
| Коэффициент сезонной энергоэффективности (SEER) генератора охлаждения   |   | —   | —  | —                      | —                   | —                  |      |
| Сезонная энергоэффективность водонагревателя  |   | 0,50  | 0,70   | 0,8                    | 0,90                | 0,95               |      |

Таблица 4.4. Параметры по умолчанию разных участков здания склада

| Зона                | Заполняемость (м <sup>2</sup> /на человека) | Тепло, выделяемое оборудованием (Вт/м <sup>2</sup> ) | Вентиляция (ach/ч) | Освещение (люкс) | ОВИК                |
|---------------------|---|--|--------------------|------------------|---------------------|
| Офисное помещение   | 14,29                                       | 10   | 0,84               | 500              | Радиатор            |
| Комната отдыха      | 9,09  | 5  | 0,1                | 150              | Радиатор            |
| Складское помещение | 100   | 2  | 0,032              | 300              | Воздушное отопление |
| Санузел             | 9,09  | 5  | 1,58               | 100              | Радиатор            |

### 4.5.3 Результаты теплового анализа

Всего было проведено 216 исследований. Годовая потребность в отоплении при эксплуатации зданий среднего размера показана на рис. 4.10, а зданий небольшого размера — на рис. 4.11. На этих рисунках представлены данные по зданиям с разной ориентацией и площадью, занимаемой зенитными фонарями, для базового варианта, современной, рекомендуемой, улучшенной и наилучшей практики.

Очевидно, что местоположение здания оказывает существенное влияние на общую потребность в отоплении. В Лондоне потребность в отоплении ниже, чем в Берлине и Хельсинки. По результатам анализа зданий, расположенных в трех разных городах, можно сделать вывод о том, что ориентация здания (север/юг и восток/запад) и процентное отношение площади зенитных фонарей к площади крыши (12 и 20 %) оказывают очень незначительное влияние на общую годовую потребность в отоплении. Влияние ориентации здания и процентного отношения площади зенитных фонарей было бы выше, если бы в анализе учитывались потребности в охлаждении и ограничении перегрева.

В целом результаты показывают, что реновация зданий позволяет добиться значительного энергосбережения. Максимальное энергосбережение обеспечивает вариант реновации в соответствии с наилучшей практикой. Тем не менее, решение о степени реновации и объеме работ (например, выбор современной, рекомендуемой, улучшенной или наилучшей практики) в значительной мере определяется факторами, обуславливающими проведение реновации здания. К ним относятся, в частности, государственные нормативные требования и приемлемый уровень окупаемости инвестиций в разных странах. Эмпирические данные о потребности в отоплении, полученные в результате этого исследования, были внесены в программу экономического обоснования, приведенную в разделе 7.

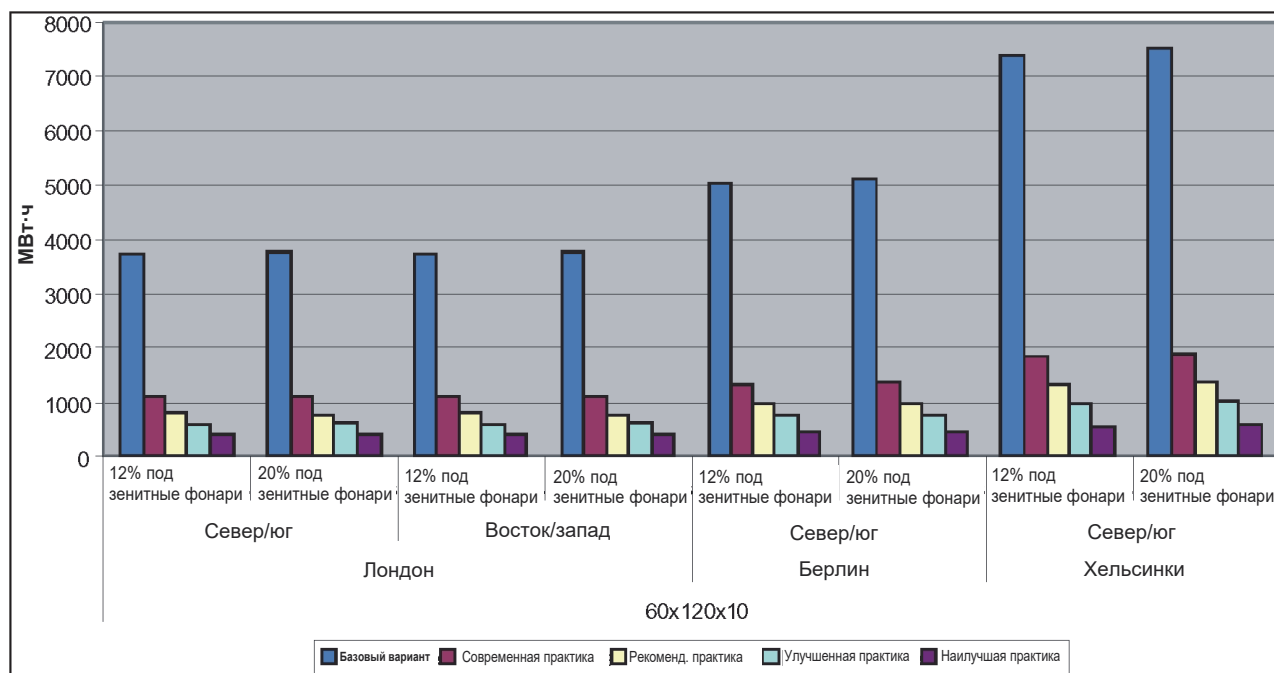


Рис. 4.10. Годовое энергопотребление одноэтажного складского здания размером 60 × 120 × 10 м



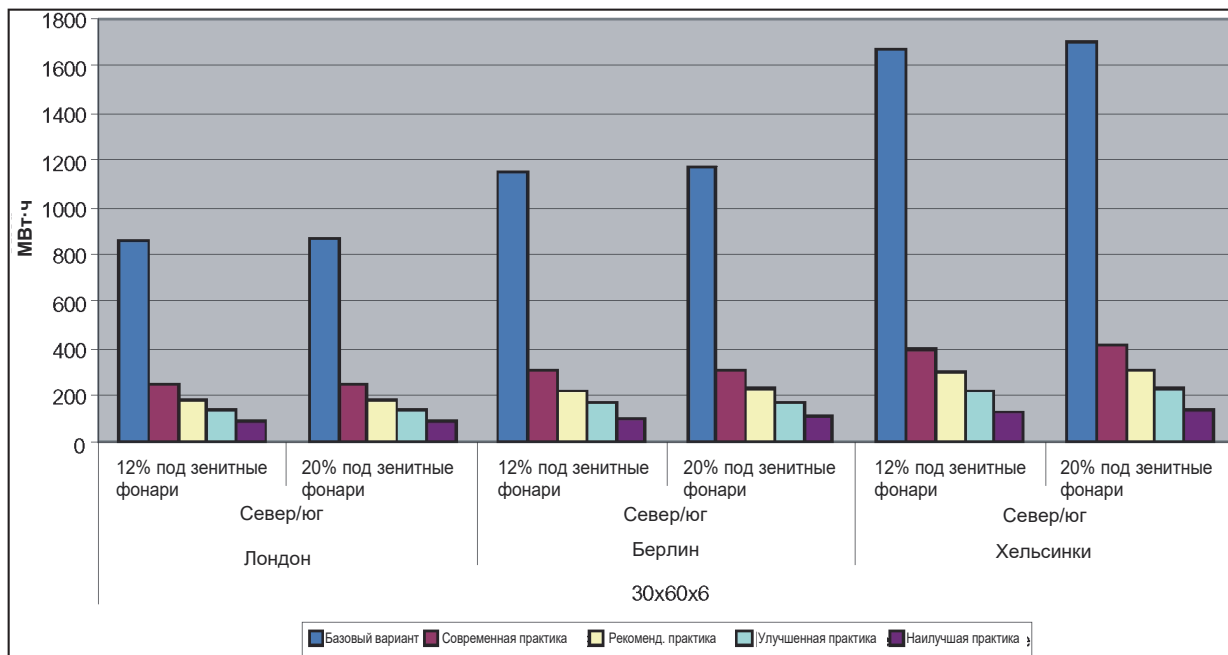


Рис. 4.11. Годовое энергопотребление одноэтажного складского здания размером 30 × 60 × 6 м (высота)

## 4.6 Практические примеры зданий до и после реконструкции

В рамках проекта был изучен ряд старых зданий, где проводились работы по улучшению ограждающих конструкций здания. Ниже приведена подборка этих исследований.

### 4.6.1 Практический пример 1. Поттерс Плейс, Скелмерсдейл, Великобритания

Постройка представляет собой промышленное здание 1960-х годов со стальным порталным несущим каркасом. Общая площадь здания составляет примерно 10 000 м<sup>2</sup>. В настоящее время оно не используется. В центре находится главный цех, а на периферии — офисные помещения и другие служебные зоны, в том числе туалеты, подсобное помещение и комната отдыха.

Как видно из рис. 4.12, существующие ограждающие конструкции в целом находятся в плохом состоянии. Существующая крыша состояла из минеральной ваты, помещенной между асбестоцементными листами и внутренней обшивкой из ДВП. Зенитные фонари — однослойные пластиковые. Стены нижнего уровня — кирпичная кладка из пустотелого кирпича без утепления. Над низкой стеной находится сборная фасадная система с теплоизоляцией из минеральной ваты, помещенной между двумя гофрированными асбестоцементными листами. И на крыше, и на стене были участки, где теплоизоляция либо отсутствовала, либо была мокрой и влажной. У здания были разного размера окна из металлического профиля с одинарным остеклением и оцинкованные двери-рольставни.

#### Общее описание работ по реконструкции

Реконструкция началась с демонтажа существующей облицовки стен и кровли асбестовыми листами. Была установлена сборная кровельная и стеновая система (*Platinum* от компании *Corus Panel and Profiles*) со встроенными зенитными фонарями с тройным остеклением. Окна были заменены на алюминиевые рамы с порошковым покрытием и двойным остеклением, а входные экраны — на рольставни с утепленными рейками. Существующая низкая стена (из пустотелого кирпича) и несущие бетонные плиты перекрытий, лежащие на грунте, были приведены в порядок и покрашены. Были заменены все существующие системы ОВиК, а в туалете, офисе и кухонной зоне установлены электрические отопительные панели. В основных корпусах системы отопления или вентиляции не устанавливались. Эта часть работ по внутреннему обустройству оставлена арендаторам.



Вид спереди



Вид сбоку

**Рис. 4.12.** Внешний вид Поттерс Плейс до реновации

### **Испытания на воздухопроницаемость и тепловизионное обследование**

Чтобы можно было провести достоверные измерения характеристик здания, связанных с утечкой воздуха, перед испытаниями заменили все разбитые оконные стекла и установили недостающие зенитные фонари. Кроме того, при подготовке к испытанию все отверстия для принудительной вентиляции (кроме вентиляторов или отверстий для дымоудаления) были герметично закрыты полиэтиленовой пленкой и самоклеящейся лентой. Испытания ограждающих конструкций здания на воздухопроницаемость проводились в соответствии с методом В стандарта EN 13829 [18]; тепловизионное обследование — в соответствии со стандартом EN 13187 [19].

Вентиляционная система состояла из двух стоящих на прицепах мощных вентиляторов с бензиновыми двигателями. Вентиляторы были герметично установлены в рольставни на заднем фасаде, как показано на рис. 4.13. Объемный расход этих вентиляторов составляет от 2,5 до 33 м<sup>3</sup>/с. Мощность вентилятора определялась согласно техническому стандарту АТТМА TS1 [20], в котором говорится, что вентилятор должен обеспечивать не менее 80 % требуемого объемного расхода воздуха при разности давлений 50 Па.



**Рис. 4.13.** Установка вентиляторов для испытания на воздухопроницаемость

Примерная воздухопроницаемость здания составила  $q_{50} = 27,04 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$  при разности давлений 50 Па, т. е. в здании чрезвычайно много утечек! Результат испытаний соответствует результатам базы данных компании Building Sciences Ltd, собранным на основе прошлых испытаний таких зданий. Они показали, что значения воздухопроницаемости существующих промышленных ангаров, построенных в период с 1960 по 1970 год, колеблются в пределах  $q_{50} = 25\text{--}30 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$  [21]. Это значительно выше, чем максимальные требования к воздухопроницаемости по стандартам Великобритании:  $q_{50} = 10 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$  (значение в соответствии с наилучшей практикой составляет  $q_{50} = 2 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ ).

Тепловизионное обследование проводилось во время испытания методом нагнетания воздуха, чтобы воспользоваться преимуществом сочетания естественной потери тепла и повышенного давления внутри здания, которое было искусственно создано вентиляторами и привело к увеличению проникновения воздуха снаружи.

## После реновации

Здание прошло полную реконструкцию, включая демонтаж всей существующей облицовки стен и крыши из асбестовых листов. Как показано на рис. 4.14, старая фасадная система здания была заменена на новую. Применялась сборная кровельная и фасадная система со встроенными зенитными фонарями с тройным остеклением. Окна были заменены на стеклопакеты с двойным остеклением, а входные двери — на рольставни с утепленными рейками. В таблице 4.5 приведено краткое описание различных частей здания, подвергнутых реновации.



Вид спереди



Вид внутри

**Рис. 4.14.** Модель Поттерс Плейс после реновации

**Таблица 4.5** Реновация или замена конструктивных элементов

| Конструктивные элементы         | Конструкция   |   |
|---------------------------------|---|---|
|                                 | До реновации  | После реновации   |
| Перекрытие первого этажа        | Литой бетон без утепления                                 | Литой бетон без утепления                               |
| Наружная низкая стена           | Стена из кирпича и блоков без утепления                   | Стена из кирпича и блоков без утепления                 |
| Облицовка наружной стены        | Асбестоцементный лист, пустое пространство, стальной лист | Сборная стальная фасадная система                       |
| Внутренняя стена                | Стена из кирпичной кладки, оштукатуренной с двух сторон   | Стена из кирпичной кладки, оштукатуренной с двух сторон |
| Внутреннее перекрытие           | Литой бетон   | Литой бетон   |
| Крыша                           | Асбестоцементный лист, пустое пространство, стальной лист | Сборная стальная фасадная система                       |
| Дверь для персонала             | Сталь, пустое пространство, стальная дверь                | Утепленная дверь со стальной облицовкой                 |
| Ворота для транспортных средств | Алюминиевая обшивка                                       | Утепленная дверь с алюминиевой облицовкой               |
| Наружное остекление             | Одинарное остекление, стальной каркас                     | Стеклопакет с двойным остеклением                       |
| Зенитные фонари                 | Лист поликарбоната в один слой                            | Лист поликарбоната в три слоя                           |

## Параметры теплового анализа Поттерс Плейс

В таблице 4.6 представлены основные параметры теплового анализа Поттерс Плейс. Предполагаемые параметры заполняемости, оборудования, освещения и систем ОВиК приведены в таблице 4.4. В здании предполагается естественная вентиляция.

**Таблица 4.6** Параметры теплового анализа промышленного здания

| Нет |  | Базовый вариант   | После реновации |      |
|-----|--|---|-----------------|------|
| 1   | Воздухонепроницаемость м <sup>3</sup> /(ч·м <sup>2</sup> ) при 50 Па | 27  | 10              |      |
| 2   | Коэфф. теплопередачи (Вт/м <sup>2</sup> К)                           | Полая стена   | 1,7             | 1,7  |
|     |  | Стеновая панель   | 2,3             | 0,35 |
|     |  | Внутренняя стена  | 1,0             | 1,0  |
|     |  | Крыша   | 1,95            | 0,25 |
|     |  | Перекрытие первого этажа                                  | 1,0             | 1,0  |
|     |  | Окно  | 6,3             | 2,20 |
|     |  | Зенитный фонарь   | 6,3             | 2,20 |
|     |  | Затенение от солнца (фактическое значение коэффициента g) | 0,85            | 0,56 |
|     |  | Входная дверь   | 3,0             | 1,60 |
|     |  | Ворота для въезда транспортных средств                    | 5,7             | 1,50 |
| 3   | Площадь зенитных фонарей   | %   | 20              | 20   |
|     |  | %   | 15              | ---- |
|     |  | %   | 10              | ---- |
| 4   | Значения Ψ мостиков холода (Вт/(м·К))                                | Желоб (ендова)  | 2,2             | 1,50 |
|     |  | Капельник (стена первого этажа)                           | 1,15            | 1,15 |
|     |  | Крыша — стена (карнизы + края крыши)                      | 0,60            | 0,60 |
|     |  | Стена — угловая стена                                     | 0,25            | 0,25 |
|     |  | Стена — не первый этаж                                    | 0,07            | 0,07 |
|     |  | Перемычка (окно/дверь)                                    | 1,27            | 1,27 |
|     |  | Подоконник  | 1,27            | 1,27 |
|     |  | Боковой откос (окно/дверь)                                | 1,27            | 1,27 |

Тепловое моделирование выполнено с помощью программного обеспечения SBEM (упрощенная модель энергопотребления здания), утвержденного в Великобритании на государственном уровне [22]. Для проведения анализа здание было разделено на четыре зоны (ангар, офис, комната отдыха и санузел). Был проведен анализ чувствительности применительно к влиянию основных параметров на общую теплоизоляцию здания базового варианта. Проанализированы следующие аспекты:

- базовый вариант (до реновации здания);
- местоположение (север, центральная часть, запад и юг Великобритании);
- воздухопроницаемость всего здания (27, 10 и 7 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup> при 50 Па);
- изменение коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций здания;
- процент площади зенитных фонарей (20, 15 и 10 %);
- теплоэффективные элементы;
- энергоэффективное освещение.

Последовательность проведения анализа можно в целом разделить на два этапа, описанных ниже.

- На первом этапе было проанализировано состояние «до реновации» по сравнению с «целью», исходя из местоположения здания, рассматриваемого в практическом примере (Манчестер). В графе «базовый вариант» отображается состояние до реновации, а в графе «цель» — ожидаемая после реновации теплоизоляция всего здания, которая должна соответствовать строительным нормам и правилам Великобритании [23].
- На втором этапе были выбраны другие места в Великобритании, в частности Глазго и Лондон.

Результаты этого анализа представлены в таблице 4.7.

**Таблица 4.7** Результаты теплового моделирования с применением различных наборов данных о погоде в Великобритании

|                |           | Прогнозируемое энергопотребление кВт·ч/м <sup>2</sup> /г. |                     |                              |           |                               |        |
|----------------|-----------|---|---------------------|------------------------------|-----------|-------------------------------|--------|
|                |           | Варианты  | Отопление помещений | Энергия на собственные нужды | Освещение | Горячая вода для бытовых нужд | Итого  |
| МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ | Манчестер | Базовый вариант   | 240,41              | 0,52                         | 46,47     | 0,84                          | 288,24 |
|                |           | Условное здание <sup>1)</sup>                             | 38,33               | 2,71                         | 50,95     | 0,94                          | 92,93  |
|                |           | Цель <sup>2)</sup>  | 29,32               | 2,07                         | 38,98     | 0,72                          | 71,09  |
|                | Глазго    | Базовый вариант   | 307,29              | 0,52                         | 46,47     | 0,84                          | 355,13 |
|                |           | Условное здание   | 51,13               | 2,71                         | 50,95     | 0,94                          | 105,74 |
|                |           | Цель  | 39,11               | 2,07                         | 38,98     | 0,72                          | 80,89  |
|                | Лондон    | Базовый вариант   | 195,64              | 0,52                         | 46,47     | 0,84                          | 243,48 |
|                |           | Условное здание   | 30,87               | 2,71                         | 50,95     | 0,94                          | 85,47  |
|                |           | Цель  | 23,62               | 2,07                         | 38,98     | 0,72                          | 65,38  |

**ПРИМЕЧАНИЯ:**

- 1) Условное здание (Сусл) — это здание, соответствующее требованиям строительных норм и правил Великобритании от 2002 г.
- 2) Цель = Сусл × (1 – показатель улучшения) × (1 – критерий соответствия LZC), где показатель улучшения = 0,15, а критерий соответствия низкому и нулевому уровню выбросов углерода LZC = 0,1 для отапливаемых зданий с естественной вентиляцией (включая здания с низкотемпературным отоплением). Таким образом, цель = 0,765 C<sub>усл</sub>

**Краткие выводы**

Из проведенных анализов можно сделать следующие выводы:

- общее энергопотребление зданий связано с их местоположением. Зданиям, расположенным на юге, требуется меньше энергии, чем расположенным на севере;
- общее энергопотребление типичного промышленного здания постройки 60–70-х годов в состоянии «до реновации» составляет около 288 кВт·ч/м<sup>2</sup>/г. Для соответствия строительным нормам и правилам Великобритании от 2006 г. необходимо сократить энергопотребление как минимум на 75 %;
- чтобы обеспечить соблюдение нормативов, принятых в Великобритании, ожидаемая теплоизоляция всего здания «после реновации» должна быть ниже целевого энергопотребления в размере 71 кВт·ч/м<sup>2</sup>/г.;
- улучшение показателей воздухопроницаемости всего здания с 27 до 10 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup> при 50 Па приводит к сокращению энергопотребления на 9 % по сравнению с базовым вариантом;
- улучшение коэффициента теплопередачи элементов крыши влияет на энергопотребление больше (на 28 %), чем такое же улучшение элементов стен (на 5 %);
- уменьшение площади зенитных фонарей оказывает незначительное влияние на энергопотребление;
- при реконструкции здания коэффициенты теплопередачи облицовки крыши, зенитных фонарей и ендовы оказывают наибольшее влияние на эксплуатационные характеристики всего здания. Благодаря усовершенствованию этих элементов энергопотребление сократилось на 49 % по сравнению с состоянием «до реновации»;
- для сокращения энергопотребления и выбросов CO<sub>2</sub> существующего фонда зданий обязательными являются: низкие коэффициенты теплопередачи, повышение воздухопроницаемости, использование элементов с улучшенной теплоэффективностью, энергосберегающего освещения и фотоэлектрических датчиков.

## 4.6.2 Практический пример 2. Милтон-Кинс, Великобритания

В отчете представлены результаты испытаний на герметичность и распространение дыма, которые проводились в двух промышленных ангарах (блоки 2-4 и 16) в г. Милтон-Кинс, Великобритания. Блок 2-4 еще не прошел реконструкцию, а блок 16 недавно был облицован с применением сборной кровельной и фасадной системы.

### Описание здания

Здания, которые участвовали в испытаниях, являются типовыми большими промышленными зданиями постройки 60–70-х годов со стальным порталным несущим каркасом. Они разделены блочными стенами на небольшие секции (двойные и одинарные блоки). Двойной блок 2-4 проходил испытания до реновации, а одинарный блок 16 — после реновации. Здания с низкими стенами из пустотелого кирпича были облицованы асбестоцементными листами. Над низкой стеной были установлены асбестоцементные листы в один слой. Кровля состояла из одинарных асбестоцементных листов. По ее центру проходит зенитный фонарь с одинарным остеклением, который спускается на северный фасад. На западной стороне здания в ряд расположены окна с одинарным остеклением. Плита перекрытия представляет собой несущую железобетонную плиту, лежащую на грунте.

Блоки 2-4 образуют двойной блок с общей площадью плит перекрытий около 1260 м<sup>2</sup>. Это двухэтажное промышленное здание прямоугольной формы с офисными помещениями на втором этаже, санузлами и большим складом с открытой планировкой на первом этаже (см. рис. 4.15).



*Вид спереди*



*Вид внутри*

**Рис. 4.15.** Практический пример Милтон-Кинс, блок 2-4, до реновации

Блок 16 одинарный, общая площадь плит перекрытий составляет около 630 м<sup>2</sup>. У него фактически такая же конструкция, как у блока 2-4, за исключением того, что он в два раза меньше и поверх его существующей облицовки асбестовыми листами была смонтирована теплоизоляция из минеральной ваты и наружная стальная обшивка, которая крепится к существующим ограждающим конструкциям стальными кронштейнами (рис. 4.16). Для крыши и стен использовалась теплоизоляция толщиной 180 и 120 мм, чтобы обеспечить соблюдение минимальных требований действующих строительных норм и правил Великобритании (коэффициенты теплопередачи крыши и стен 0,25 и 0,35 Вт/м<sup>2</sup>К соответственно). Низкие стены из пустотелого кирпича не утеплялись.



*Вид спереди*



*Вид внутри*

**Рис. 4.16.** Практический пример Милтон-Кинс, блок 16, после реновации

## Результаты испытаний на воздухопроницаемость

Воздухопроницаемость блока 2-4 составила  $q_{50} = 27,58 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  при разности давлений 50 Па, а воздухопроницаемость блока 16 –  $q_{50} = 26,36 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  при разности давлений 50 Па. Эти показатели лишь немного ниже, чем в аналогичном здании до реновации и значительно превышают требования к новым зданиям ( $< 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ).

В блоке 16 не обнаружены утечки через карнизы, углы, отверстия для инженерных коммуникаций, места нахлеста стальных листов и места торцевых соединений. Тем не менее было отмечено, что дым изнутри корпуса просочился через внутренние ограждающие конструкции и ушел за новую стальную облицовку. Затем он проникал наружу через стыки между окнами и облицовкой, дверями и облицовкой, а также в местах соединений стальной облицовки и кирпичной стены.

Были выявлены следующие пути утечки через ограждающие конструкции здания:

- зенитный фонарь на коньке крыши;
- ставни оконного остекления;
- притолоки окон/дверей;
- подоконники;
- под рольставнями;
- соединения стальной облицовки с кирпичной стеной;
- соединения зенитного фонаря с облицовкой;
- боковой откос окна/двери.

Существующая практика установки новой фасадной системы на старый фасад зданий не позволяет добиться приемлемых результатов. При обычных обстоятельствах лучше всего размещать на внутренней стороне ограждающих конструкций здания воздухопроницаемую мембрану. По данным предыдущих лабораторных и физических испытаний новых зданий, показатели воздухопроницаемости зданий со стальной облицовкой могут достигать значения менее  $3 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$  при 50 Па при условии, что стыки внутренней стальной обшивки хорошо герметизированы и служат воздухопроницаемой мембраной. Использование в качестве воздухопроницаемого барьера при реконструкции старых зданий только наружной облицовки не дает эффективных результатов. Таким образом, необходимо безотлагательно пересмотреть проектные решения по дополнительной облицовке существующих промышленных зданий.

Поэтому на основе этих выводов настоятельно рекомендуется до монтажа теплоизоляции и новой фасадной системы на старый фасад устанавливать отдельную воздухопроницаемую мембрану непосредственно на наружную поверхность старого фасада. Такая воздухопроницаемая мембрана должна быть «дышащей» (и создавать паропроницаемый барьер), чтобы обеспечить движение влаги через ограждающие конструкции и не допустить риска формирования конденсата и в то же время предотвратить утечку воздуха в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

### 4.6.3 Практический пример 3. Комплекс зданий L, Польша

Факультет машиностроения и аэронавтики (ME&A) Жешувского технологического университета (так называемый комплекс L) состоит из пяти зданий, соединенных между собой, и одного здания, стоящего отдельно (это лаборатория двигателей внутреннего сгорания). Эти трех- и пятиэтажные здания с фасадами из алюминия и стекла спроектированы более 25 лет назад. Руководство университета решило провести реновацию зданий из-за серьезных проблем с теплоизоляцией в зимнее время. Конструкция наружных стен комплекса зданий L до реновации первого и последующих этажей приведена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 Конструкция наружных стен комплекса зданий L

| Материал                         | Толщина | Теплопроводность                | Плотность                   | Огнестойкость                          |
|----------------------------------|---------|---------------------------------|-----------------------------|--|
|                                  | d [мм]  | $\lambda$ [Вт/м <sup>2</sup> К] | $\rho$ [кг/м <sup>3</sup> ] | R = d/ $\lambda$ [м <sup>2</sup> К/Вт] |
| 1 Гипсокартон                    | 10      | 0,23                            | 1000                        | 0,043                                  |
| 2 Минеральная вата (внутри стен) | 70      | 0,043                           | 60                          | 1,628                                  |
| 3 Алюминий                       | 5       | 200                             | 2700                        | ~0,000                                 |

Коэффициент теплопередачи наружных стен комплекса зданий L был принят как  $U = 0,543 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ . Это значение соответствует годовому энергопотреблению в размере примерно  $200 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$  в год, что характерно для этого местоположения в Польше.

Исходя из того, насколько холодно было в зданиях зимой, предполагалось, что минеральная вата внутри каркасных стен сползла вниз. Это было подтверждено термограммами (рис. 4.17).

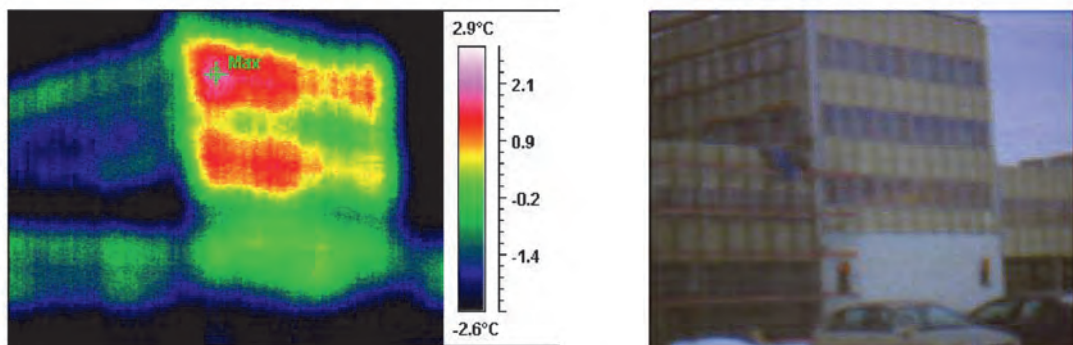


Рис. 4.17. Термограмма и фотография стен зданий L, подвергавшихся испытаниям (до реновации)

Обследование стен после улучшения теплоизоляции показало, что через участки фасада по-прежнему происходят большие потери тепла, например через старые окна, которые не были заменены на первом этапе реновации. Максимальная температура стены (указанная непосредственно на рис. 4.17) равна 0 °С при температуре на улице - 6.1 °С. Относительно высокая температура окон, расположенных на южной стороне здания, объясняется тем, что за пару часов до проведения измерений они были освещены солнцем.

Во время реновации подтвердилось, что минеральная вата внутри несущего каркаса опустилась вниз. Теплоизоляция стен улучшилась благодаря новой теплоизоляции на основе слоя минеральной ваты толщиной 200 мм (ранее толщина была 70 мм). Коэффициент теплопередачи составил 0,333 Вт/м<sup>2</sup>К. На рис. 4.18 показаны термограммы после реновации.

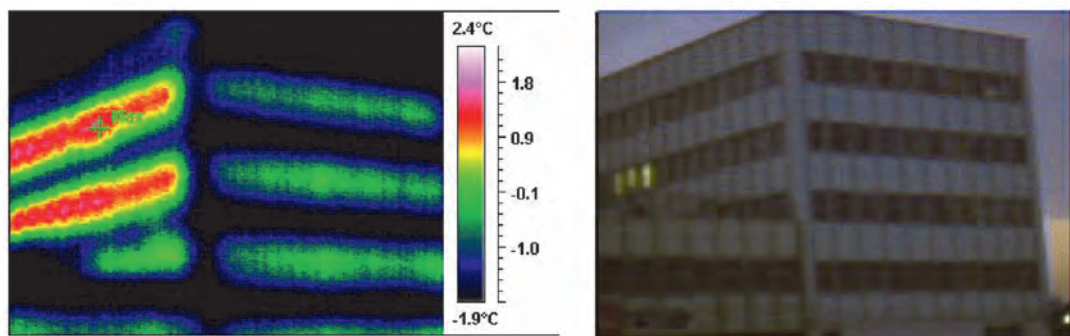


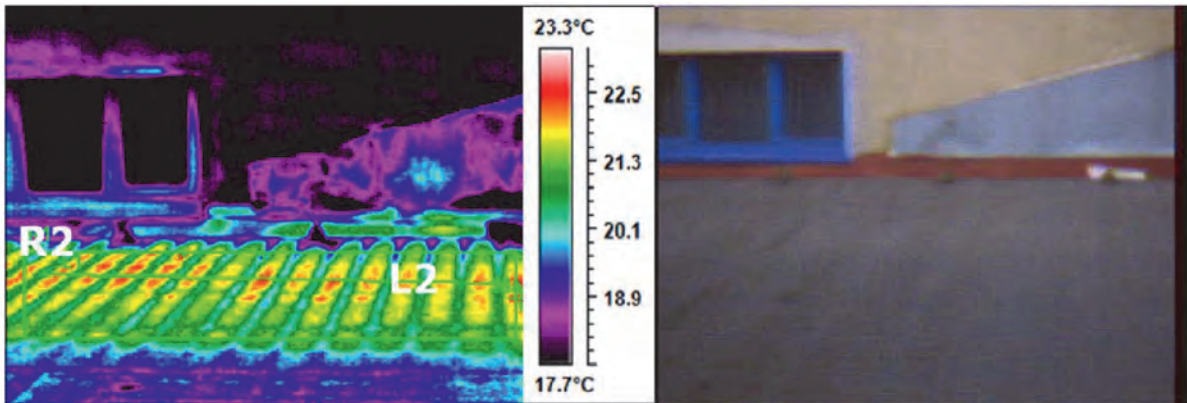
Рис. 4.18. Термограмма и фотография зданий L (после реновации)

#### 4.6.4 Практический пример 4. Цех по производству авиационной техники, Польша

Была изучена теплоизоляция крыш и фасадов производственного цеха авиационной компании. Здание расположено в городе Глогув-Малопольски, в нескольких километрах от Жешува. Оно довольно старое и в настоящее время эксплуатируется. Производственный цех построен на базе стального каркаса. Крыша с наружной стороны состоит из стальных профлистов, слоя теплоизоляции (минеральной ваты) и фольги.

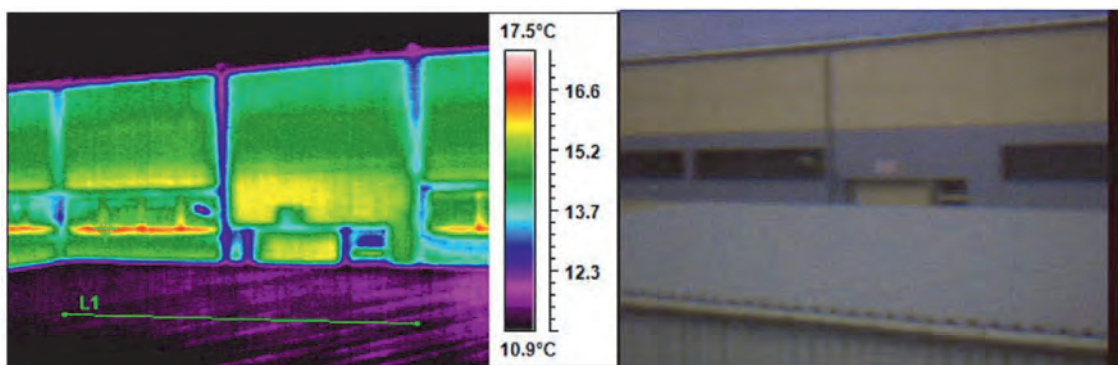
На термограмме на рис. 4.19 виден большой разброс температур на поверхности крыши. Стыки фольги и все узлы отмечены черным цветом, а розовые участки соответствуют местам с наилучшей теплоизоляцией. Средняя температура поверхности остальной части крыши из-за плохой теплоизоляции составляла 26,7 °С. Во время измерений температура на улице была 9,0 °С.





**Рис. 4.19.** Крыша производственного цеха (здание В до реновации)

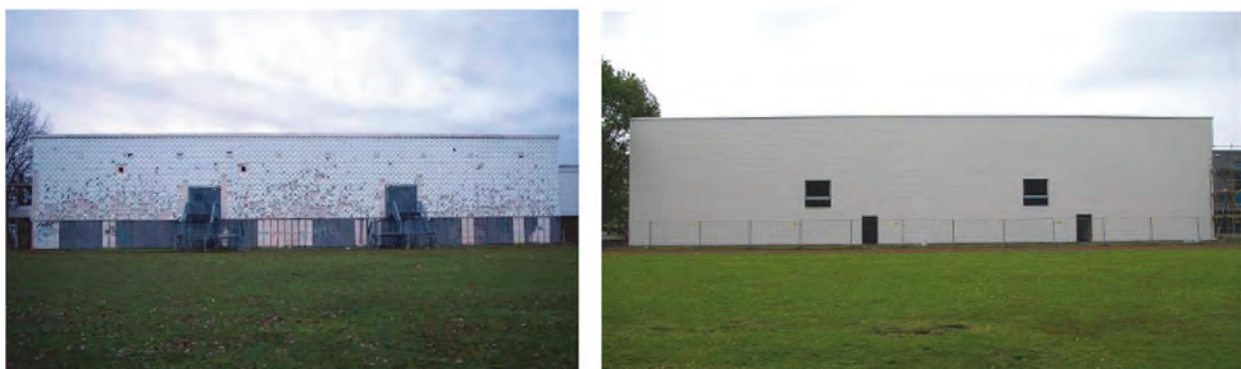
На рис. 4.20 показана крыша и стены здания В после реновации. При средней температуре на улице +10 °С температура на поверхности крыши находится в пределах от +9,7 до +10,4 °С.



**Рис. 4.20.** Крыша и стены производственного цеха (здание В после реновации)

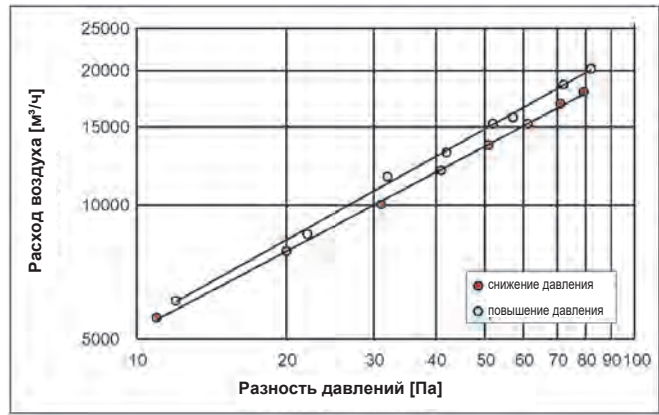
#### 4.6.5 Практический пример 5. Спортивный зал, Германия

Спортивный зал, построенный в основном из газобетона в начале 1970-х годов, нуждался в реновации. Был выбран вариант установки новой фасадной системы с применением стальных сэндвич-панелей на старый фасад. Еще одно важное преимущество этого решения заключается в том, что оно позволяет снизить ветровую нагрузку на существующий фасад, поскольку композитные панели способны передавать нагрузки в боковом направлении на колонны. На рис. 4.21 показано здание до и после реновации (хотя окон еще нет).



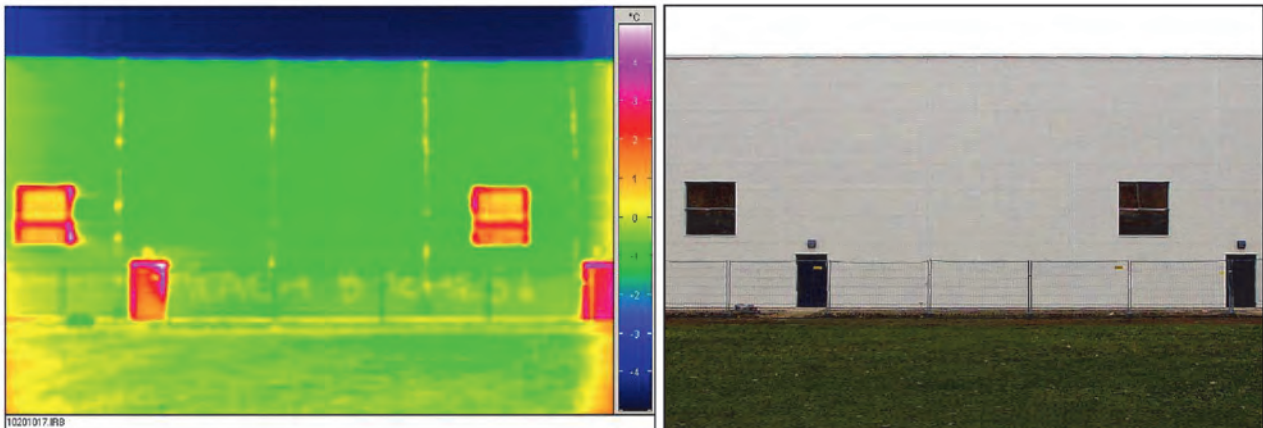
**Рис. 4.21.** Спортивный зал (слева: до реновации, справа: после не полностью завершённой реновации)

До реновации было выполнено тепловизионное обследование. Предпринималась также попытка провести испытание на воздухопроницаемость, но в здании было настолько много утечек, что она не увенчалась успехом! После реконструкции снова провели тепловизионное обследование и испытание на воздухопроницаемость. Испытание показало хороший уровень воздухопроницаемости: значение  $n_{50}$  составило  $0,63 \text{ ч}^{-1}$  (рис. 4.22). Это значительно ниже требований, установленных в Германии ( $1,5 \text{ ч}^{-1}$ ), и почти соответствует уровню стандарта для пассивных домов ( $0,6 \text{ ч}^{-1}$ ).

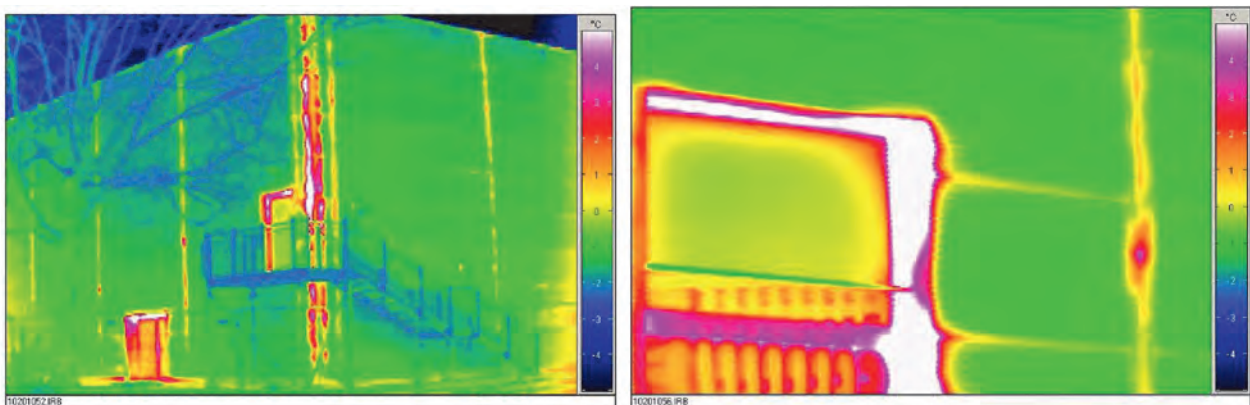


**Рис. 4.22.** Испытание на воздухопроницаемость с использованием трех вентиляторов (слева), результат (справа)

На термограммах видно, что состояние типовых элементов (фундамента, парапета) довольно хорошее (рис. 4.23). Хотя функционирование и состояние различных деталей в целом хорошее, при проведении тепловизионных обследований и испытаний на воздухопроницаемость были выявлены некоторые слабые участки. Так, есть утечки в местах соединения вертикальных фасадных конструкций и на откосах (рис. 4.24).



**Рис. 4.23.** Термограмма после реновации (темп. снаружи -3 °С, темп. внутри 23 °С)



**Рис. 4.24.** Термограмма после реновации (темп. снаружи -3 °С, темп. внутри 23 °С)

## 4.7 Указания по установке новой крыши поверх старой и установки новой фасадной системы поверх старого фасада

Существует много одноэтажных зданий с однослойными фасадными системами из металла или других материалов, нуждающихся в установке новой крыши на старую для повышения устойчивости

к погодным условиям, улучшения внешнего вида и повышения теплоизоляции. Во многих из этих промышленных зданий невозможно надолго прервать производственный процесс, поэтому установка новой крыши поверх старой является очень экономичным решением. В большинстве случаев владельцы промышленных зданий считают приемлемыми только очень короткие сроки окупаемости, поскольку (прогнозируемый) срок службы таких здания составляет, как правило, 30 лет. Кроме того, затраты на реконструкцию должны быть сбалансированы с инвестициями в усовершенствование производственных процессов и оборудования, что обычно интересует компанию больше всего.

Как следствие, необходимы технические решения по устройству дополнительной кровли и облицовки с низкими капитальными затратами. Такие решения рассмотрены ниже.

#### 4.7.1 Установка новой фасадной системы на старый фасад одноэтажных зданий

**Стальные сэндвич-панели.** На стены из бетона или блоков можно устанавливать стальные сэндвич-панели. Для их крепления и регулировки требуются дополнительные стальные профили. Возможный уровень теплоизоляции зависит от толщины и свойств сэндвич-панелей, можно добиться коэффициента теплопередачи 0,15 Вт/м<sup>2</sup>К.

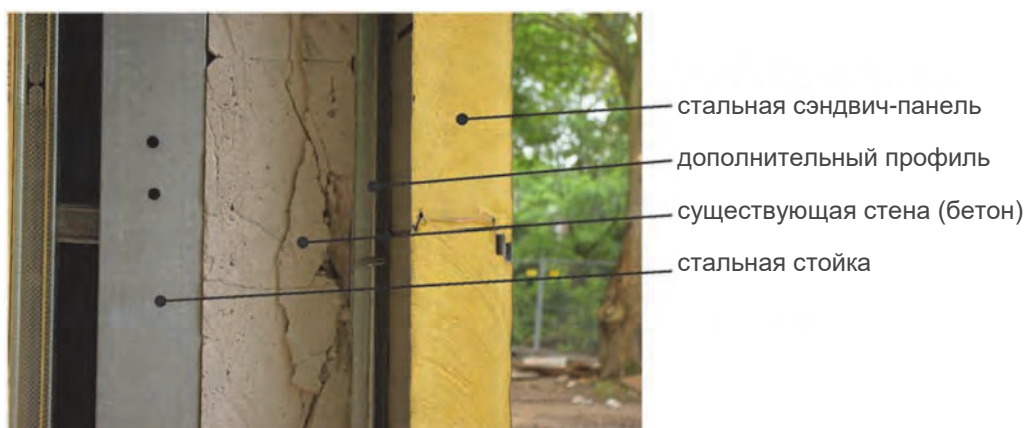


Рис. 4.25. Бетонная стена, облицованная при реконструкции стальными сэндвич-панелями

**Кассетные или сборные стены.** Теплопередача через кассетные стены, которые собираются на строительной площадке, сильно зависит от наличия мостиков холода. Поэтому, чтобы устранить утечки тепла через эти участки, необходимо обеспечить дополнительную теплоизоляцию. Если наружная облицовка демонтирована, можно использовать два варианта: а) дополнительная теплоизоляция и обшивка профлистом (рис. 4.26, слева) или б) обшивка стальными сэндвич-панелями снаружи (рис. 4.26, справа). В зависимости от материалов, из которых первоначально изготовлена стена, и дополнительной теплоизоляции можно добиться коэффициента теплопередачи ниже 0,25 Вт/м<sup>2</sup>К.



Рис. 4.26. Установка новой фасадной системы с применением кассет или сэндвич-панелей (слева и справа соответственно) на старый фасад

#### 4.7.2 Установка новой крыши одноэтажных зданий на старую

Во многих случаях на одноэтажные здания возможно установить новую крышу поверх старой с помощью самонесущих элементов, например стальных сэндвич-панелей (см. рис. 4.27, слева). В таком случае могут потребоваться новые прогоны, особенно если существующие прогоны изношены или не рассчитаны на дополнительную нагрузку. Под новой облицовкой сохраняются существующие ограждаю-

щие конструкции, так что это не мешает эксплуатации здания. Также используется сборная кровельная система, которая устанавливается поверх имеющейся кровли (см. рис. 4.27, справа). Опорные кронштейны для новой сборной системы крепятся к существующим прогонам, а новая теплоизоляция и настил крыши крепятся стандартным способом. В обоих случаях можно обеспечить высокий уровень теплоизоляции, хотя вдоль горизонтальных направляющих и в местах узлов остаются мостики холода.



**Рис. 4.27.** Установка новой крыши с использованием композитных панелей (слева) и сборной кровельной системы (справа) поверх старой

#### 4.7.3 Требования к проектным решениям по установке новой крыши поверх старой и новой фасадной системы поверх старого фасада одноэтажных зданий

К проектным решениям по установке новой крыши поверх старой и новой фасадной системы поверх старого фасада предъявляются следующие требования.

**Устойчивость конструкции.** Новые фасадные и кровельные системы и их опорные конструкции должны быть спроектированы таким образом, чтобы выдерживать дополнительные нагрузки: собственный вес новой облицовки и инженерных коммуникаций на крыше, а также любые дополнительные ветровые нагрузки, рассчитанные в соответствии с современными строительными нормами. На местный напор ветра также может повлиять любое изменение формы крыши после реновации. И вероятно, что выполнение проектного решения в соответствии со стандартом EN 1991-1-4<sup>24</sup> приведет к более высоким значениям местного напора, чем в соответствии с прежними нормами.

**Теплоизоляция.** Энергопотребление типового одноэтажного промышленного здания, построенного по современным стандартам, составит всего около 20 % от энергопотребления здания по стандартам 1970-х годов. Улучшение коэффициента теплопередачи элементов крыши влияет на общее энергопотребление больше (на 28 %), чем такое же улучшение элементов стен (на 5 %). Влияние на энергопотребление площади зенитных фонарей (а потери тепла через остекление выше, чем через утепленную кровлю) компенсируется экономией электроэнергии за счет эффективного использования дневного света и дополнительно поступления солнечного тепла.

Обеспечиваемый уровень теплоизоляции зависит от толщины сэндвич-панели или теплоизоляции из минеральной ваты, уложенной между направляющими, как показано на рис. 4.27. При применении сэндвич-панели толщиной 100 мм можно добиться коэффициента теплопередачи 0,2 Вт/м<sup>2</sup>К, а при использовании минеральной ваты для достижения такого же значения потребуется слой толщиной 200 мм. Кроме того, направляющие и кронштейны сборной системы — это места, где будут возникать мостики холода. Необходимо учитывать, что это может увеличить потери тепла на 10 %.

**Воздухонепроницаемость новой крыши и новых фасадных систем.** Если воздухонепроницаемость новых ограждающих конструкций здания существенно не улучшилась, могут возникать вентиляционные потери (проникновение холодного воздуха внутрь здания). Улучшение показателей герметичности всего здания с 27 до 10 м<sup>3</sup>/ч·м<sup>2</sup> при 50 Па приводит к сокращению энергопотребления на 9 % по сравнению с базовым вариантом.

Испытания на воздухонепроницаемость, проведенные в ходе этого исследования, показали, что установка новой крыши поверх старой с использованием сборных кровельных и фасадных систем часто бывают не очень герметичными из-за большого количества стыков, например в местах примыкания крыши и стены, местах установки зенитных фонарей, на коньке и фронтонах крыши. Сэндвич-панели более герметичны, чем сборные системы.

Рекомендации по обеспечению высокого уровня воздухонепроницаемости при реновации одноэтажных зданий приведены в разделе 4.4.4. В этих рекомендациях, основанных на передовом опыте, подчеркивается важность устройства эффективных уплотнений вокруг мест возможной утечки воздуха.

# 5 ПРОГРАММА № 3: СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ НАДСТРОЕК ЗДАНИЙ

Рабочие отчеты по этой программе доступны по ссылке [www.steel-renovation.org](http://www.steel-renovation.org)

## 5.1 Цели

Во многих европейских городах не хватает свободной земли, поэтому возникают сложности с расширением зданий и их приспособлением к удовлетворению новых социальных и экономических потребностей. В этом разделе проекта рассматриваются технические аспекты следующих видов реновации с применением стальных конструкций:

- расширение конструкции как по вертикали, так и по горизонтали (надстройка и пристройка);
- изменение назначения здания.

С надстройками на крыше или пристройками связаны особые вопросы, требующие знания прочностных характеристик старого здания и устройства узлов соединения между новой и существующей конструкцией. Также изучаются вопросы безопасности, технической возможности реализации проекта и строительно-монтажных работ. При этом необходимо учитывать конкретные технические и экономические требования каждой отрасли строительства.

## 5.2 Обзор последних проектов

Был проведен обзор последних проектов в Европе по организации надстроек жилых, коммерческих, офисных и промышленных зданий. В большинстве проектов реновация заключается в сохранении основной части здания (несущего каркаса, главного фасада и т. д.) и его модификации, чтобы здание могло выдержать дополнительную нагрузку. Примеры надстройки зданий с применением стальных конструкций показаны на рис. 5.1 и 5.2.



Установка новой крыши поверх старой и новой фасадной системы на старый фасад четырехэтажного жилого здания в Дании



Проект по возведению надстройки на крыше в Роттердаме

**Рис. 5.1.** Надстройки жилых зданий

Для обозначения масштабных или поверхностных работ по реновации используются термины «капитальные» или «легкие». Зачастую реновация проводится, чтобы повысить удобство, безопасность или улучшить эстетику здания. В этом случае работы называют «легкими». Если вносятся конструктивные изменения, реновация называется «капитальной» или масштабной.

Старое здание можно расширить по горизонтали или по вертикали. Исходная ситуация зависит от нескольких факторов:

- назначение старого здания: жилое, коммерческое, общественное здание и т. д.;
- расположение здания: центр города, пригород или сельская местность;
- качество здания: состояние материалов, а также такие аспекты, как тепло- и звукоизоляция.



Надстройка промышленных мастерских — предприятие общественного транспорта, пригород Парижа



Двух- и трехэтажная надстройка Жешувского технологического университета, Польша

**Рис. 5.2.** Надстройки промышленных и офисных зданий

Преобразование здания часто подразумевает изменение его назначения. При переводе офисных зданий в жилые изменяются нагрузки и условия, применяются новые требования к теплоэффективности, пожарной безопасности, санитарные и другие требования. В таблице 5.1 представлено краткое описание факторов, лежащих в основе проектов по расширению зданий или изменению их назначения, а также приводятся связанные с ними критерии и нормативные документы.

Самым распространенным является вертикальное расширение, то есть возведение надстроек. Оно технически сложнее, чем организация пристроек, и может включать в себя как установку новой крыши поверх старой, так и создание нового обитаемого пространства. Горизонтальное расширение, то есть строительство пристроек, может включать в себя устройство балконов, лифтов и лестничных клеток.

Первым этапом разработки проектного решения по расширению является оценка несущей способности старого здания. Два основных преимущества стальных конструкций — скорость монтажа и легкость новой конструкции. Кроме того, их можно устанавливать между прочными элементами существующей крыши.

**Таблица 5.1** Факторы, лежащие в основе реновации здания путем его расширения

| Факторы, лежащие в основе реновации здания путем его расширения            | Основные критерии для принятия первоначального решения | Соответствующий стандарт или нормативный документ         |
|--|--|---|
| Надстройки на крыше для увеличения пространства                            | Несущая способность старого здания                     | Нормативы, касающиеся конструкций и теплоизоляции         |
| Расширение здания  | Подходящее место                                       | Нормативы по городскому планированию                      |
| Изменение назначения (здания)  | Экономические  | Все (но не напрямую)                                      |
| Повышение энергоэффективности  | Экономические предпосылки или изменение назначения     | Нормативы, касающиеся теплоизоляции                       |
| Модернизация в соответствии с новыми нормативами                           | Энергоэффективность/пожарная безопасность              | Нормативы, касающиеся теплоизоляции/пожарной безопасности |
| Новые лифты, лестничные клетки, балконы                                    | Экономические и благоустройство объектов               | Нормативы по городскому планированию                      |
| Сохранение объекта из списка памятников национального культурного наследия | Эстетические, например внешний вид фасада              | Все (но не напрямую)                                      |
| Обветшание старого здания  | Укрепление здания или остановка процесса обветшания    | Нормативы, касающиеся конструкций                         |

### 5.3 Оценка возможности реализации проекта и изучение технических вопросов

Цель технико-экономического обоснования заключается в обеспечении основы для принятия инвестором решения о целесообразности реализации проекта. Основными темами для изучения, помимо экономических аспектов, являются следующие:

- нормативные документы по градостроительному планированию и особые вопросы, касающиеся эстетики и вписывания здания в визуальный облик города;
- характеристики старого здания;
- технические вопросы, например конструкции, теплоизоляция, пожарная безопасность.

Данное исследование сосредоточено главным образом на требованиях к надстройкам, так как их возведение увеличивает нагрузку на существующую конструкцию, влияет на пожарную безопасность и затрагивает различные аспекты единства архитектуры здания и его интеграции в городскую среду.

Для любого проекта расширения здания большое значение имеют местные законодательные и нормативные акты. При общем рассмотрении различных государственных нормативов выделяются некоторые местные отличия. Тем не менее, как правило, необходимо учитывать следующие важные моменты:

- в соответствии с местными планами могут накладываться ограничения, связанные с внешним видом, высотой, формой крыши и назначением здания;
- высота здания также связана с проблемой естественного освещения. Новое здание должно быть расположено так, чтобы не закрывать естественный свет соседним зданиям;
- здание может быть зарегистрировано как исторический памятник. В этом случае необходимо учесть в проекте ограничения, связанные с внешним видом фасадов и крыши;
- при увеличении плотности застройки могут потребоваться новые колонны.

Большое влияние на выбор конструктивного решения по расширению оказывают характеристики старого здания. При проведении исследования по европейским странам была собрана информация о наиболее часто встречающихся размерах здания и ключевых требованиях основных нормативных документов, касающихся проектирования конструкций, пожарной безопасности, теплоизоляции и т. д.

Созданная база данных типовых характеристик существующих жилых зданий представлена в таблице 5.2.

Подробно изучен практический пример на основе проекта по возведению надстройки. Это трехэтажное здание и в исследовании рассматривается пристройка с двумя видами крыши. В рамках этой модели (рис. 5.3) было определено 8 ключевых пунктов. Они являются потенциально критическими с точки зрения соблюдения особых требований к следующим соединениям.

1. Основание колонны (конструкция) и наружная обшивка (фасад) между старым и новым зданиями.
2. Соединение (вертикальное или горизонтальное) между новой скатной крышей и существующей частью.
3. Узел нового балкона.
4. Соединение между плоской крышей и существующей стеной.
5. А также соединение (вертикальное или горизонтальное) между новой скатной крышей и существующей частью.
6. Вертикальные и горизонтальные соединения вдоль пристройки.
7. Все виды стыков, например компенсационный или деформационный шов.
8. Стандартные формы: уголки для ограждающих конструкций и расположение связей для конструкции.

Первый этап оценки касался существующих несущих элементов (тип материалов, конструктивные элементы и функции). На втором этапе изучались характеристики опор (возраст и качество, требования к новому проектному решению). И, наконец, рассматривалось влияние современных нормативных документов.

Таблица 5.2 Стандартные размерные характеристики жилых зданий

| Стандартные критерии планирования размеров |                                    |          |                              |               |                |
|--|------------------------------------|----------|------------------------------|---------------|----------------|
| Соответствующий фактор размера             |                                    | Ед. изм. | Наиболее распространенный    | Нижний предел | Верхний предел |
| Высота от перекрытия до перекрытия         |                                    | м        | 2,7–2,8                      | 2,5           | 3              |
| Внутренняя высота помещения                |                                    | м        | 2,4                          | 2,3           | 2,7            |
| Стандартное количество этажей              | Дома                               | этажи    | 2                            | 1             | 3              |
|  | Жилые здания                       | этажи    | 4–6<br>(без лифта > 4 этажа) | 3             | 8              |
| Толщина плит перекрытий                    | Дома                               | мм       | 200                          | 120           | 300            |
|  | Жилые здания                       | мм       | 400                          | 350           | 500            |
| Высота здания                              | Дома                               | м        | 8,5                          | ?             | 10             |
|  | Жилые здания                       | м        | 12–13                        | 10            | 17             |
| Пролеты перекрытий                         | Дома                               | м        | 3,3–4,5                      | 3             | 5              |
|  | Жилые здания                       | м        | 4,2–5                        | 3             | 7,5            |
| Стандартный размер (Д × Ш)                 |                                    | Д × Ш    | 5 × 2,3                      | 4,8 × 2,3     | 5 × 2,5        |
| Пользователь с ограниченными возможностями |                                    | Д × Ш    | 5 × 3,6                      | 4,8 × 3,6     | 5 × 3,6        |
| Вспомогательная опора для фасада           |                                    | м        | 0,6                          | 0,6           | 0,9            |
| Планируемые размеры                        |                                    | м        | 0,6                          | 0,3           | 1,2            |
| Форма крыши                                | Плоская крыша многоэтажного здания | °        | 0                            | 0             | 5              |
|  | Скатная крыша                      | °        | 35–40                        | 15            | 50             |

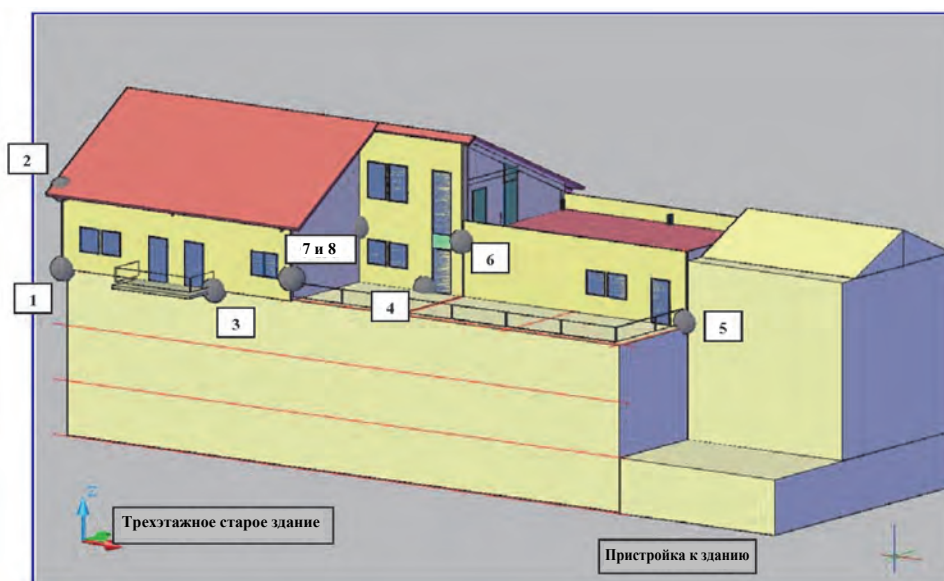


Рис. 5.3. Практический пример надстройки: стандартная схема, на которой показаны основные соединения

## 5.4 Соединение надстройки со старым зданием

Очень важны узлы между элементами из стали и других материалов в местах соединения надстройки и старого здания. Что касается несущего каркаса конструкции, для выбора оптимального способа соединения новой надстройки и старого здания необходимо оценить определенные аспекты. Места соединений должны выдерживать дополнительные нагрузки, указанные ниже.

- Новая горизонтальная нагрузка: ветровая нагрузка на увеличившееся здание, рассчитанная согласно новым нормам.
- Новая вертикальная нагрузка: собственный вес, переменная нагрузка, локальные нагрузки, эксплуатационные нагрузки, нагрузки связанные с инженерными коммуникациями и облицовкой и т. д.



### 5.4.1 Стальная колонна и бетонная стена (узловое соединение)

На рис. 5.4 представлены различные варианты, когда новая колонна опирается на существующую бетонную стену или колонну. В случае опоры на парапет, рис. 5.4 (а), даже при применении шарнирного соединения нагрузка на основание парапета будет представлять собой вертикальную нагрузку, сдвигающую нагрузку и момент, который может быть довольно значительным на слабом участке парапета, если он потерял прочность из-за длительного воздействия погодных условий. Более того, для жесткого соединения приложенный момент также будет относительно высоким.

При опирании на обычную наружную стену, рис. 5.4 (б), зона конструкции также является более жесткой благодаря горизонтальной плите и балке, а с учетом жесткости плиты перекрытия можно принять жесткое соединение. При установке колонны на середину плиты перекрытия, рис. 5.4 (в), равновесие моментов между левой и правой сторонами пролетов на опоре приведет к воздействию на узел низкого момента в состоянии равновесия. Этот вариант также применим к промежуточной опоре двухпролетного порталного несущего каркаса.

#### Новая стальная колонна на существующей опоре

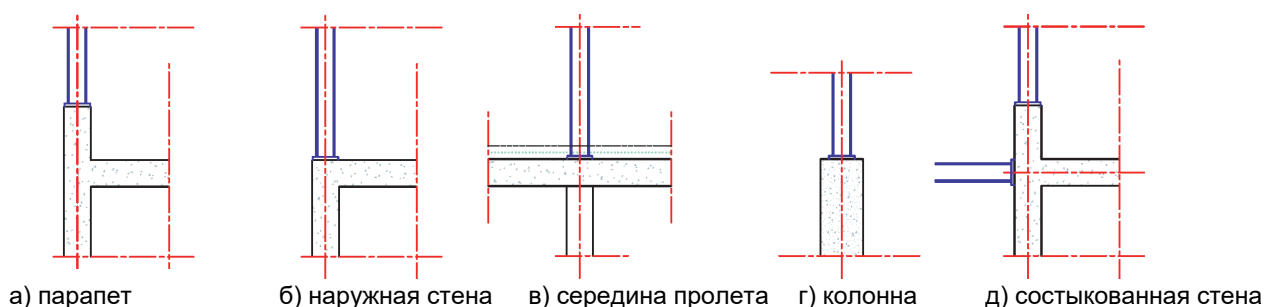


Рис. 5.4. Различные типы узлов: соединение колонны с бетонной стеной

Возможны следующие типы узлов.

- **Шарнирный узел:** два анкера или арматурных стержня, которые по возможности соединяются с существующими арматурными стержнями; такой узел считается шарнирным.
- **Жесткий узел:** четыре анкера должны быть размещены на соответствующем расстоянии друг от друга для восприятия момента, чтобы узел считался жестким. Толщина торцевой пластины должна соответствовать действующим на растяжение усилиям, которые оказывают анкеры.

Для бетонной стены толщиной 200 мм следует учитывать минимальный защитный слой в 40 мм до наружных арматурных стержней или анкеров, то есть расстояние между ними не должно превышать 100 мм. В этом случае нецелесообразно выдерживать значительный момент и требуется более толстая стена.

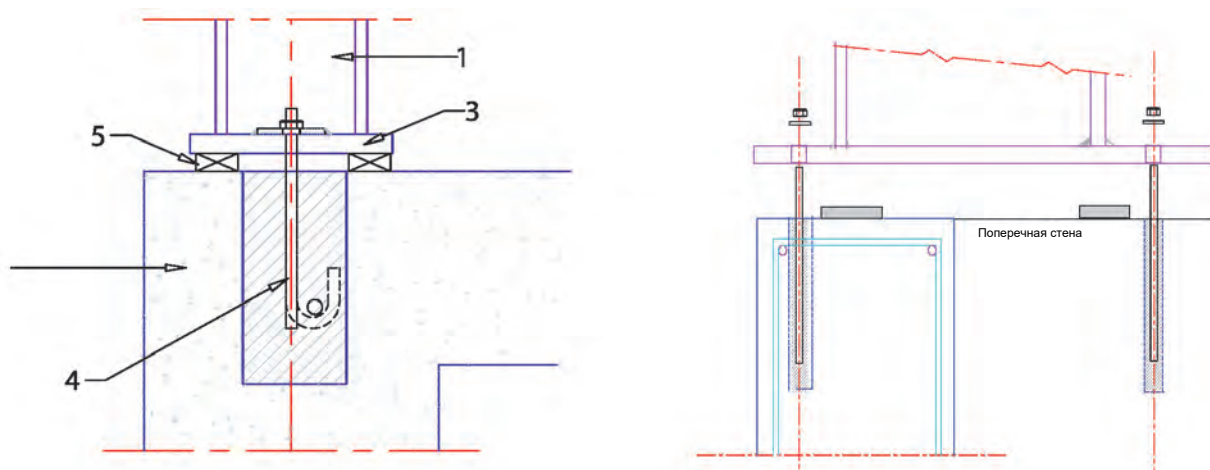
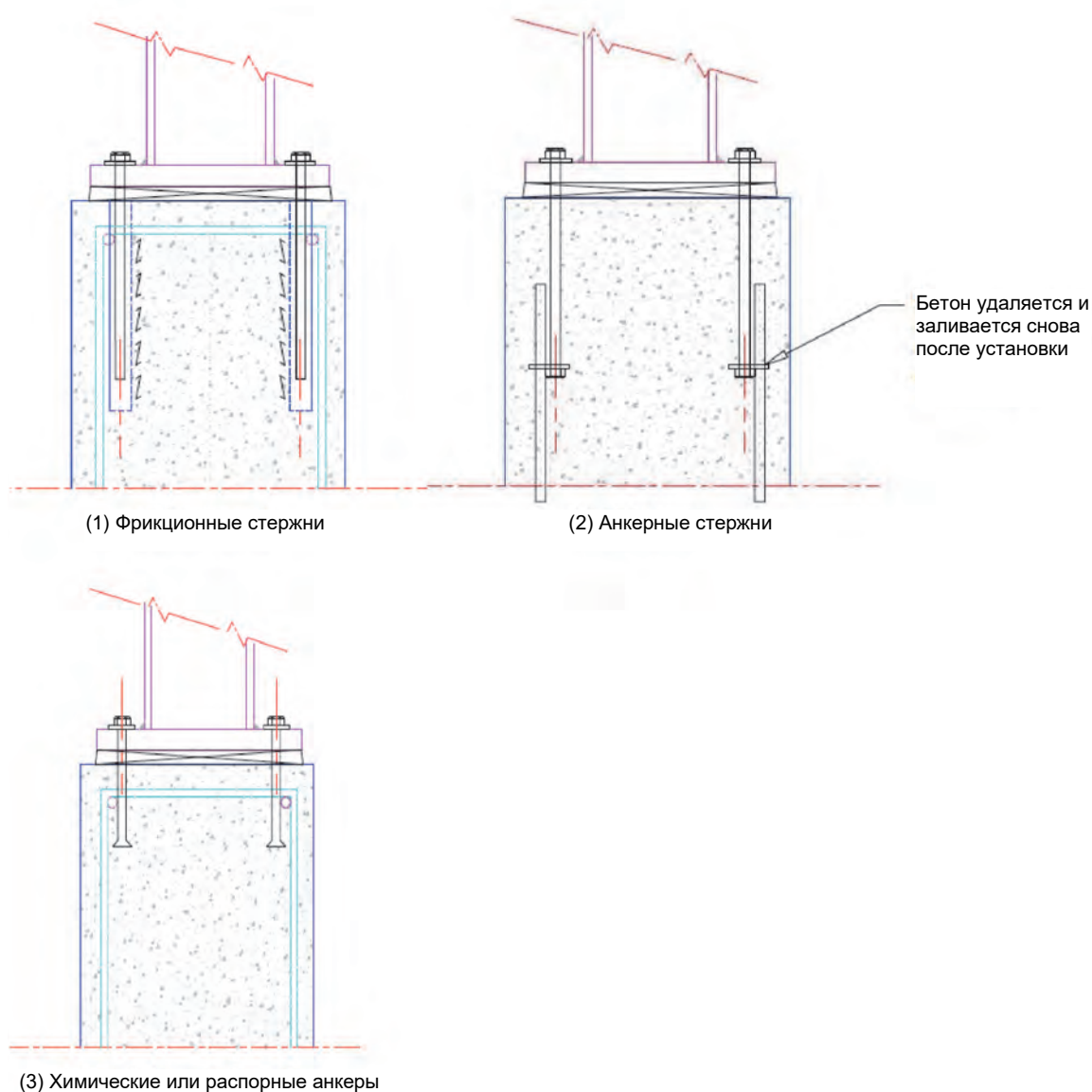


Рис. 5.5. (а) Шарнирный узел и (б) жесткий узел  
1. Стальная колонна 3. Пластина узла 4. Анкер 5. Клин

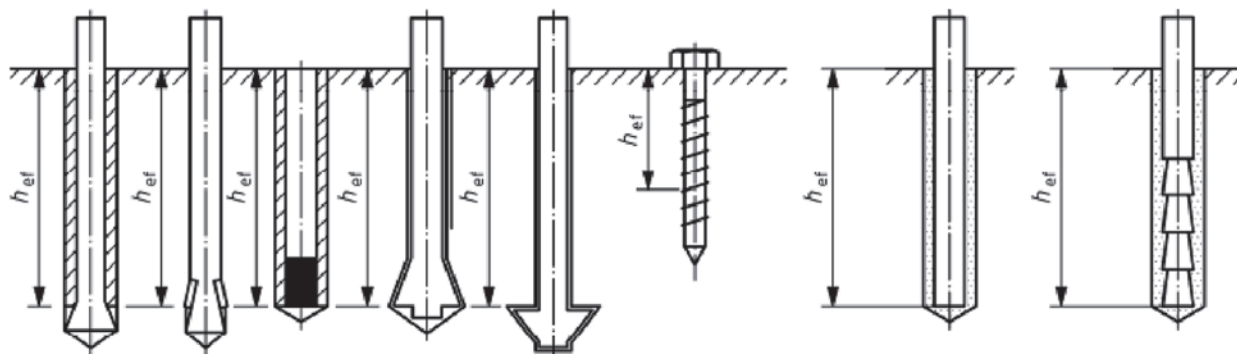
Продолговатые отверстия позволяют отрегулировать большие допуски в одном направлении. Для этого нужны специальные шайбы, предназначенные для работы в условиях изгиба и сдвига.

Были изучены три различных типа узлов с разной степенью требуемой жесткости соединения. Они показаны на рис. 5.6 ниже.



**Рис. 5.6.** Узел бетон/сталь: фрикционные стержни, торцевая пластина, анкеры

Руководство по применению анкеров приводится в стандарте CEN/TS 1992-4-2:2009 [25]. Бывают разные типы пост установочных анкеров: распорные, подрезные, винтовые по бетону, клеевые, клеевые распорные и клеевые подрезные анкеры. Они показаны на рис. 5.7. Наиболее эффективными соединительными устройствами являются клеевые анкеры (химические и механические).



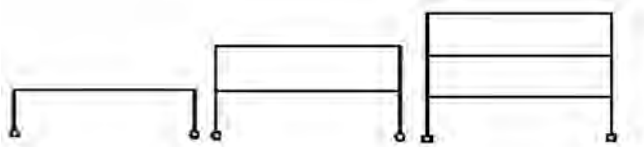
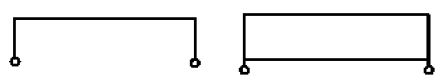
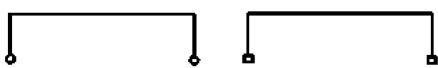
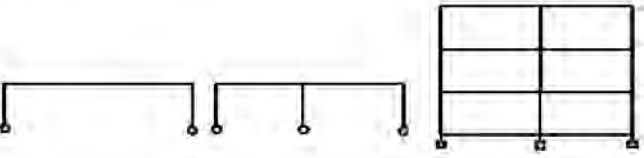
**Рис. 5.7.** Типы пост установочных крепежных элементов

## 5.4.2 Предпроектное исследование соединения стального portalного несущего каркаса и бетонной стены

Распространенным проектным решением для возведения надстроек на крыше является стальной portalный несущий каркас или аналогичная устойчивая к моменту конструкция. Было проведено предпроектное исследование по пристройке площадью  $30 \times 12$  м. Конструкция состоит из несущего каркаса базовой модели, высота составляет 3 м, пролет — 12 м. Поперечный шаг рам равен 3 или 6 м. Для такой комбинации параметров, может быть, 24 варианта проектных решений. Они кратко изложены ниже.

Рассматриваются следующие нагрузки (все они подлежат умножению на коэффициенты запаса прочности).

- Собственный вес: 4,2 кН/м<sup>2</sup>, включая железобетонную плиту толщиной 150 мм
- Эксплуатационная нагрузка: 1,5 кН/м<sup>2</sup> (жилые здания)
- Ветровая нагрузка: 1 кН/м<sup>2</sup>
- Снеговая нагрузка: от 0,45 до 0,8 кН/м<sup>2</sup>

|   |  |
|---|--|
| <p>УРОВЕНЬ (УРОВНИ) = (3 варианта)<br/>Надстройка на 1, 2 или 3 уровня</p>  |    |
| <p>КРЫША (существующая) = (2 варианта)<br/>Существующая крыша выдерживает нагрузку перекрытия или возводится новое перекрытие</p> |    |
| <p>УЗЛЫ = (2 варианта)<br/>Шарнирный или жесткий узел между элементами</p>  |  |
| <p>Продольный пролет, состоящий из одного несущей рамы или двухпролетная рама с одной промежуточной колонной (2 варианта)</p>     |  |

Были рассчитаны следующие прогнозируемые значения диапазона моментов, действующих на узлы соединений балок и колонн (для варианта жестких узлов):

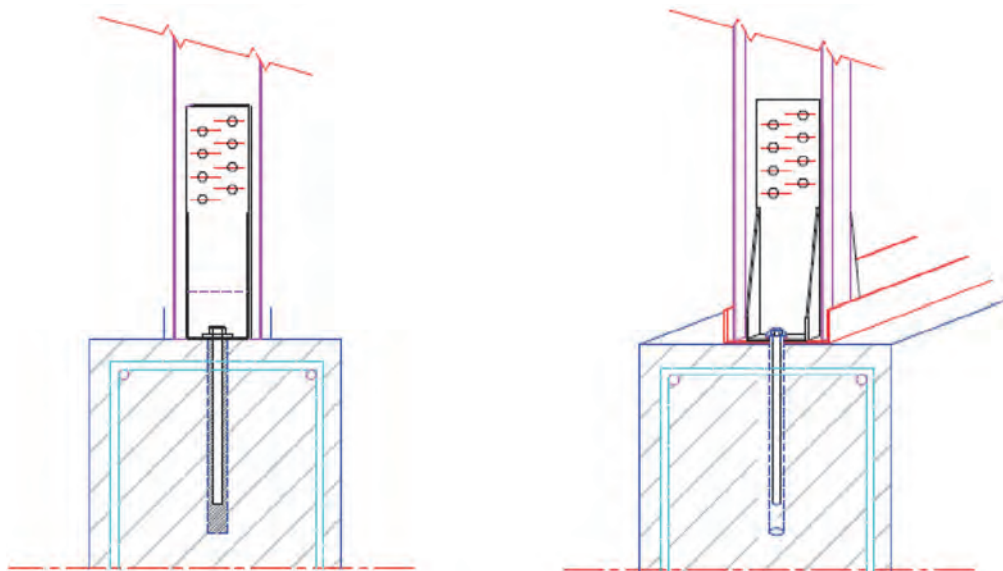
- 21 кН·м/м — надстройка на один новый уровень, состоящий из пролетов  $2 \times 6$  м;
- 62 кН·м/м — надстройка на один уровень с одинарным пролетом 12 м;
- 43 кН·м/м — надстройка на три уровня с пролетами  $2 \times 6$  м;
- 12 кН·м/м — надстройка на три уровня с одинарным пролетом 12 м.

Результаты этого параметрического исследования, при условии выбора шага рам по 3 и 6 м, показали, что для каркаса подходят стальные профили в диапазоне от HEA100 до HEA240.

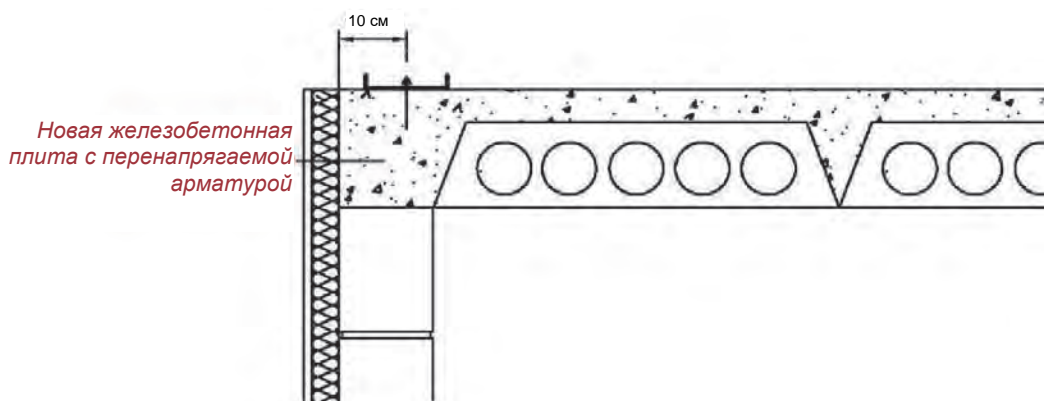
## 5.4.3 Соединение легкой стальной стены с бетонной стеной (стыковое соединение)

Если стены существующей конструкции представляют собой каменную или кирпичную кладку, надстройка на крыше должна быть возведена из легких стальных стеновых панелей на стальном каркасе. Для соединения этих панелей с существующей стеной необходимо использовать U-образную направляющую, чтобы создать стыковое соединение. U-образная направляющая крепится к стене распорными крепежными элементами. Обычно их устанавливают через каждые 600 мм, как показано на рис. 5.8.

На рис. 5.9 показано крепление анкерами к сборной железобетонной плите. В большинстве случаев сдвигающая и растягивающая нагрузки составляют менее 10 кН/м. Предлагаемые анкеры изготовлены из нержавеющей стали, хотя возможно использование и оцинкованных крепежных элементов. Выбор зависит от условий, которым подвергается конструкция, подлежащая реновации.



**Рис. 5.8.** Промежуточный узел для стыкового соединения на бетонных стенах



**Рис. 5.9.** Крепление анкерами нижней U-образной направляющей к железобетонной плите с преднапрягаемой арматурой

Чтобы разработать проектное решение для узлов соединения надстройки из легких стальных стеновых панелей с бетонными стенами старого здания, было проведено исследование двух гипотетических зданий.

## 5.5 Вопросы безопасности и обеспечения доступа

Нормы пожарной безопасности играют важную роль при выборе проектных решений по расширению зданий или изменению их назначения. Необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- пути эвакуации из новых квартир: зависят от нормативных требований и высоты здания;
- пути эвакуации из квартир, расположенных в старом здании. Для дополнительного этажа должны быть спроектированы лестницы или построена наружная шахта;
- может измениться требуемый уровень огнестойкости квартирных дверей;
- конструктивные элементы крыши/перекрытия между старым зданием и новым мансардным этажом должны быть огнестойкими;
- характеристики пожарной нагрузки новых ограждающих конструкций должны быть такими, чтобы снизить риск распространения огня;
- если лестницы пожарной бригады не достают до нового мансардного этажа, необходимо предусмотреть специальные устройства для оказания помощи при тушении пожара;
- даже при возведении всего одного нового уровня может потребоваться установка лифта (зависит от местных нормативов, обязательно для обеспечения доступа с первого этажа на четвертый или пятый этаж).

Многими городскими проектами предусмотрено обязательное создание новых парковочных мест. Для этого может потребоваться проведение работ на подвальном этаже или создание уровня стилобата для парковки под ним.

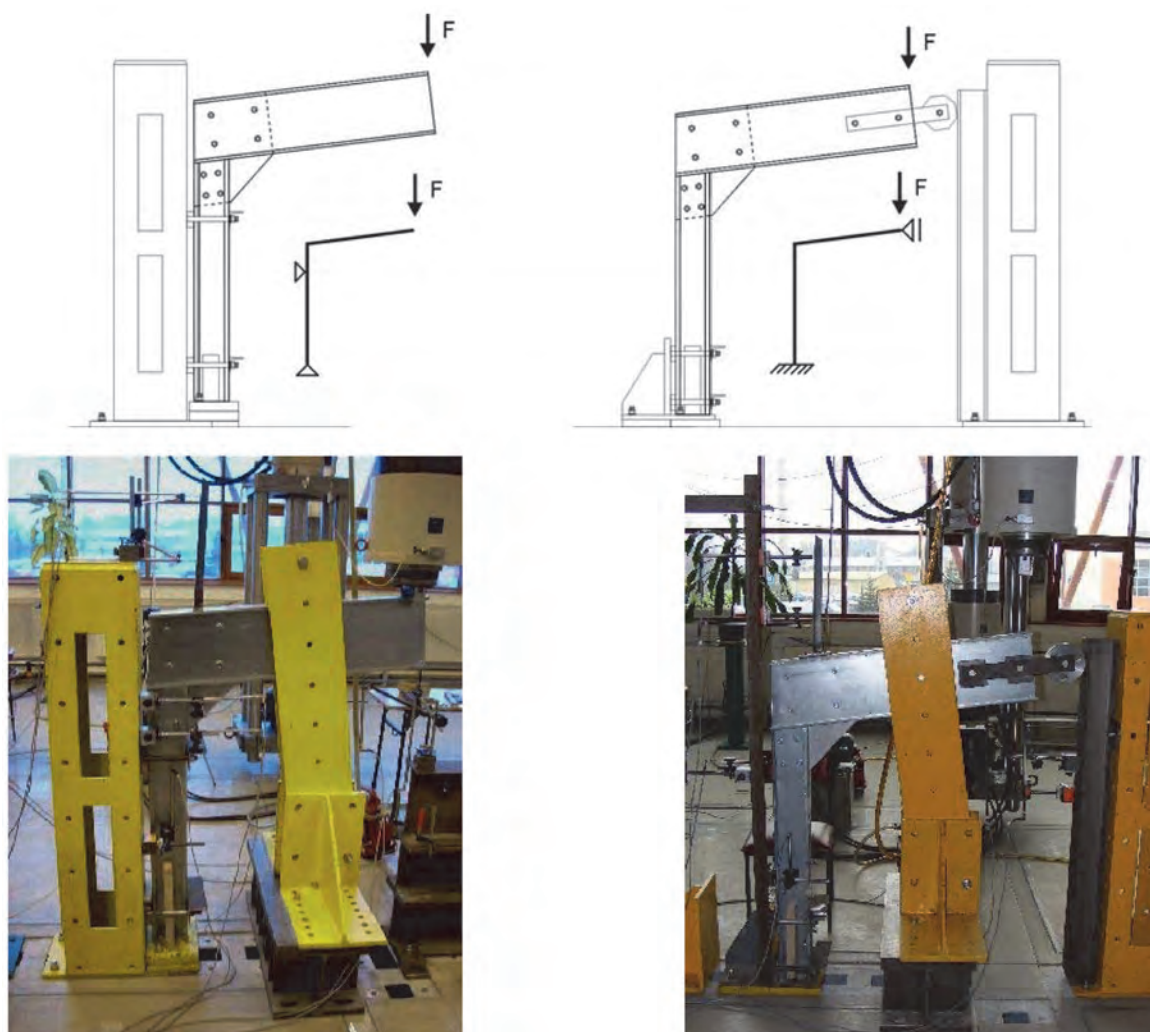
## 5.6 Исследование характеристик полужестких угловых соединений

Было проведено исследование по определению характеристик полужестких угловых болтовых соединений внахлест на тонкостенных стальных конструкциях. Затем эти характеристики можно использовать при общем анализе конструкции.

### 5.6.1 Схема испытания

На рис. 5.10 приводится стандартное болтовое соединение внахлест холодногнутых стальных профилей. Этот тип соединения, при котором увеличивается изгибающий момент в балках, обычно считается шарнирным. В действительности такие узлы являются полужесткими. При этом их характеристики момента вращения ( $M-\varphi$ ) можно эффективно прогнозировать только путем проведения дорогостоящих экспериментальных испытаний. Численное моделирование является альтернативным методом получения параметров гибкости таких соединений. Моделирование можно выполнить с помощью программного обеспечения для расчета МКЭ.

Испытания проводились в лаборатории Жешувского университета, их результаты сравнивались с числовой моделью, построенной на основе метода конечных элементов. Испытания использовались для калибровки механической модели. Образцы для испытаний были изготовлены из оцинкованных холодногнутых стальных профилей. Проанализировано два типа компоновки образцов. Испытание 1: образец был соединен с жестким несущим каркасом, только колонной. Испытание 2: основание колонны было соединено, а у конца консольной балки была фиксированная степень свободы в горизонтальном (в плоскости) направлении (рис. 5.10).



**Рис. 5.10.** Исследуемый узел с лабораторной установкой.  
Слева: испытание 1, справа: испытание 2

## 5.6.2 Числовое моделирование

Основные цели проведения численного моделирования заключались в построении кривой момента вращения (М-φ) и использовании результатов экспериментальных испытаний для калибровки числовой модели.

На рис. 5.11 показана геометрическая модель, использованная для получения параметров гибкости болтовых соединений внахлест с помощью численного моделирования. Для анализа методом конечных элементов применялась программа ADINA. В модель было введено пять вариантов контакта поверхности элементов, а именно контакт между:

- балкой и фасонкой,
- колонной и фасонкой,
- балкой и болтами,
- колонной и болтами,
- фасонкой и болтами.

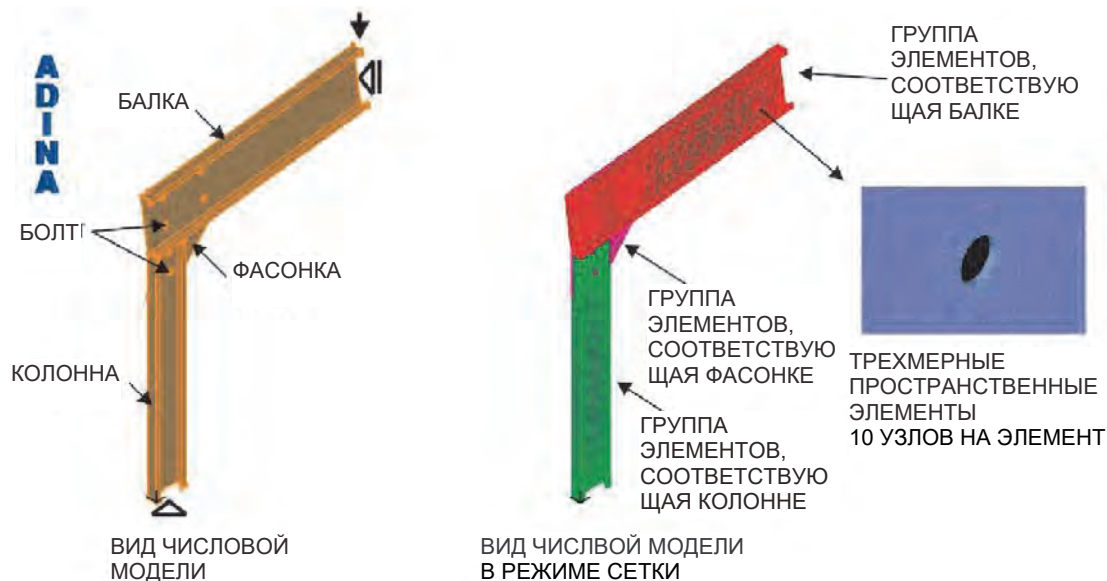


Рис. 5.11. Числовая модель узла

## 5.6.3 Характеристики момента вращения

Предлагаемая механическая модель несущего каркаса и его узлов, а также кривые момента вращения, построенные по результатам измерений, представлены на рис. 5.12. Исходя из результатов анализа, был сделан вывод о том, что первый способ крепления образца к жесткому несущему каркасу (испытание 1) не следует применять во время дальнейших экспериментальных испытаний. Результаты, полученные при использовании второго способа крепления (испытание 2), соответствуют характеристикам соединения в конструкции. Этот вид крепления необходимо использовать при дальнейших экспериментальных испытаниях. Исследованный узел балки и колонны можно отнести к категории полужестких соединений.

Модели разрушения показаны на рис. 5.13.

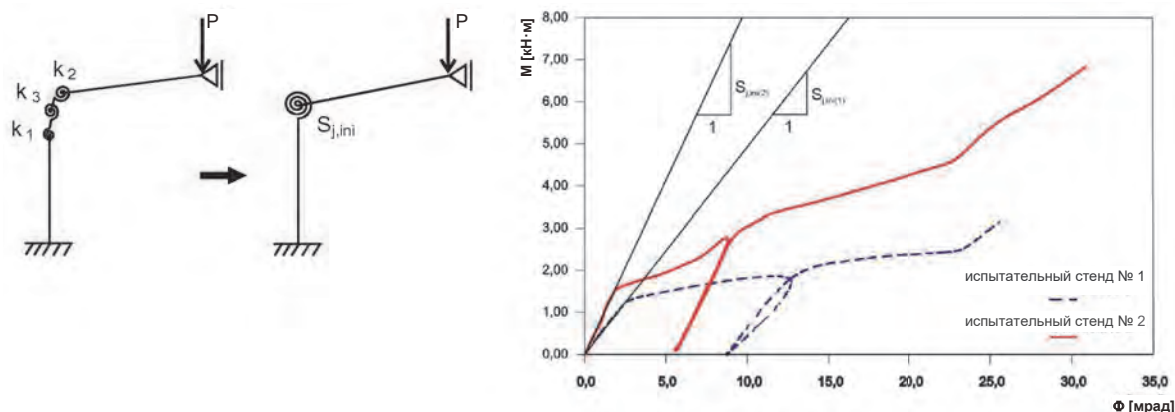
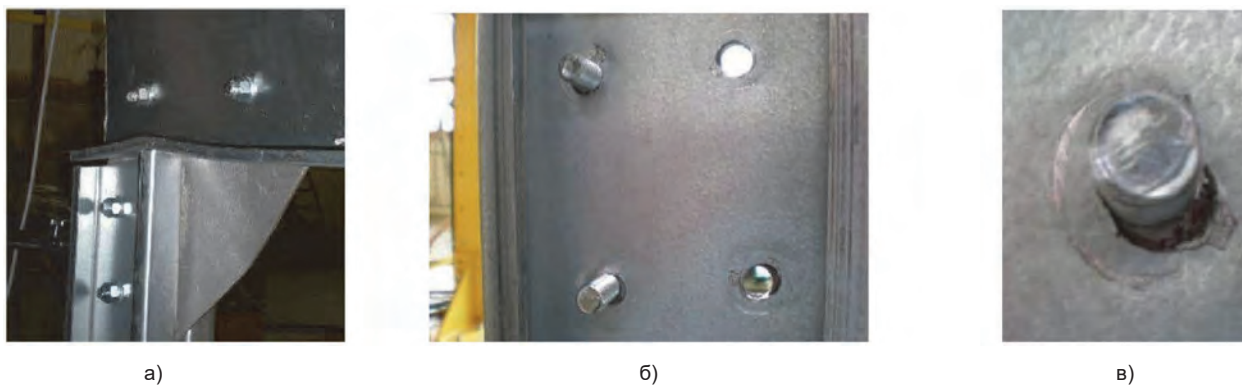


Рис. 5.12. Кривая момента вращения для узла



а)  
повреждение фасонки

б)  
Смятие металла в местах отверстий под болты

в)

Рис. 5.13. Внешний вид поврежденных элементов (испытание 2)

## 5.7 Испытания узла соединения стального каркаса с существующей бетонной стеной

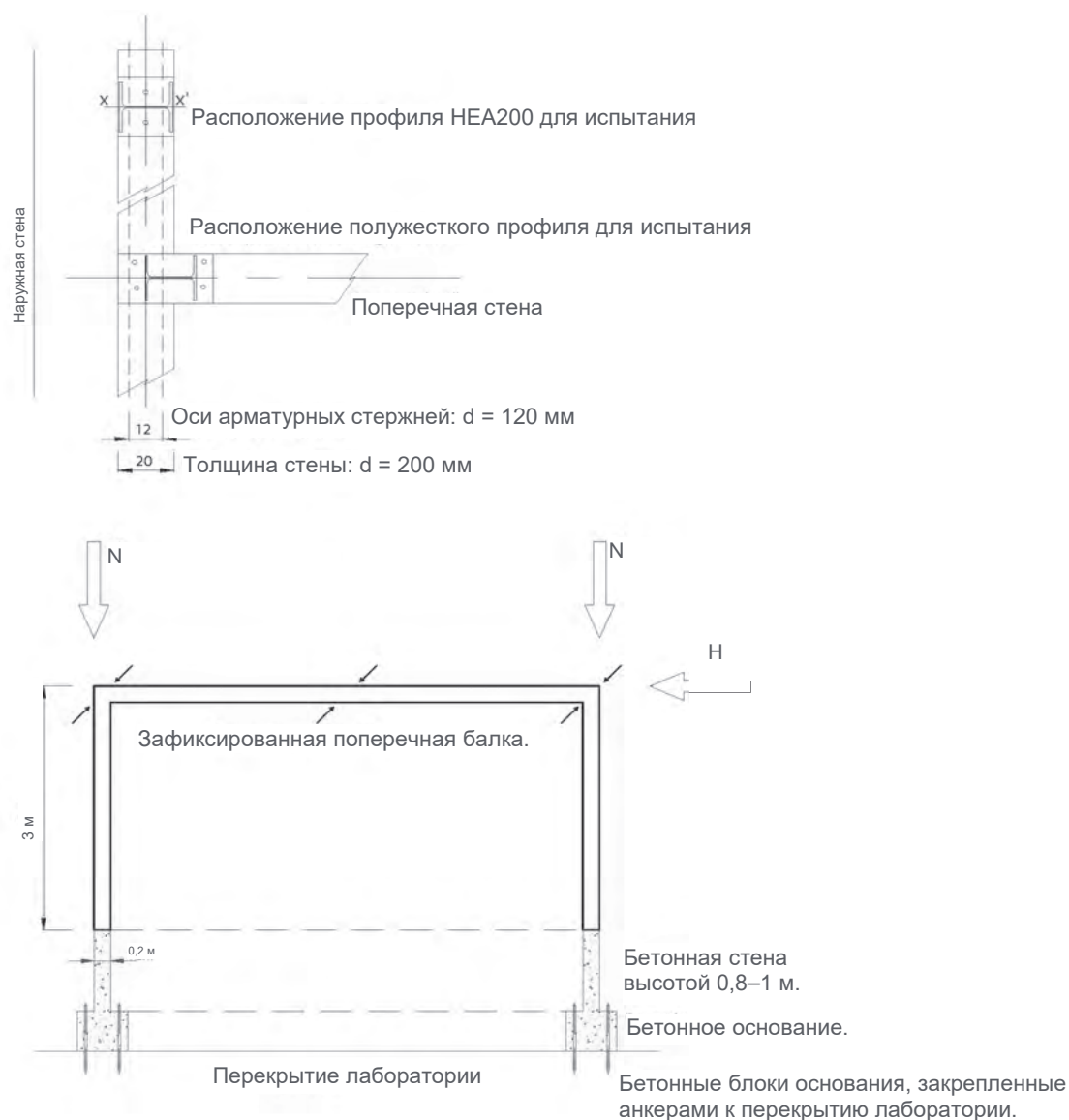
### 5.7.1 Схема испытания

Для проверки ожидаемых характеристик узла соединения нового стального каркаса с существующей конструкцией здания в Жешувском университете провели ряд испытаний. Испытанию подвергалось основание бетонной стены толщиной 200 мм, имитирующее несущий каркас старого здания (предполагается, что это жилое здание выполнено из бетонных стеновых панелей). Стальной порталный несущий каркас был соединен с верхней частью бетонной стены.

Проведено два вида испытаний:

1. Одно испытание только штифтового узла со сдвигающими нагрузками, действующими лишь на стену.
2. Одно испытание полужесткого или жесткого узла соединения с поперечной стеной, перпендикулярной бетонной стене (как ожидается в существующем здании).

Рис. 5.14 иллюстрирует испытания более подробно. Одно испытание проведено с колонной из профиля HEA (рассматривается как шарнирный), второе испытание — с профилем IPE (рассматривается как полужесткий). На рисунке также изображен порталный несущий каркас, опирающийся на бетонную стену, и бетонная стена, опирающаяся на бетонное основание. Размер несущего каркаса был уменьшен в соответствии с компоновкой здания, чтобы отвечать системе крепления к перекрытию лаборатории. Расположение нагрузки показано на рис. 5.15.



**Рис. 5.14.** Схема испытания

Из-за маленького расстояния до края были выбраны химические анкеры. Было взято расчетное сопротивление для обычного бетона без арматурных стержней. Выбранная марка бетона является показательной для существующего бетона марки не выше С16.

### 5.7.2 Результаты испытаний

Основные результаты испытаний шарнирного узла представлены на рис. 5.16. Они отражают взаимосвязь между горизонтальной нагрузкой  $H$  и горизонтальным смещением верхней балки стального каркаса, момент вращения в узле, а также взаимосвязь между горизонтальной нагрузкой  $H$  и смещением бетонной стены в узле. Испытание было прекращено при сдвигающей нагрузке 100 кН, что значительно превышает горизонтальные ветровые нагрузки, которые можно ожидать при надстройке на здание один или два этажа. При такой нагрузке перемещение бетонной стены составило 4,5 мм, а смещение несущего каркаса — приблизительно 50 мм. На рисунке также приведена схема момента при сдвигающей нагрузке 100 кН. Очевидно, что в основании несущего каркаса возникает небольшой момент, даже если по проектному решению предусмотрено шарнирное соединение.



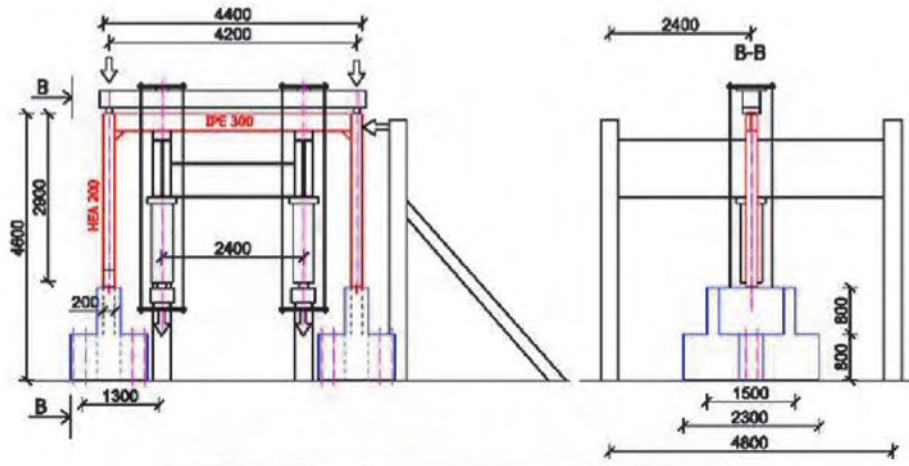


Рис. 5.15. Устройство рамы испытательной установки

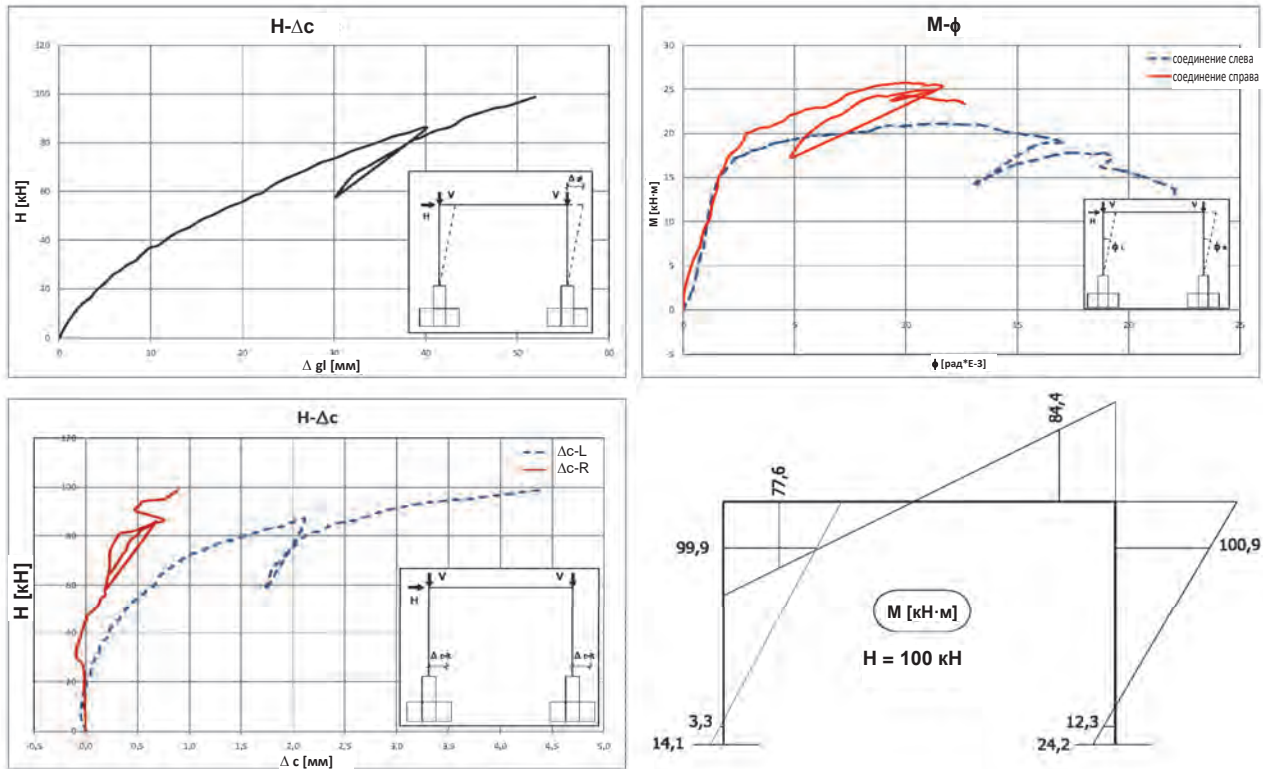


Рис. 5.16. Результаты испытания рамы с шарнирным узлом

Основные результаты испытаний жесткого узла представлены на рис. 5.17 в той же форме, как и для шарнирного узла. Эти испытания продолжались, пока сдвигающая нагрузка не достигла значения 160 кН. В этот момент горизонтальное смещение рамы составило 60 мм. При нагрузке 100 кН смещение составило 60 % от значения, полученного при испытании шарнирного узла. На схеме изгибающего момента при такой нагрузке видно, что момент колонны снизился на 30 %, а момент основания составил 60 % от момента рамы. Это указывает на высокую степень жесткости основания (хотя и неполную жесткость).

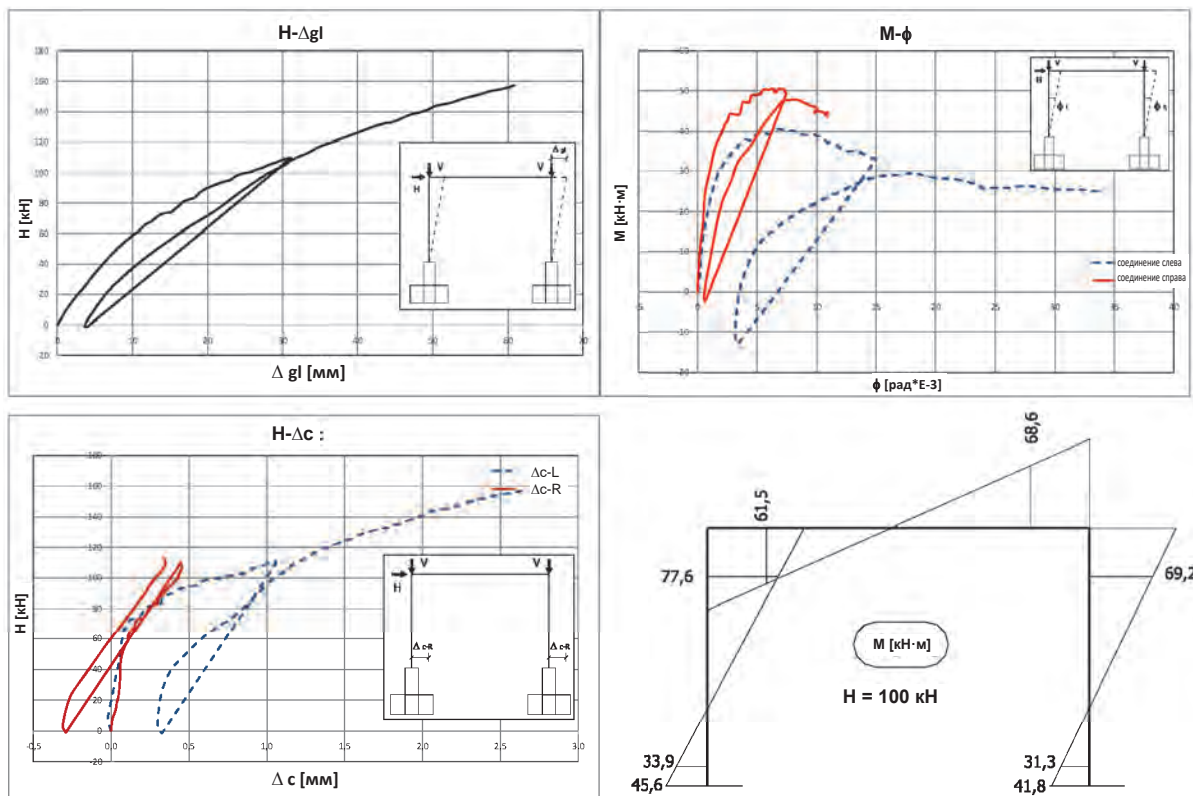


Рис. 5.17. Результаты испытания рамы с жестким узлом

Обратите внимание на значительное отличие в распределении момента между вариантами шарнирного (14,1 кН·м) и жесткого (45,6 кН·м) узлов. Модель разрушения бетона характеризовалась раздавливанием бетона в сжатой зоне, а также растрескиванием бетонной стены в растянутой зоне, как показано на рис. 5.18.



Рис. 5.18. Модели разрушения бетонного основания

### 5.7.3 Испытания одинарных легких стальных стеновых панелей

Также были проведены испытания легких стальных стеновых панелей, подверженных воздействию сдвигающей силы. Главная задача заключалась в определении характеристик полужесткости панели в условиях горизонтальной нагрузки и оценка жесткости панели, чтоб позднее использовать эти данные для общего анализа конструкции. В приложенной вертикальной нагрузке в 12,5 кН учитывается только собственный вес крыши и облицовки. На рис. 5.21 показаны кривые величины смещения как функции от вертикальной нагрузки при сдвигающей нагрузке 15 кН. На графике видно, что максимальное смещение составило всего 3,5 мм. При сдвигающей нагрузке 60 кН, когда произошло повреждение, смещение панели в плоскости составило 35 мм.

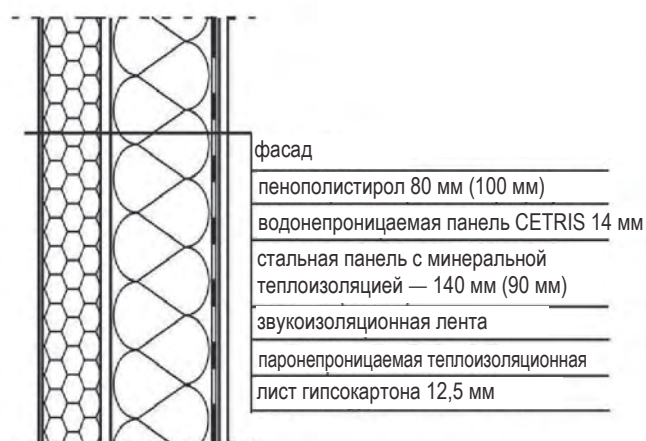
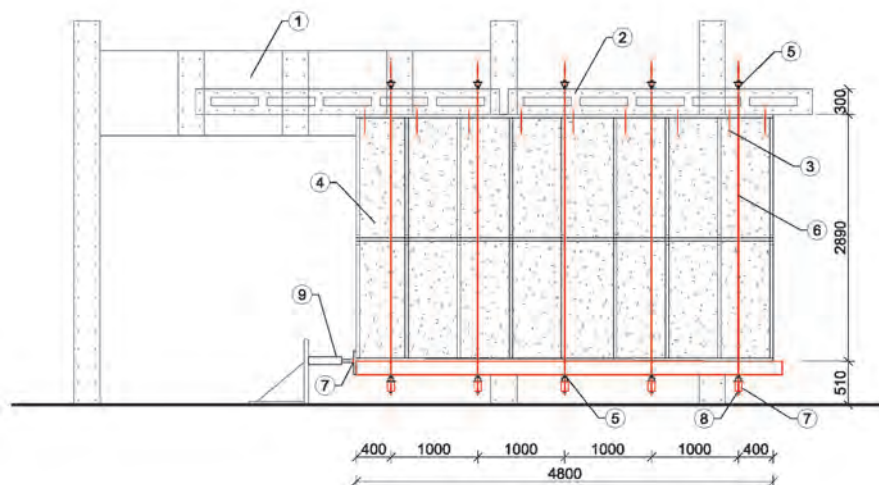
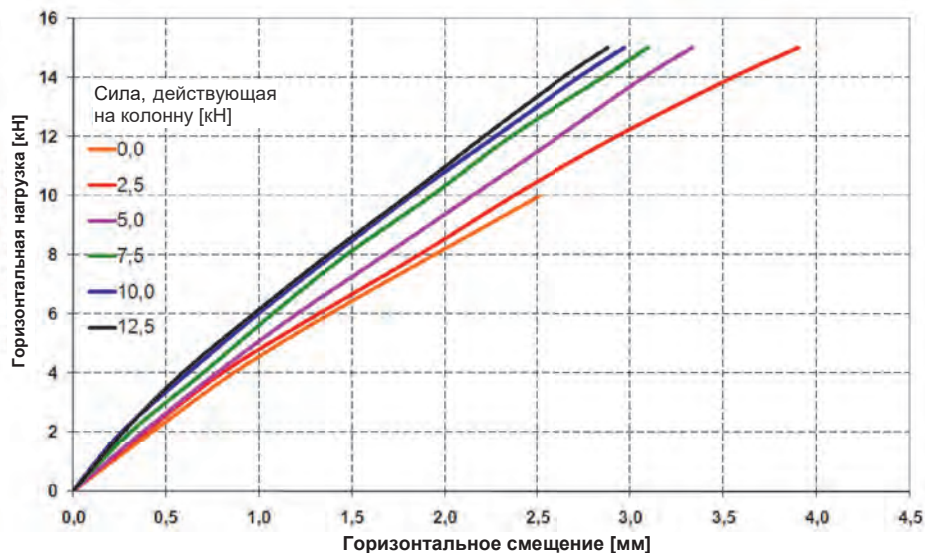


Рис. 5.19. Устройство сборной стены и стеновая панель до проведения испытаний

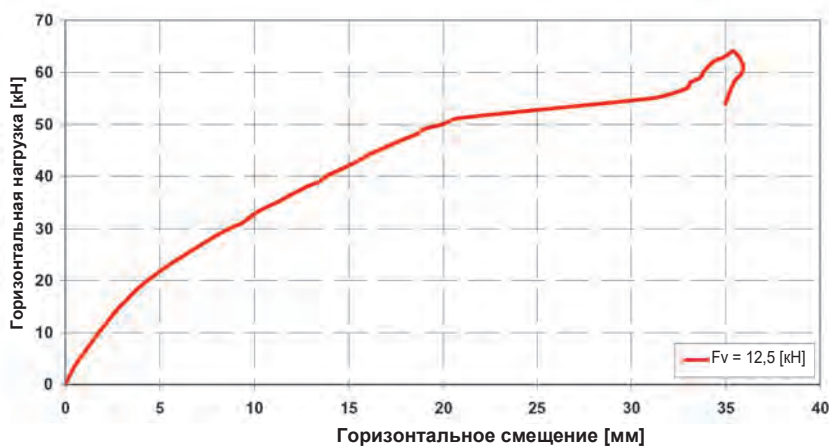


1. Стенд. 2. Нагрузочная траверса. 3. Болты M12. 4. Стена 4800 × 2890. 5. Шарнирное соединение в основании стержня. 6. Стальные стержни. 7. Датчик нагрузки. 8. Система сжатия для стены. 9. Система нагрузки

Рис. 5.20. Схема испытания



(а) Кривая зависимости величины горизонтального смещения от горизонтальной нагрузки при приложенной вертикальной нагрузке



(б) Кривая зависимости величины горизонтального смещения от горизонтальной нагрузки при приложенной вертикальной нагрузке 12,5 кН

**Рис. 5.21.** Кривые зависимости величины смещения от нагрузки на концевых стойках

## 5.8 Указания по проектированию надстроек

Был подготовлен документ с рекомендациями по проектным решениям, в котором описаны цели и факторы, обуславливающие возведение надстроек, а также последовательность этапов, необходимых на стадии эскизного проекта. Описаны общие методы реновации с использованием стальных конструкций с четким объяснением преимуществ их применения.

# 6 ПРОГРАММА № 4: ЛЕГКИЕ СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ КРЫШ

Рабочие отчеты по этой программе доступны по ссылке [www.steel-renovation.org](http://www.steel-renovation.org)

## 6.1 Цели

В рамках данной программы рассматриваются возможности создания нового жилого пространства путем модернизации существующей деревянной крыши с помощью легких стальных конструкций и решения тем самым проблем технического состояния и физического износа жилых и коммерческих зданий.

## 6.2 Оценка возможности реализации проекта и изучение практических аспектов

Некоторые первоначальные исследования были сфокусированы на эксплуатируемых видах крыш, их конструктивных схемах и способах реконструкции. В ходе исследования также была разработана общая методика изменения назначения для создания жилого пространства под крышей. Были особо отмечены возможности применения легких стальных конструкций.

### Эксплуатируемые в Великобритании виды крыш

Традиционно крыши жилых домов выполняются из дерева, а в качестве крепежа используют гвозди, саморезы и болты. По форме крыша либо почти плоская, либо скатная. У большинства домов скатная кровля, при этом встречается как двухскатная, так и четырехскатная [26]. Несколько примеров стандартных видов крыш приводятся на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Примеры крыш

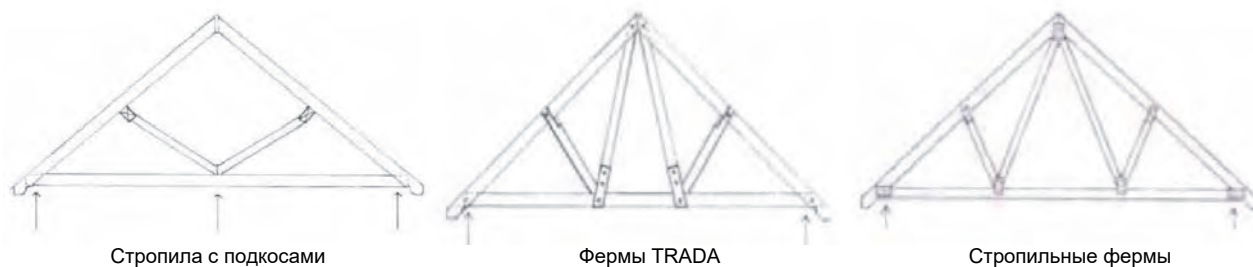
Уровень сложности модернизации старых деревянных крыш для создания обитаемого пространства под ними зависит от конструкции крыши, которая отличается в зависимости от времени постройки здания. Стандартные варианты решений для модернизации основных конструкций крыш с информацией о потенциальных возможностях применения легких стальных конструкций приводятся ниже.

### Трансформация плоской крыши

К двум стандартным вариантам реконструкции относятся преобразование плоской крыши в скатную и создание дополнительного обитаемого пространства под крышей. Было проведено исследование множества представленных на рынке легких конструкций из стальных холодногнутых профилей для преобразования плоской крыши в скатную. Для создания дополнительного обитаемого пространства под крышей часто используются чердачные деревянные стропильные фермы в виде плоских панелей или объемных модулей, которые поднимают на старую плоскую кровлю. На рынке представлено несколько вариантов легких систем из стальных холодногнутых профилей, но они не так популярны, как решения из дерева. Тем не менее, легкие модульные стальные конструкции, например системы бесчердачной кровли, имеют большой потенциал применения в таких случаях.

### Трансформация скатной крыши

За прошедшие годы более миллиона крыш подверглись трансформации для создания дополнительного обитаемого пространства под ними. Достаточная внутренняя высота помещения является важным фактором при трансформации пространства под крышей. Большинство старых крыш обеспечивают высоту не менее 2,3 м, и этого достаточно для трансформации. Для увеличения ширины помещения широко используются мансардные окна. Три наиболее распространенные конструкции крыш приводятся на рис. 6.2.

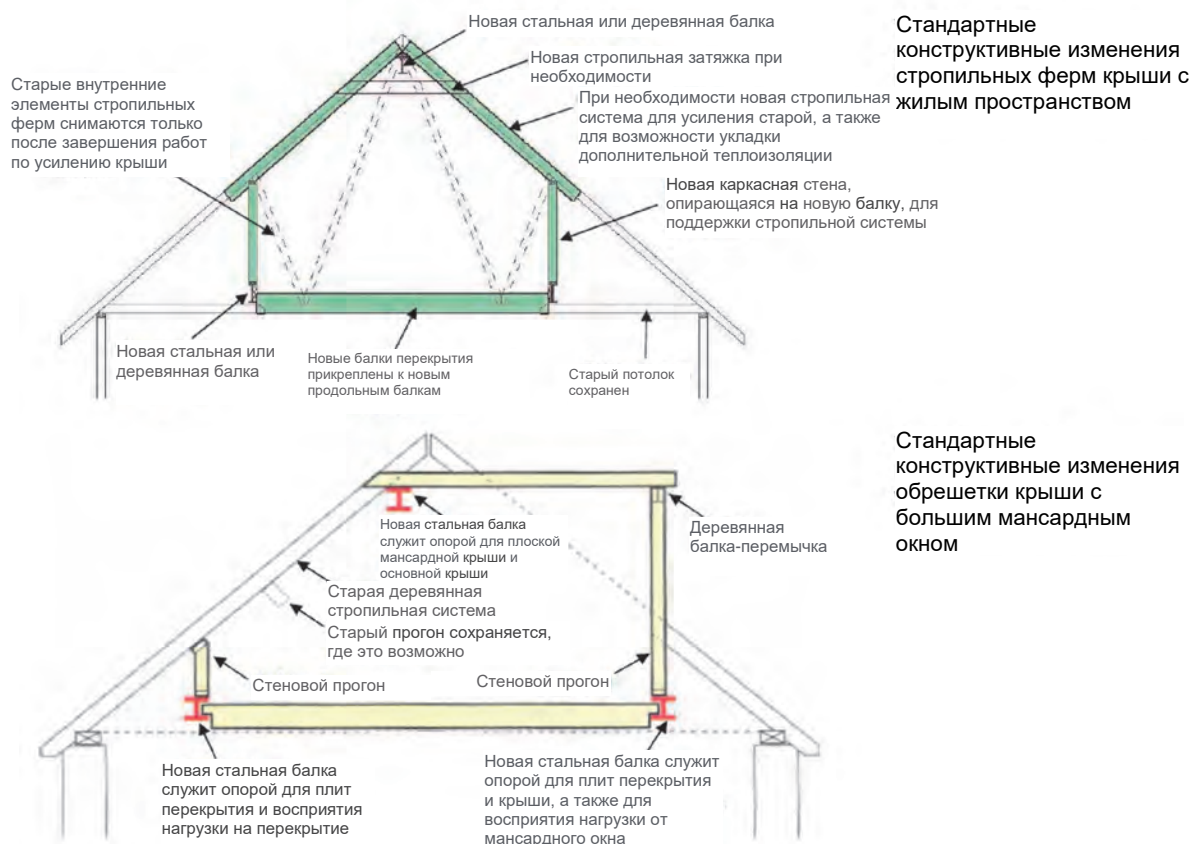


**Рис. 6.2.** Распространенные варианты конструкции деревянных крыш

Общие конструктивные изменения таких типов крыш для создания дополнительного пространства под ними включают установку:

- новых балок от фронтона к фронтому/общей стене восприятия дополнительной нагрузки на перекрытие;
- новых балок перекрытия между существующими лагами;
- каркасной стены поверх балок для частичной поддержки крыши;
- новых балок на уровне конька (или около вершины) от фронтона к фронтому/общей стене для больших пролетных стропильных систем или большого нового мансардного окна (> 1,2 м);
- стропильных затяжек в зависимости от величины пролета стропильной системы;
- и удаление существующих подкосов, прогонов или внутренних элементов ферменной конструкции.

На рис. 6.3 показано решение с использованием горячекатаных стальных балок, которое считается предпочтительным несмотря на сложность установки таких балок. В некоторых случаях балка разрезается на 2 или 3 небольших сегмента, которые затем скрепляются болтами. В основном для трансформации пространства под крышей требуется около трех стальных балок, так что можно представить, насколько трудозатратным является процесс материального обеспечения такого проекта. С учетом вышесказанного, в этом случае виден потенциал применения легких конструкций из стальных холодногнутых профилей.



**Рис. 6.3.** Стандартные конструктивные изменения кровли для создания обитаемого пространства

## 6.3 Исследование систем бесчердачной крыши

### 6.3.1 Описание системы бесчердачной крыши

Бесчердачные крыши бывают двух основных форм. Первая форма подразумевает использование для модификации существующих конструкций и создания обитаемого пространства под крышей балок из композитного материала Plyweb (сталь и фанера). Вторая форма предполагает использование для создания фермы с пространством под крышей С- или Z-образных холодногнутых профилей, как показано на рис. 6.4. Область применения бесчердачных крыш:

- пролеты от 6 до 10 м,
- шаг несущей конструкции от 400 до 1200 мм, в зависимости от шага обрешетки и расстояния между профилями для гипсокартона,
- уклон крыши от 30 до 45°,
- обитаемое пространство шириной от 3,5 до 6 м между вертикальными элементами.

Существует усовершенствованный вариант технологии под названием «Сборная система бесчердачной крыши», в которой используются стальные холодногнутые профили, устанавливаемые на кровлю с помощью крана. Стропильная система крепится к балкам перекрытия с помощью шарнирных соединений. Еще один доступный вариант — система бесчердачной крыши из материала Plyweb. Здесь используются профили из композитного материала Plyweb, которые допускают жесткое соединение между стропилами и балками перекрытия благодаря вставкам из фанеры. Балка Plyweb состоит из полок С-образного профиля и стенок из фанеры толщиной 12 мм.

### 6.3.2 Расчет конструкции системы бесчердачной крыши

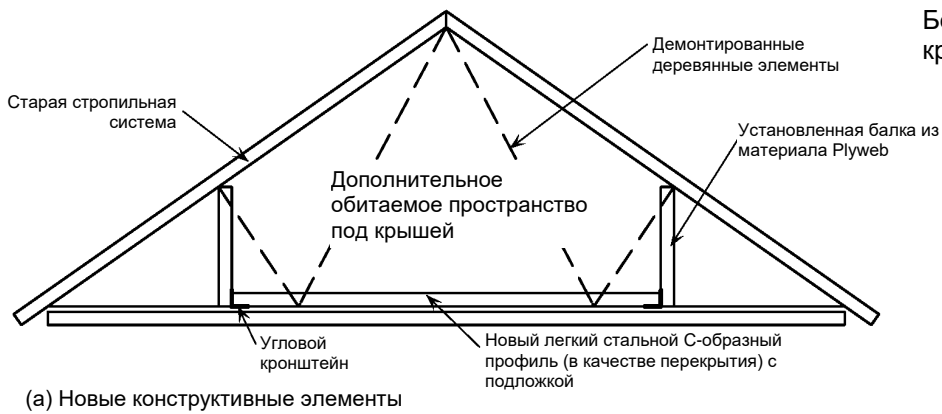
За основу для расчета конструкции системы бесчердачной крыши в предельном состоянии взят модифицированный расчет конструкций в пластической стадии, но с учетом предельного прогиба стропил и нижних поясов фермы, выполняющих функцию перекрытия в пространстве под крышей. Принципы расчета соответствуют европейскому стандарту Eurocode 3 для расчета стальных конструкций. Расчетные нагрузки определены для стропильной фермы бесчердачной кровли с шагом 600 мм. Анализ прогибов и внутренних напряжений был выполнен в программе LUSAS методом конечных элементов. В таблице 6.1 приводятся результаты анализа.

**Таблица 6.1** Результаты анализа стропильной фермы бесчердачной крыши с шагом 8 м в программе LUSAS

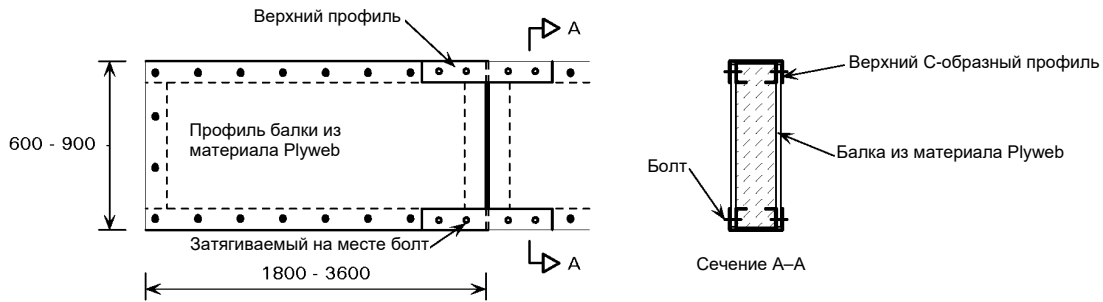
| Анализируемые параметры   | Стропила | Нижний пояс фермы | Подкосы     |
|---|----------|-------------------|-------------|
| Макс. изгибающий момент в предельном состоянии (расчетная нагрузка) | 3,8 кН·м | 4,9 кН·м          | Неприменимо |
| Макс. осевая нагрузка в предельном состоянии (расчетная нагрузка)   | 14 кН    | -1,0 кН           | 15 кН       |
| Поправочный коэффициент согласно EN 1993-1-3                        | 0,89     | 0,58              | 0,51        |
| Прогиб при рабочих нагрузках  |          |                   |             |
| - временная нагрузка  | 5,5 мм   | 5,9 мм            | Неприменимо |
| - временная нагрузка + собственный вес                              | 8,8 мм   | 6,5 мм            | Неприменимо |
| - временная нагрузка + собственный вес + снеговая нагрузка          | 13,6 мм  | 11,0 мм           | Неприменимо |

Форма прогиба стропильной фермы бесчердачной крыши под действием временной нагрузки и нагрузки от собственного веса показывает, как стропила обеспечивают поддержку нижнего пояса (рис. 6.5). Эффективные точки опоры нижнего пояса находятся в местах подкосов, таким образом обеспечивается расчетный пролет (L-2a). На стропила помимо момента действует сила сжатия, возникающая под воздействием нагрузки от вертикальных элементов.

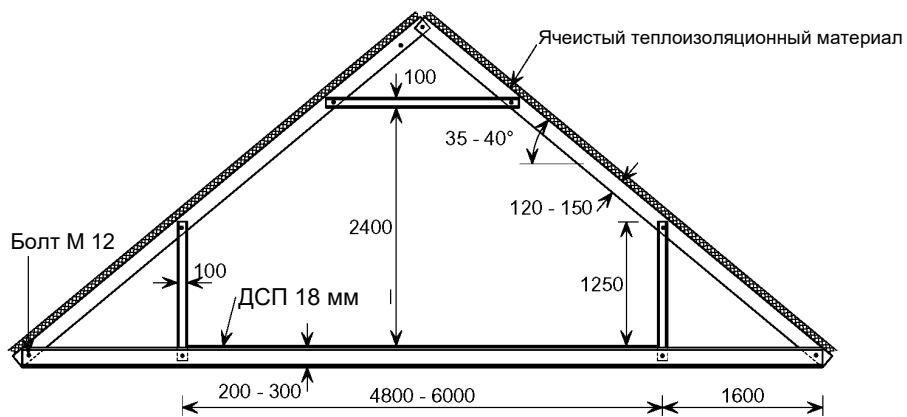
Бесчердачная  
крыша Plyweb



(а) Новые конструктивные элементы



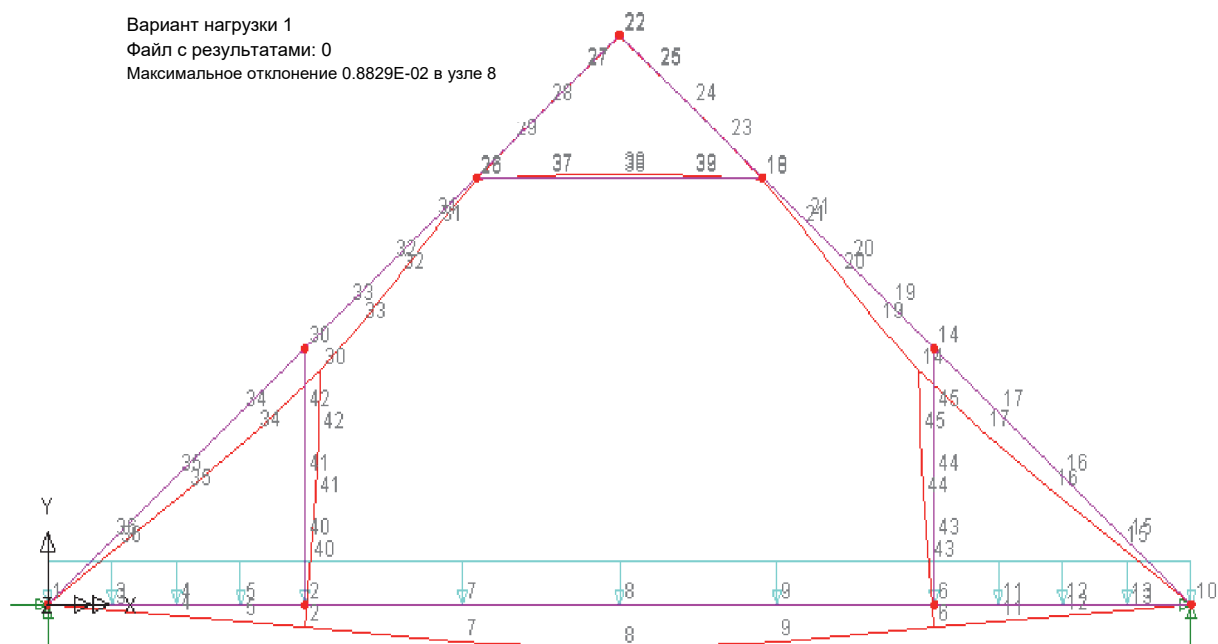
(б) Профили малого размера из материала Plyweb, монтируемые в балку на месте



Бесчердачная  
крыша из легких  
стальных  
холодногнутых  
профилей

Рис. 6.4. Формы систем бесчердачной крыши





**Рис. 6.5.** Форма прогиба стропильной конструкции бесчердачной крыши с шагом 8 м под действием временной нагрузки и нагрузки от собственного веса, приложенной к перекрытию

Рекомендуемые минимальные размеры С-образных профилей для создания помещения высотой не менее 2,4 м представлены в таблице 6.2. Оптимальные значения рассчитаны для стропильной фермы бесчердачной крыши с шагом 8 м, подходящего варианта для стандартного дома с 3 или 4 спальнями. Во всех случаях в качестве вертикальных и горизонтальных стяжных хомутов используются С-образные профили 100 × 1,6 или 1,2 мм, а соединения выполняются с помощью болтов диаметром 12 или 16 мм, которые устанавливаются в предварительно подготовленные отверстия.

**Таблица 6.2** Стандартные размеры нижнего пояса и стропил для системы бесчердачной крыши

| Пролет (м) | Уклон крыши | Ширина помещения (между вертикальными элементами) | Размер элементов  |             | Примерная масса стальной конструкции (кг/м <sup>2</sup> ) |
|------------|-------------|---|-------------------|-------------|---|
|            |             |   | Нижний пояс фермы | Стропила    |   |
| 6          | 45°         | 3,6 м   | 150 × 1,2 С       | 100 × 1,2 С | 16  |
| 8          | 40°         | 4,4 м   | 180 × 1,6 С       | 125 × 1,6 С | 18  |
| 10         | 35°         | 6,0 м   | 250 × 2,0 С       | 150 × 1,6 С | 24  |

Масса стальной конструкции выражается по отношению к площади крыши в плане.

Такой же анализ можно выполнить для других пролетов, однако выбор размера элементов, как правило, зависит от прогиба нижнего пояса. Следовательно, система бесчердачной крыши с использованием легких систем из С-образных стальных профилей является простым и практичным способом создания обитаемого пространства под крышей без изменения ее основной формы.

## 6.4 Моделирование теплоизоляции обновленных крыш

Был проведен тепловой анализ жилых зданий нескольких типов, чтобы наглядно показать, насколько можно сократить энергопотребление в результате реновации. Ограждающей конструкцией жилых зданий может служить сплошная кирпичная стена, стена из монолитного/сборного железобетона, пустотелая кирпичная стена или деревянный несущий каркас. Для теплового анализа использовалась программа TRNSYS, гибкий инструмент, предназначенный для моделирования динамических характеристик теплоэнергетических систем. Эта программа рассчитывает поток энергии в здании, а также температуру компонентов и воздуха в помещениях.


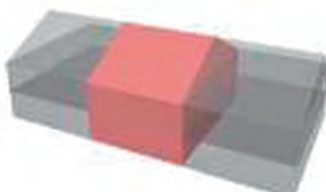
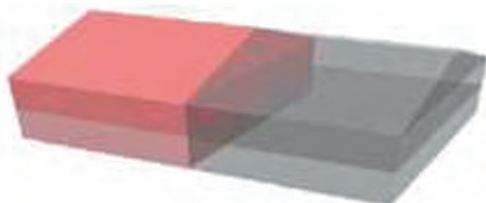

### 6.4.1 Определение моделей жилых зданий

Модернизация крыши по-разному влияет на тепловые и энергетические характеристики здания. В зависимости от характера реновации и эксплуатации здания необходимо учитывать следующие аспекты:

- коэффициент теплопередачи (значение  $U$ ) конструкции до/после реновации (включая контроль мостиков холода);
- повышение компактности (дополнительная площадь внутри здания за счет незначительного увеличения площади поверхности ограждающих конструкций здания);
- контроль перегрева (большие поверхности, попадающие под действие солнечных лучей, в сочетании с небольшой массой);
- воздухопроницаемость (трудность количественной оценки воздухопроницаемости старой и новой конструкции крыши).

В таблице 6.3 и 6.4 приводятся типы жилых зданий и проанализированные сценарии. Были рассмотрены три разных европейских города: Хельсинки, Берлин и Лондон. Основным недостатком этого анализа является то, что на практике базовый вариант (см. таблицу 6.4) для разных европейских городов различается в связи с разными национальными нормами и традициями в строительстве.

Таблица 6.3 Проанализированные типы жилых зданий

| Тип жилого дома           | Общая площадь (м <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup> | Схема   |
|---------------------------|--|---|
| Отдельный одноэтажный дом | 67   | <p>Длина <math>L = 10</math> м<br/>Ширина <math>B = 6,7</math> м</p>   |
| Средний таунхаус          | 79   | <p>Длина <math>L = 5,0</math> м<br/>Ширина <math>B = 7,9</math> м</p>  |
| Дуплекс                   | 89   | <p>Длина <math>L = 6,0</math> м<br/>Ширина <math>B = 7,4</math> м</p>   |
| Отдельно стоящий дом      | 104  | <p>Длина <math>L = 6,5</math> м<br/>Ширина <math>B = 8,0</math> м</p>  |

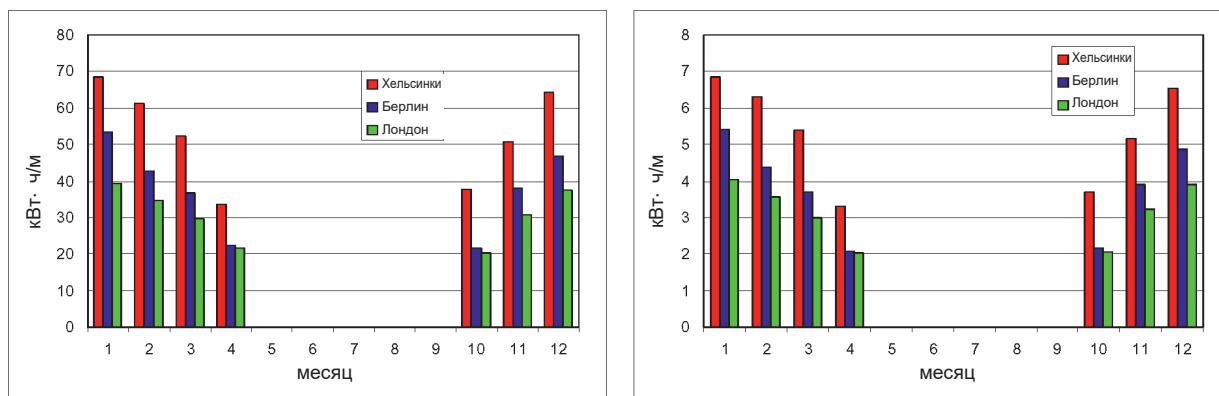
<sup>(1)</sup> CE189 (2006) «Ремонт отдельных домов — обзор передовых технологий», Трест по проблемам сокращения выбросов парниковых газов, Великобритания

**Таблица 6.4** Данные для теплового моделирования

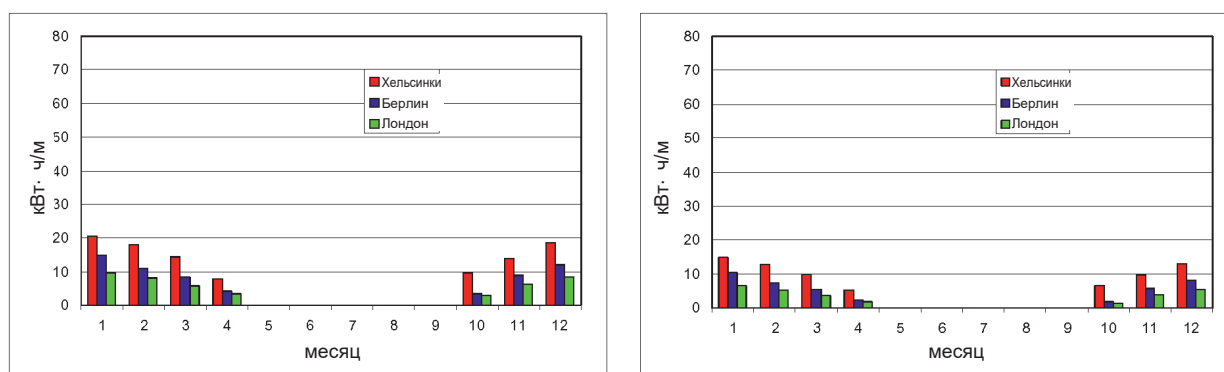
| Элемент                     | Описание                                    | Базовый вариант (до трансформации чердака) | Рекомендуемая практика (после трансформации чердака) | Наилучшая практика (после трансформации чердака) |
|-----------------------------|---|--|--|--|
|                             |   | Значение U (Вт/(м²К))                      |  |  |
| Скатная крыша               | Деревянная крыша без теплоизоляции          | 1,9  | 0,20   | 0,15   |
| Перекрытие мансарды         | Деревянные балки, минимальная теплоизоляция | 0,85                                       | 0,25   | 0,2  |
| Наружная стена              | Цельный блок без теплоизоляции              | 2,1  | 0,30   | 0,15   |
| Перекрытие второго этажа    | Деревянное перекрытие без теплоизоляции     | 3,0  | 0,25   | 0,2  |
| Перекрытие первого этажа    | Цельное перекрытие без теплоизоляции        | 0,45–0,7                                   | 0,25   | 0,2  |
| Окно                        | Частично с двойным остеклением              | 3,5  | 2,0  | 0,7  |
| Площадь оконного проема (%) | Окно с деревянной рамой                     | 12–15 %                                    | 12–15 %  | 12–15 %  |
| Воздухо-непроницаемость     | м³/(гм²) при 50 Па                          | 15   | 10   | 3  |

### 6.4.2 Результаты моделирования для жилого здания

На рис. 6.6 и 6.7 приводятся некоторые данные о чистой потребности в энергии на отопление (значения за месяц) для дуплекса, включая отопление дополнительного помещения после трансформации крыши.



**Рис. 6.6.** Ежемесячная потребность в отоплении, дуплекс, базовый вариант (слева: все здание, справа: потребность в отоплении, вызванная отводом тепла через кровлю)



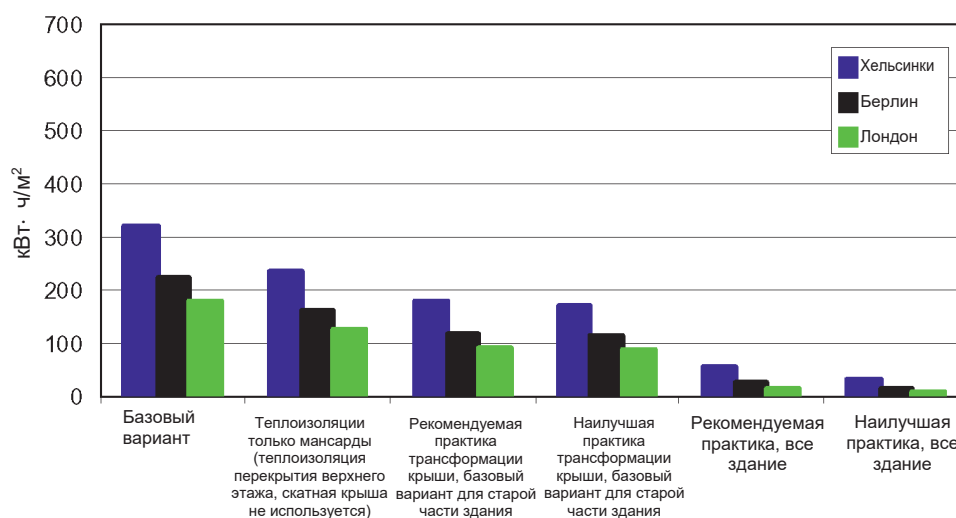
**Рис. 6.7.** Ежемесячная потребность в отоплении после трансформации пространства под крышей в дуплексе (слева: рекомендуемая практика, справа: наилучшая практика)

Для отопления дополнительного обитаемого пространства под крышей требуется не так уж много энергии, точное значение зависит от качества модернизации (рекомендуемая или наилучшая практика). Кроме того, снижаются потери энергии в старой части здания, поэтому потребление реконструированного здания с дополнительной площадью в энергии на отопление ниже, чем в базовом варианте при меньшей общей площади (см. таблицу 6.5), а потребление дополнительной энергии на отопление выражается отрицательным значением.

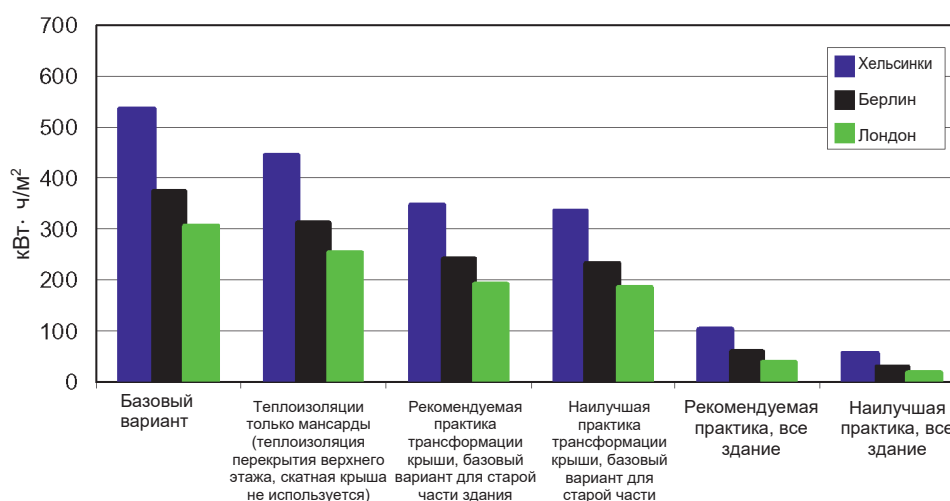
**Таблица 6.5** Годовое потребление энергии на отопление для различных расчетных вариантов

| Вариант  | кВт·ч/м <sup>2</sup> в год   | Хельсинки | Берлин | Лондон |
|--|--|-----------|--------|--------|
| <b>Базовый вариант</b>                                   | Потребление энергии на отопление, потеря тепла через кровлю  | 369,0     | 262,0  | 213,9  |
|  |  | 37,3      | 26,5   | 21,8   |
| <b>Трансформированная крыша – рекомендуемая практика</b> | Потребление тепловой энергии мансарды  | 102,7     | 62,6   | 44,2   |
|  | Уменьшение потребления тепловой энергии старого здания, дополнительное потребление тепловой энергии в мансарде | -123,0    | -87,5  | -71,9  |
|  |  | -20,3     | -25,0  | -27,7  |
| <b>Трансформированная крыша – наилучшая практика</b>     | Потребление тепловой энергии в мансарде  | 71,8      | 41,5   | 27,8   |
|  | Уменьшение потребления тепловой энергии старого здания, дополнительное потребление тепловой энергии в мансарде | -123,0    | -87,5  | -71,9  |
|  |  | -51,1     | -46,0  | -44,1  |

На рис. 6.8 и 6.9 показано годовое потребление энергии на отопление других типов зданий.



**Рис. 6.8.** Результаты моделирования потребления энергии на отопление — средний таунхаус



**Рис. 6.9.** Результаты моделирования потребления энергии на отопление — отдельный одноэтажный дом

Из результатов очевидно, что создавая дополнительное пространство в совокупности с модернизацией старого здания кроется большой потенциал энергосбережения.

## 6.5 Оценка процедуры монтажа кровельных систем

Был изучен ряд проектов с использованием модульной кровельной системы *Hi-point* фирмы Corus. *Hi-point* — это усовершенствованная модульная кровельная система из легких стальных холодногну-тых профилей. Она представляет собой экономичное решение как для проектов нового строительства, так и для проектов реконструкции. Уже есть опыт применения этой системы в различных проектах, в частности в многоквартирных домах, казармах, бизнес-центрах, медицинских учреждениях и шко-лах. Компоненты системы *Hi-point* доставляются на строительную площадку либо в виде готовых блоков, предварительно собранных в контролируемых заводских условиях, либо, если позволяет место, в виде набора готовых деталей, которые собираются на рабочей площадке, а затем поднимаются на место устан-овки. Крыша *Hi-point* состоит из основного и дополнительного несущего каркаса. Основной несущий каркас представляет собой модульную конструкцию, а дополнительный включает прогоны и кровель-ный материал.

Порядок сборки/монтажа показан на рис. 6.10.



Профили нужной длины



Части каркаса модуля крыши



Собранный из частей каркас модуля крыши



Модуль крыши с установленной теплоизоляцией



Модуль крыши с установленным кровельным материалом



Модуль крыши готовый к отправке на объект

**Рис. 6.10.** Порядок сборки крыши *Hi-point*

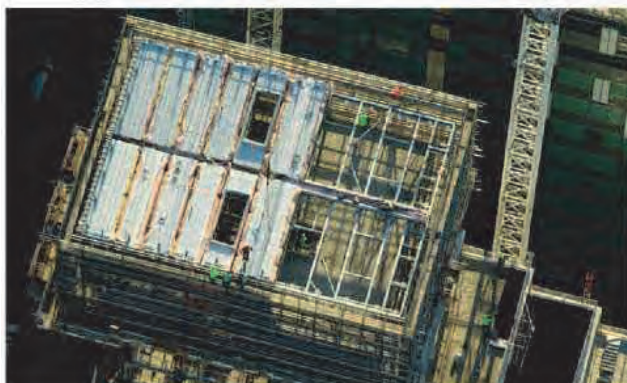
На рис. 6.11 показан порядок установки крыши *Hi-Point* в здании *Unity* в Ливерпуле (Великобритания). Этот 27-этажный жилой дом является частью смешанной застройки. Учитывая масштаб проекта, высоту (94 м над уровнем земли) и расположение здания в самом центре города, следует отметить, что скорость строительно-монтажных работ и повышенный уровень безопасности за счет сокращения объема высотных работ были важными факторами. На заводе-изготовителе было собрано 22 модуля, которые затем были доставлены на объект и установлены с помощью крана всего за 2 дня. Крыша была облицована листами из плакированного алюминия толщиной 1,2 мм со стоячим фальцем.



Подъем модулей системы *Hi-point* на крышу краном



Фиксация модулей системы *Hi-point* болтами на стальном несущем каркасе крыши



Вид крыши сверху во время установки модулей

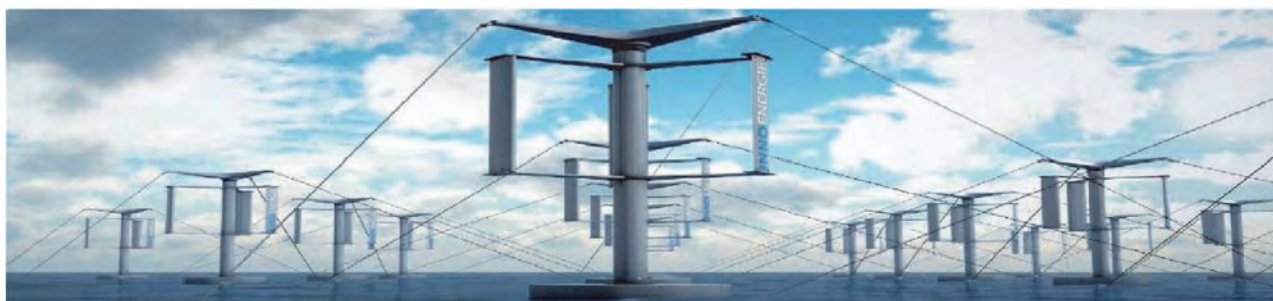


Здание после реновации

**Рис. 6.11.** Крыша *Hi-point*, установленная на здании *Unity* в Ливерпуле

## 6.6 Исследование возможностей применения инновационных кровельных систем при реновации

Варианты интеграции активных систем генерации энергии в крышу частично схожи с решениями для фасадов, представленными выше в разделе 3.10. К активным системам генерации энергии для жилых зданий относятся солнечная черепица, солнечные батареи, интегрируемые в крышу или устанавливаемые на крышу, а также тонкопленочные солнечные батареи, монтируемые на алюминиевую и/или стальную подложку. На рынке также представлены ветровые турбины с вертикальной и горизонтальной осью для установки на крыше. Недавнее изобретение — портативная ветровая турбина для установки на крыше. Благодаря компактным размерам такую турбину можно использовать в разных типах зданий, а на большой плоской крыше можно установить несколько таких турбин (см. рис. 6.12).



**Рис. 6.12.** Группа небольших ветровых турбин с вертикальной осью на плоской крыше (изображение взято с сайта [www.innoenergie.de](http://www.innoenergie.de))

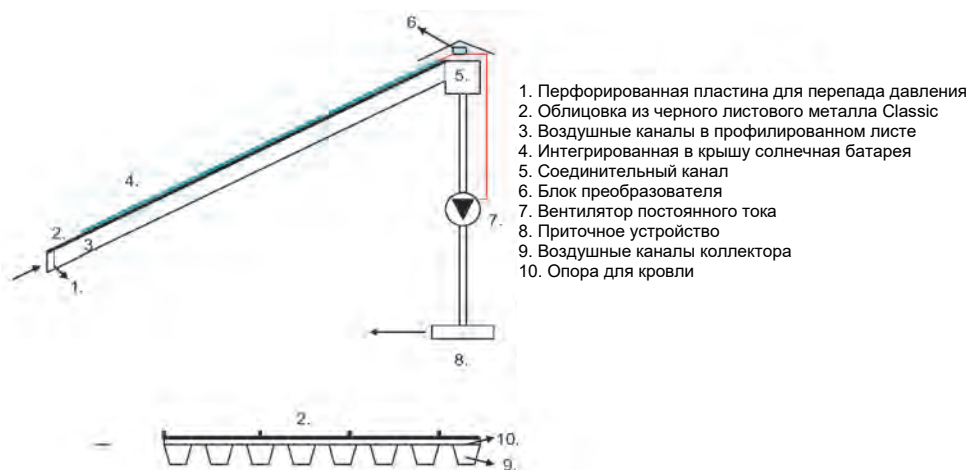
В следующих пунктах приводится краткое описание подходящих для проектов реновации инновационных кровельных систем с функцией аккумуляции солнечной энергии и ее преобразования в тепловую или электрическую энергию для частичного и полного покрытия потребности здания в энергии на отопление помещений, нагрев воды и/или производство электроэнергии.

### 6.6.1 Стальная кровля с интегрированной солнечной батареей

Данная батарея состоит из фотоэлектрических панелей, изготовленных из аморфного кремния, которые монтируются непосредственно в стальную фальцевую кровлю. Площадь солнечного элемента составляет 2,16 м<sup>2</sup>. Номинальная мощность и рабочее напряжение составляют 64 Вт и 24 В соответственно. Рабочие характеристики таких солнечных батарей были измерены на домах для испытаний компанией VTT. В климате Хельсинки такие солнечные батареи обеспечивают примерно 70 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Потенциал энергосбережения составляет 5–15 % для отдельно стоящего энергоэффективного дома.

### 6.6.2 Автономная система отопления на базе солнечного воздушного коллектора

Принцип работы автономной системы отопления на базе солнечного воздушного коллектора приводится на рис. 6.13. Автономная система отопления на базе солнечного воздушного коллектора состоит из интегрированного в крышу солнечного воздушного коллектора, интегрированной в крышу солнечной батареи, вентилятора и воздуховода для теплого воздуха. Площадь воздушного канала составляет 0,038 м<sup>2</sup>/м. Данная система предназначена для дополнительного обогрева жилых, складских и других производственных помещений, а также сушки различных продуктов.



**Рис. 6.13.** Принцип работы автономной системы отопления на базе солнечного воздушного коллектора

Система была протестирована на домах для испытаний компании VTT (рис. 6.14). Профилированный стальной лист выполняет функцию воздушного канала солнечного воздушного коллектора. По санитарным соображениям воздушный канал выполнен из листовой стали. Солнечный коллектор изготовлен из листовой стали со стоячим фальцем и выкрашен в черный цвет. Солнечная батарея интегрирована непосредственно в кровлю. Размеры здания для испытания: 2,4 × 7 м. На здании для испытания использовались тонкопленочные солнечные батареи размером 0,394 × 5,486 м. Номинальная мощность и рабочее напряжение составляли 128 Вт и 24 В соответственно. Энергия, вырабатываемая солнечной батареей, используется для питания вентилятора. Мощности этой батареи достаточно для установки вентилятора производительностью 120–150 л/с.

Данная система используется в период с весны по осень: 2–5 месяцев. В результате испытаний было установлено, что теплопроизводительность системы может составлять 1000–1500 кВт·ч.



Здание с крышей VTT. Уклон крыши составляет примерно 30°, на южной стороне. Воздушные каналы в профилированном листе.

**Рис. 6.14.** Крыша для испытания автономной системы солнечного воздушного отопления

### 6.6.3 Система отопления и вентиляции на солнечной энергии

Система отопления и вентиляции на солнечной энергии состоит из интегрированного в крышу солнечного коллектора, системы принудительной вентиляции с функцией рекуперации тепла, привода клапана типа «бабочка» для управления по измеряемой температуре и канальных нагревателей на приточных устройствах (как показано на рис. 6.15). Данная система используется в качестве основного источника отопления отдельно стоящих домов и таунхаусов. Конструкция и размеры солнечного коллектора зависят от размеров самой вышеописанной системы. Канальные нагреватели могут запитываться от любого источника энергии: электросети, системы централизованного отопления, системы геотермального отопления, пеллетных котлов и т. д.

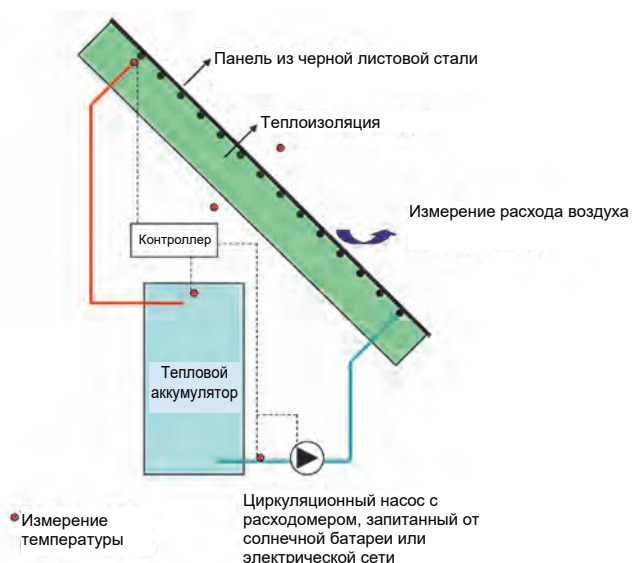


**Рис. 6.15.** Принцип работы системы отопления и вентиляции на солнечной энергии

Система отопления и вентиляции на солнечной энергии может обеспечить 2000–2500 кВт·ч для снижения потребности отдельно стоящего дома в энергии на отопление. Потенциал энергосбережения зависит от температуры в помещении и интенсивности вентиляции. В частности, весной из-за чрезмерного нагрева воздуха в помещении невозможно использовать все тепло, собранное с помощью панелей на крыше. Чтобы эффективно использовать это тепло, следует включить в состав системы отопления и вентиляции на базе солнечной энергии тепловой аккумулятор.

### 6.6.4 Интегрированный в крышу солнечный коллектор для системы водяного отопления

Были проведены лабораторные испытания в горячей камере с использованием опытного образца встроенного в крышу солнечного коллектора для системы водяного отопления. Система работает по следующему принципу: солнечная энергия нагревает воду, которая циркулирует в трубах, уложенных поверх теплоизоляции (рис. 6.16). На рис. 6.17 показан солнечный коллектор в процессе монтажа.



**Рис. 6.16.** Принцип работы встроенного в крышу солнечного коллектора для системы водяного отопления

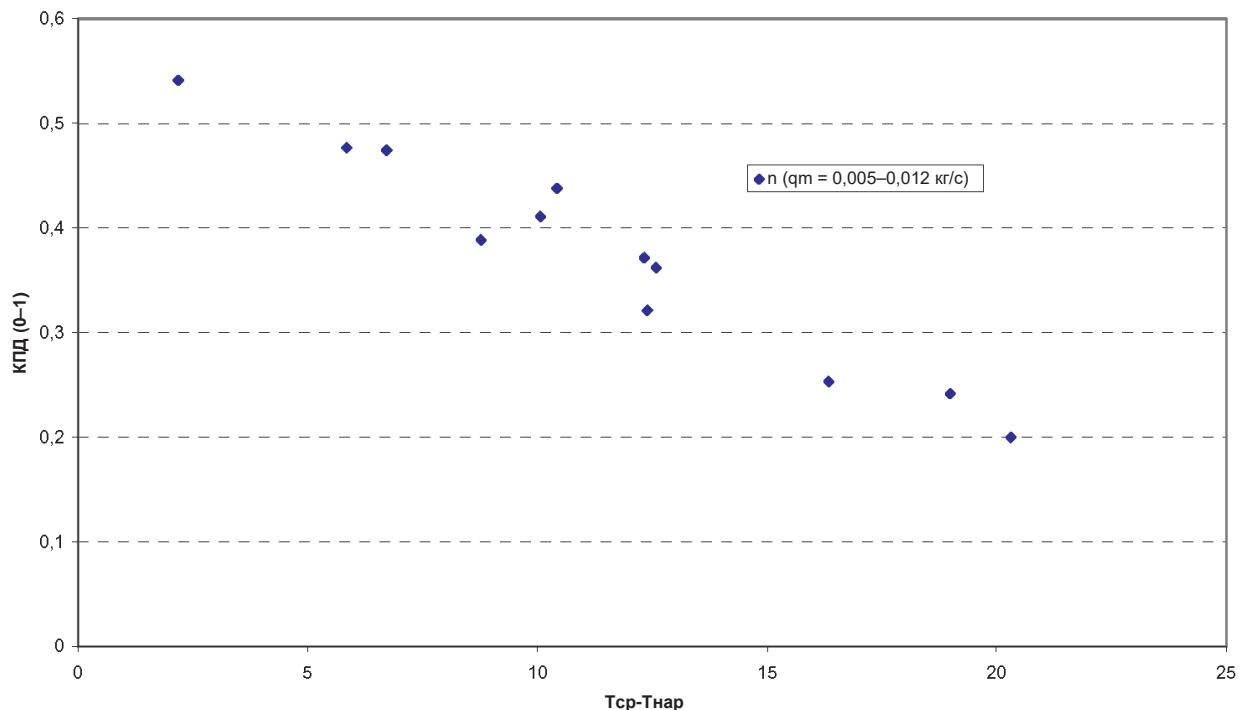




**Рис. 6.17.** Трубки для циркуляции воды, уложенные поверх теплоизоляции

Солнечный коллектор монтировался в вертикальную стену, на него была направлена лампа, имитирующая солнечное излучение, со средней интенсивностью около 640–690 Вт/м<sup>2</sup>. КПД и динамические характеристики солнечного коллектора измерялись для определения диапазона разности температур циркулирующей воды и наружного воздуха. Основными измеряемыми параметрами были массовый расход, температура воды на входе и выходе, температура воды в системе циркуляции в крыше и солнечное излучение на внешней стороне испытательного образца. Все испытания, по возможности, проводились в соответствии с требованиями стандарта EN 12975-2 [27]. Из полученных значений был вычислен тепловой КПД солнечного коллектора посредством деления энергии, передаваемой циркулирующей воде, на солнечное излучение, падающее на внешнюю поверхность коллектора.

КПД 20–55 % был зафиксирован при массовом расходе 0,005–0,012 кг/с и температуре наружного воздуха 0–10 °С. Результаты зависят от конкретного набора условий, например КПД будет выше при более низкой температуре воды на входе, более высоком массовом расходе или более высокой температуре наружного воздуха. На рис. 6.18 показано изменение КПД в зависимости от разности температур ( $T_{\text{сп}} - T_{\text{нар}}$ ), где  $T_{\text{сп}}$  — средняя температура воды, нагреваемой коллектором, а  $T_{\text{нар}}$  — температура наружного воздуха.



**Рис. 6.18.** Тепловой КПД солнечного коллектора для системы водяного отопления в зависимости от разности  $T_{\text{сп}} - T_{\text{нар}}$

### 6.6.5 Анализ применения солнечной батареи на крыше надстройки

Был проведен анализ параметров энергии, вырабатываемой солнечными батареями, интегрированными в крышу надстройки здания, в ходе которого учитывались такие аспекты, как возможность реализации различных схем, сопутствующие затраты, нагрузка на конструкцию и получаемые преимущества. Были изучены пять вариантов размещения панелей из кристаллического кремния двух типов с разной ориентацией. Анализ показал, что потребность в электроэнергии могут в значительной степени покрыть солнечные батареи, для установки которых на крыше достаточно места. Стандартный срок окупаемости рассмотренных вариантов составил 15 лет. (Системы поставляются с гарантией 25 лет при работе на 80 % мощности и расчетным сроком службы 50 лет).

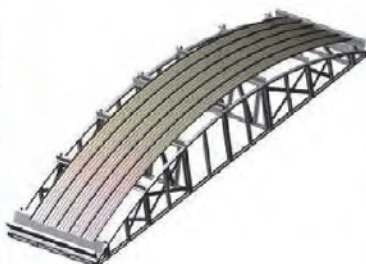
## 6.7 Указания по проектированию надстроек на крыше

### 6.7.1 Трансформация плоской крыши

К двум стандартным вариантам реконструкции относятся преобразование плоской крыши в скатную и создание дополнительного обитаемого пространства под крышей. Представленные на рынке легкие модульные конструкции из стальных холодногнутых профилей имеют большой потенциал применения в таких случаях. Несколько примеров приводится на рис. 6.19.



Трансформация плоской крыши в скатную с помощью легких стальных конструкций



Легкие модульные стальные конструкции



Трансформация плоской крыши и создание дополнительного обитаемого пространства под ней с помощью легких стальных конструкций

**Рис. 6.19.** Стальные конструкции для установки поверх плоской крыши

### 6.7.2 Трансформация скатной крыши

Достаточная внутренняя высота помещения является важным фактором при трансформации пространства под крышей. Большинство старых крыш обеспечивают высоту не менее 2,3 м, и этого достаточно для трансформации. Для увеличения ширины и внутренней высоты помещения широко используются мансардные окна.

Общие конструктивные изменения таких крыш для создания обитаемого пространства под ними включают установку:

- новых балок от фронтона к фронтому/общей стене восприятия дополнительной нагрузки на перекрытие;
- новых балок перекрытия между существующими лагами;
- каркасной стены поверх балки для частичной поддержки крыши;
- новых балок на уровне конька (или около вершины) от фронтона к фронтому/общей стене для большепролетных стропильных систем или большого нового мансардного окна ( $\geq 1,2$  м);
- стропильных затяжек в зависимости от величины пролета стропильной системы;
- удаление существующих подкосов, прогонов или внутренних элементов ферменной конструкции.

Традиционно вариант с использованием горячекатаных стальных балок считается предпочтительным несмотря на сложность их установки в ограниченном пространстве под крышей. В некоторых случаях балка разрезается на 2 или 3 небольших сегмента, которые затем скрепляются болтами. Можно представить, насколько трудозатратным является процесс материального обеспечения такого проекта. Более эффективным решением в данном случае является применение легких стальных конструкций из холодногнутых профилей.

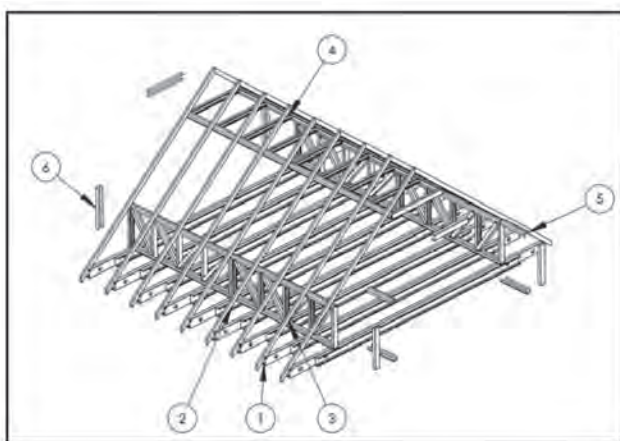
### 6.7.3 Крыша из легких стальных конструкций: «бесчердачная крыша»

Варианты бесчердачной крыши из легких стальных конструкций с использованием С- или Z-образных холодногнутох профилей описываются в разделе 6.3 и изображены на рис. 6.4. Модули легко монтируются на объекте с помощью болтов диаметром 12 или 16 мм, устанавливаемых в предварительно подготовленные отверстия (можно использовать и саморезы). Такую крышу можно легко адаптировать с учетом соответствующего жилого пространства и оконных проемов, например для установки зенитных фонарей *Velux*. Конструкция крыши может быть «теплой», когда на ее внешнюю сторону устанавливается ячеистый теплоизоляционный материал и крепится контробрешеткой и обрешеткой. Стропила из С-образных профилей с прорезями или перфорацией хорошо подходят для «холодной крыши», которая предполагает укладку теплоизоляции из минеральной ваты между стропилами.

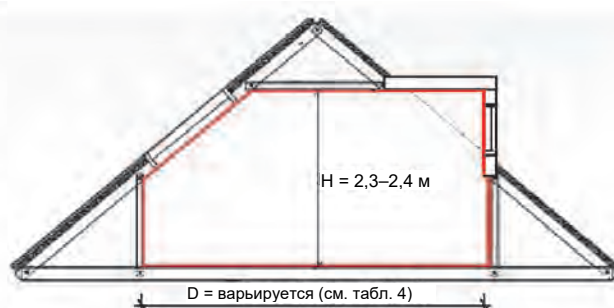
Бесчердачные крыши из легких стальных конструкций в дополнение к деревянным фермам представлены в двух основных вариантах:

- А-образные каркасы для усиления стропил и нижних поясов существующих ферм с помощью С-образных профилей. В этом случае стропильные фермы проходят между передним и задним фасадами;
- сквозные фермы, поддерживающие имеющиеся деревянные стропила. В этом случае новые сквозные фермы проходят между перегородками или фронтонами.

Практическое применение бесчердачной крыши показано на рис. 6.20 (а). Существующие деревянные элементы усилены в одном направлении с помощью С-образных профилей (элемент 1), закрепленных саморезами на деревянных балках перекрытия, а в другом направлении — с помощью сквозных ферм крыши (элемент 3), зафиксированных на существующих каменных/кирпичных торцевых стенах. Для компенсации геометрических погрешностей к стенам крепятся С-образные профили (элемент 6), а затем между ними устанавливаются фермы и фиксируются саморезами.



а) Применение стальных компонентов в бесчердачных крышах



б) Стандартное помещение при трансформации крыши с мансардным окном

Рис. 6.20. Требования к размерам пространства при трансформации крыши

### 6.7.4 Планирование размеров помещения в пространстве под крышей

Минимальная высота помещения ( $H$ ) при трансформации чердачного пространства составляет от 2,3 до 2,4 м. В основном мансардные окна устанавливаются на пологих, скатных крышах для увеличения ширины полезного пространства, как показано на рис. 6.20 (б). Возможная высота и длина помещения под крышей с учетом конкретного уклона и пролета крыши представлены ниже.

### Возможная высота помещения при трансформации крыши

| Уклон | Пролет | Возможная высота (Ah) м |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|--------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|       |        | 5                       | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 30°   |        | 1.44                    | 1.73 | 2.02 | 2.31 | 2.60 | 2.89 | 3.18 | 3.46 |
| 35°   |        | 1.75                    | 2.10 | 2.45 | 2.80 | 3.15 | 3.50 | 3.85 | 4.20 |
| 40°   |        | 2.10                    | 2.52 | 2.94 | 3.36 | 3.78 | 4.20 | 4.62 | 5.03 |
| 45°   |        | 2.50                    | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 4.50 | 5.00 | 5.50 | 6.00 |

**Примечание**

- Пролеты измеряются между мауэрлатами.
- Возможная высота (Ah) — это максимально возможная высота потолка под коньком (вершина крыши).
- Для балок перекрытия, конькового бруса и отделки необходимо оставить примерно 400 мм.
- Поднятые стропильные затяжки не учитывались.

■ Трансформация невозможна из-за недостаточной высоты помещения  
■ Трансформация возможна, но высота помещения составит ≤ 2,3 м за вычетом 400 мм на балки перекрытия, коньковый брус и отделку  
■ Трансформация возможна, высота помещения составит ≥ 2,3 м

### Возможная длина помещения при трансформации крыши

| Уклон | Пролет | Возможная длина помещения (d) м |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|--------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|       |        | 5                               | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 30°   |        | 1.88                            | 2.88 | 3.36 | 4.36 | 4.84 | 5.84 | 6.32 | 7.32 |
| 35°   |        | 2.43                            | 3.43 | 4.0  | 5.00 | 5.57 | 6.57 | 7.14 | 8.14 |
| 40°   |        | 2.85                            | 3.85 | 4.50 | 5.50 | 6.14 | 7.14 | 7.78 | 8.78 |
| 45°   |        | 3.20                            | 4.20 | 4.90 | 5.90 | 6.60 | 7.60 | 8.30 | 9.30 |

■ Трансформация невозможна из-за недостаточной высоты помещения  
■ Трансформация возможна, но высота помещения составит ≤ 2,3 м за вычетом 400 мм на балки перекрытия, коньковый брус и отделку  
■ Трансформация возможна, высота помещения составит ≥ 2,3 м

Старые деревянные балки перекрытия имеют относительно небольшие размеры (50 × 75–100 мм) и межцентровое расстояние от 400 до 600 мм. Они не рассчитаны на ту нагрузку на перекрытие, которая возникает при трансформации пространства под крышей. Как правило, их обычно используют для поддержки потолка. А для усиления между существующими балками перекрытия устанавливают новые легкие стальные профили. Стандартные размеры существующих деревянных стропил: 50 × 75–125 мм. Такие стропила необходимо усилить либо за счет крепления пары С-образных профилей по обе стороны от деревянного элемента, либо за счет установки стальной балки для уменьшения пролета между деревянными элементами.

Важным требованием при трансформации крыши является передача более высоких нагрузок от крыши с обитаемым пространством на фундамент через наружные стены. Для этого новая балка (или балки перекрытия) опирается на внешние стены или простенки. Однако если старые внутренние стены являются несущими, новые балки или балки перекрытия могут опираться и на них. В большинстве случаев старый фундамент способен выдержать дополнительную нагрузку, в противном случае требуется усиление старого фундамента. Как правило, дополнительная нагрузка на фундамент не должна превышать 20 % от первоначальной нагрузки. В большинстве домов внутренние несущие стены заканчиваются на уровне первого этажа, а имеющаяся крыша опирается на наружные стены. При необходимости использовать существующую внутреннюю стену в качестве несущей, необходимо убедиться, чтоб фундамент под этой стеной рассчитан на дополнительную нагрузку.

Обычно используются балки на 200 мм длиннее фактического пролета, чтобы длина опирающегося на стену конца составляла по 100 мм с каждой стороны. Для распределения нагрузки на кирпичные стены под опорные балки в основном устанавливаются стальные пластины или подферменные бетонные блоки. Например, кирпичные стены, выложенные на известковом растворе, имеют низкую общую прочность около 0,21 Н/мм<sup>2</sup>, поэтому опора размером 100 × 200 мм рассчитана только на нагрузку около 4 кН в месте установки балки.

### 6.7.5 Утепление крыши и защита от конденсата

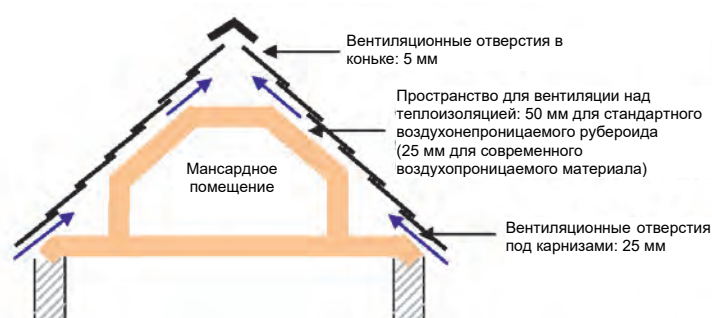
Модернизация крыши по-разному влияет на тепловые и энергетические характеристики здания. Поэтому необходимо учитывать следующие аспекты:

- коэффициент теплопередачи конструкции крыши до/после реновации (включая контроль мостиков холода). В современных зданиях это значение должно составлять не менее 0,2 Вт/(м<sup>2</sup>К), а зачастую и 0,15 Вт/(м<sup>2</sup>К);
- допускается лишь незначительное увеличение ограждающей конструкции здания в результате создания дополнительного пространства;
- контроль перегрева (большие поверхности, попадающие под действие солнечных лучей, при небольшой массе здания);
- воздухопроницаемость (необходимо улучшить воздухопроницаемость новой конструкции крыши).

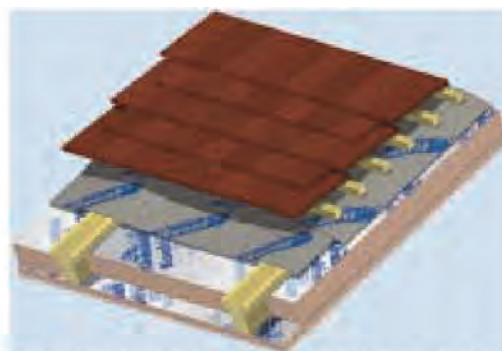
«Теплая» крыша является наиболее эффективным методом предотвращения формирования конденсата, но такое решение подходит только при установке новой крыши, трансформации старой плоской крыши путем установки новой на старую или замене старой черепицы на новую. Однако для последнего варианта может потребоваться специальное разрешение в связи с изменением старого контура крыши.

В большинстве случаев для трансформации чердачного пространства выбирается «холодная» крыша, которая предполагает модернизацию старой крыши с внутренней стороны. Как правило, выполняется укладка теплоизоляции между стропилами крыши и/или под ними. Кроме того, необходимо принять меры по предотвращению риска формирования конденсата, поскольку старый слой рубероида представляет собой воздухопроницаемую мембрану. Риска формирования конденсата можно избежать следующими способами:

- обеспечение сквозной вентиляции над слоем теплоизоляции на холодной стороне крыши, как показано на рис. 6.21 (а);
- или можно снять черепицу и заменить старый слой стандартного воздухонепроницаемого рубероида на паропроницаемый слой (воздухопроницаемый материал), как показано на рис. 6.21 (б). Пространство для вентиляции над паропроницаемым слоем можно уменьшить до 25 мм.



а) Сквозная вентиляция помещения под крышей для предотвращения риска образования конденсата



б) Между и под стропилами — теплоизоляция из современного воздухопроницаемого материала

**Рис. 6.21.** Организация вентиляции при установке новой крыши на старую

### 6.7.6 Пожарная безопасность

При трансформации крыши необходимо предусмотреть средства эвакуации и противопожарной защиты. Должны соблюдаться следующие правила общей пожарной безопасности:

- лестница должна выходить к двери, ведущей наружу в безопасное место, а не в другое помещение;
- все дверные проемы, а также стены лестничной клетки должны иметь предел огнестойкости минимум 30 минут, за исключением дверей туалетов и ванных комнат;
- должна быть предусмотрена система пожарных извещателей, запитанных от сети, минимум по одному извещателю на этаж;
- потолок второго этажа должен иметь предел огнестойкости минимум 30 минут;
- мансардные окна должны иметь предел огнестойкости минимум 30 минут на расстоянии 1 м в обоих направлениях. Мансардная крыша должна иметь предел огнестойкости минимум 30 минут.

# 7 ПРОГРАММА № 5: ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ЭКОУСТОЙЧИВОСТИ. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ

Рабочие отчеты по этой программе доступны по ссылке [www.steel-renovation.org](http://www.steel-renovation.org)

## 7.1 Цели

В рамках данной программы разрабатываются простые программные инструменты для работы с электронными таблицами, которые будут использоваться на этапе предварительного проектирования для оценки экономической целесообразности и экоустойчивости альтернативных металлических конструкций для реновации. Кроме того, был подготовлен ряд практических примеров применения технологий, изученных в рамках предыдущих программ.

## 7.2 Программный инструмент для экономического обоснования

### 7.2.1 Функциональные характеристики инструмента

Был разработан инструмент для многокритериального анализа, помогающий застройщикам принимать решение о сносе или реновации здания. Данный инструмент позволяет оценить потенциальную экономию средств в результате обновления отделки и/или крыши и/или строительства надстройки на крыше с применением стальных конструкций. Он учитывает такие аспекты, как экономия на счетах за отопление, снижение затрат на техническое обслуживание, улучшение внешнего вида, повышение арендной платы и увеличение срока службы здания. Национальные различия некоторых параметров также принимаются во внимание. Этот инструмент подходит для оценки прямоугольных многоэтажных жилых и коммерческих зданий, а также одноэтажных промышленных зданий.

Прежде всего, данный инструмент позволяет определить срок окупаемости. Самым сложным вопросом при расчете этого срока является определение энергосбережения в результате реновации. Инструмент предлагает два метода расчета экономии энергии:

- упрощенный метод, при котором экономия энергии оценивается самим инструментом на основе эмпирических зависимостей;
- метод прямого ввода, при котором пользователь может вводить результаты более подробного расчета энергии с помощью сторонней программы для теплового моделирования.

Экономическая модель учитывает чистое приведенное значение нижеследующих параметров (где уместно) для расчета сроков окупаемости.

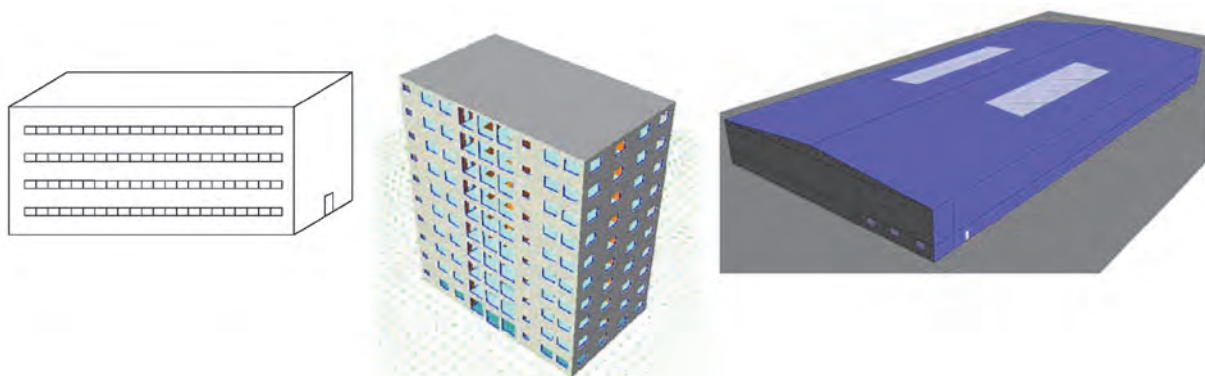
- Экономия средств за счет энергосбережения после реновации  
*Потребности здания в энергии до и после реновации оцениваются с использованием одного из двух методов, описанных выше. Чтобы преобразовать экономию энергии в экономию затрат, необходимо указать затраты на энергопотребление различных источников, поскольку они в разных странах отличаются.*
- Экономия за счет сокращения объема работ по техническому обслуживанию  
*Ожидается, что расходы на техническое обслуживание в связи с ремонтом существующих фасадов и крыши со временем возрастут, если не установить новую фасадную систему на старый фасад. Следовательно, установка новой фасадной системы на старый фасад приведет к снижению затрат на техническое обслуживание за счет прекращения обветшания.*
- Увеличение дохода от аренды после реновации  
*Ожидается, что после реновации арендная плата возрастет за счет улучшения условий. Для оценки увеличения дохода от аренды необходимо указать арендную плату за коммерческие, жилые и промышленные здания, поскольку они в разных странах отличаются.*

- **Дополнительный доход от дополнительных площадей**  
Одновременно с установкой новой фасадной системы на старый фасад часто создаются новые этажи путем организации надстройки на крыше. В результате появляется дополнительный доход от сдачи в аренду, поскольку арендная плата для этих новых помещений, как правило, выше, чем за помещения в старой части здания. Для оценки дохода от сдачи в аренду таких дополнительных помещений необходимо указать арендную плату за помещение в надстройке на крыше, поскольку она в разных странах отличается.
- **Стоимость строительно-монтажных работ**  
Необходимо указать стоимость строительно-монтажных работ по установке новой фасадной системы на старый фасад, новой крыши на старую и возведению надстройки на крыше жилых, коммерческих и промышленных зданий, поскольку они в разных странах отличаются.
- **Стоимость кредита для оплаты работ по реновации**  
В расчете учитывается сумма процентов, выплачиваемых при финансировании работ по реновации за счет кредита.

## 7.2.2 Параметрические исследования

Были проведены параметрические исследования с использованием программных инструментов для полного теплового моделирования зданий для определения эмпирических зависимостей между ключевыми параметрами, влияющими на энергоэффективность зданий. На рис. 7.1 показаны модели четырехэтажного офисного здания, десятиэтажного жилого и одноэтажного промышленного здания. Выявлено влияние следующих параметров на энергоэффективность:

- местоположение здания (климат);
- размеры здания (форма и высота);
- ориентация здания;
- процент остекления (зенитные фонари в промышленных зданиях);
- коэффициенты теплопередачи (отдельно для фасада и крыши, так как они отличаются);
- воздухопроницаемость;
- возведение надстройки на крыше (только для жилых и коммерческих зданий).



**Рис. 7.1.** Эталонные здания для параметрических исследований, офисное (слева), жилое (посередине) и промышленное (справа)

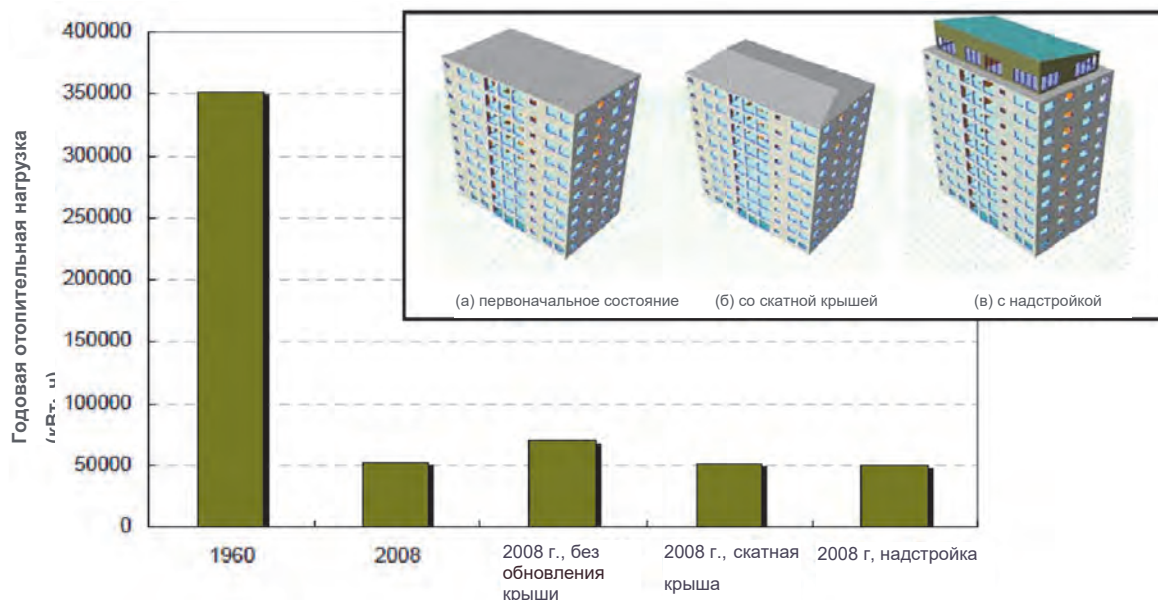
Потребность здания в энергии представляет собой многомерную функцию, учитывающую его компоненты (описываемые параметрами  $x_i$ ), климатические условия и назначение здания. Потребность здания в энергии  $Q_{p,до}$  до реновации (первоначальное состояние) может быть выражена следующим образом:

$$Q_{p,до} = f(x_{1,до}, \dots, x_{n,до}, \text{климат, назначение})$$

Аналогично, потребность того же здания в энергии  $Q_{p,после}$  после реновации (обновленное состояние) может быть выражена следующим образом:

$$Q_{p,после} = f(x_{1,после}, \dots, x_{n,после}, \text{климат, назначение})$$

Параметрические исследования дали множество полезных результатов, показывающих влияние рассматриваемых параметров на энергоэффективность зданий. На рис. 7.2 показана годовая отопительная нагрузка для нескольких конфигураций жилого дома, включая эталонное здание (1960 года постройки), а также здание в различных состояниях реновации (без замены фасадных систем (2008 г.); с установкой новой фасадной системы поверх старой и скатной крыши; с установкой новой фасадной системы поверх старой и надстройкой на крыше). Этот график показывает, что реновация позволяет добиться значительного энергосбережения.



**Рис. 7.2.** Годовая отопительная нагрузка для различных конфигураций жилого дома

На рис. 7.3 показана годовая нагрузка по отоплению и охлаждению для нескольких конфигураций коммерческого здания, включая эталонное здание (1960 года постройки), а также здание в различных состояниях реновации (без замены фасадных систем (2008 г.); с установкой новой фасадной системы поверх старой и скатной крыши; с установкой новой фасадной системы поверх старой и надстройкой на крыше). Этот график показывает, что несмотря на возможность значительного энергосбережения за счет реновации, потребность в энергии на охлаждение здания (2008 года постройки), соответствующего действующим стандартам энергоэффективности, на самом деле выше, чем у старого здания (1960 года постройки). Хотя первоначально задачи инструмента были ограничены оценкой потребности в энергии на отопление, приведенные выше результаты показывают, что нельзя игнорировать влияние реновации на потребность в энергии на охлаждение коммерческих зданий, поскольку она увеличивается по мере повышения эффективности отопления, а значит, можно получить недопустимое завышение оценки энергосбережения. Поэтому для коммерческих офисных зданий было проведено дополнительное моделирование, чтобы получить больше данных о влиянии реновации на потребности в энергии на охлаждение, чтобы определить эмпирические зависимости, позволяющие учитывать потребность в охлаждении.

Как для жилых, так и для коммерческих зданий эмпирические зависимости между ключевыми параметрами, влияющими на энергоэффективность здания, и потребностью в энергии были включены в простой метод расчета, применимый ко всем зданиям. Подробный отчет о результатах параметрического исследования для офисных зданий доступен в рабочем отчете по Программе № 1 от Рейнско-Вестфальского технического университета Аахена, а для жилого здания — в рабочем отчете по Программе № 5 от Оксфордского университета Брукса (субподрядчик Института стальных конструкций). Подробный отчет о параметрическом исследовании промышленных зданий доступен в рабочем отчете по Программе № 2 от компании Corus.



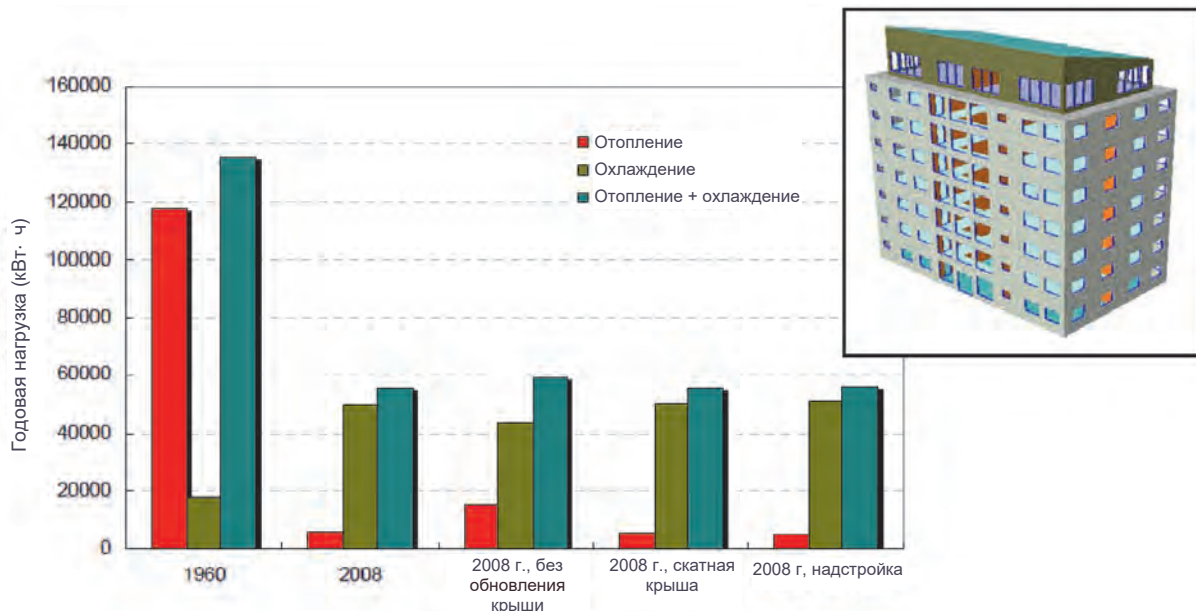


Рис. 7.3. Годовая нагрузка по отоплению и охлаждению коммерческих зданий

### 7.2.3 Вывод эмпирических зависимостей, определяющих потребность здания в энергии

Как описано в разделе 7.2.2, потребность здания в энергии является многомерной функцией его компонентов. Для определения такой функции  $f$  сначала было предложено оценивать чувствительность или эффективность различных параметров  $x_i$  (перечисленных в разделе 7.2.2) с использованием частных производных:

$$\text{эффективность } (x_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} (Q_{\text{р, после}})$$

Однако рассчитанная таким образом потребность в энергии сильно отличалась от значений, полученных с помощью полного теплового анализа, из чего был сделан вывод, что данный метод не подходит.

Затем было предложено использовать расчет теплотерь, как показано в уравнении (7.1) ниже, для оценки потребности в энергии на отопление (что соответствует общей потребности в энергии для жилых и промышленных зданий):

$$\text{Потребность в энергии на отопление (кВт}\cdot\text{ч)} = \sum_{i=01:00, 1 \text{ янв.}}^{i=12:00, 31 \text{ дек.}} (T_{\text{наруж}_i} - T_{\text{эт}_i}) \times \left( \frac{U_{\text{стена}} A_{\text{стена}} + U_{\text{крыша}} A_{\text{крыша}} + U_{\text{окно}} A_{\text{окно}}}{1000} + \frac{ACH + V_{\text{здание}} C_{\text{Рвозд}} P_{\text{возд}}}{3600} \right) \quad (7.1)$$

- где:
- $T$  – температура (К);
  - $U$  – коэффициент теплопередачи (Вт/м<sup>2</sup>К<sup>-1</sup>);
  - $A$  – площадь (м<sup>2</sup>);
  - $ACH$  – воздухообмен в час (ч<sup>-1</sup>);
  - $V$  – объем (м<sup>3</sup>);
  - $C_{\text{Рвозд}}$  – удельная теплоемкость воздуха (кДж<sup>-1</sup>/К<sup>-1</sup>);
  - $\rho_{\text{возд}}$  – плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>).

Результаты расчета потребности в энергии и экономии с помощью полного теплового анализа и приведенного выше метода значительно различаются (+/-20 %), поэтому это решение было также отклонено. Все же основной формат расчета теплотерь использовался для определения эмпирических зависимостей, поскольку он определяет влияние следующих факторов на общую потребность здания в энергии на отопление:

- климат, за счет вычисления разности между температурой воздуха в помещении и наружного воздуха;
- теплопотери через стены;
- теплопотери через крышу;
- теплопотери через окна/зенитные фонари;
- теплопотери из-за проникновения наружного воздуха.

По этой причине расчет теплопотерь был преобразован в следующую общую формулу для расчета потребности в энергии на отопление:

$$\text{Потребность в энергии на отопление (кВт}\cdot\text{ч)} = \Delta T_k \times (f_1 (U_{\text{стена}} A_{\text{стена}}) + f_2 (U_{\text{крыша}} A_{\text{крыша}}) + f_3 (U_{\text{окно}} A_{\text{окно}}) + f_4 (ACH \times V_{\text{здание}})), \quad (7.2)$$

где:  $\Delta T_k = \sum_{i=01:00, 1 \text{ янв.}}^{i=12:00, 31 \text{ дек.}} (T_{\text{наруж}_i} - T_{\text{эт}_i});$

$f_1, f_2, f_3, f_4$  – квадратичные функции вида  $f(x) = ax^2 + bx + c$ .

Приведенная выше общая формула справедлива для эмпирических зависимостей, определенных для всех трех типов зданий, однако  $\Delta T_k, f_1, f_2, f_3$  и  $f_4$  различаются для коммерческих, жилых и промышленных зданий.

В уравнении (7.2) член  $\Delta T_k$  представляет собой сумму ежечасно контролируемых значений разности температуры воздуха в помещении и эталонной температуры. Ежечасно контролируемая температура наружного воздуха  $T_{\text{наруж}}$  определялась на основе метеорологических данных, а эталонная температура  $T_{\text{эт}}$  вычислялась путем вычитания постоянной из температуры воздуха в помещении (температура определялась в соответствии с профилем распределения теплового потока, использованным в соответствующих полных тепловых анализах). Эта постоянная была выбрана таким образом, чтобы разница между потребностью в отоплении, рассчитанной по формуле (7.2), и потребностью, полученной в результате полного теплового моделирования, была минимальной (с помощью вычисления  $f_1, f_2, f_3$  и  $f_4$ ). Нижний индекс k значения  $\Delta T_k$  дифференцирует  $\Delta T$  для разных рассматриваемых климатических условий, так как он не будет одинаковым для климата Лондона, Берлина и Хельсинки из-за различий в температуре наружного воздуха. При этом постоянная, используемая для расчета  $T_{\text{эт}}$  по температуре воздуха в помещении, одинаковая независимо от рассматриваемого климата.

Переменные квадратичных функций  $f_1, f_2, f_3$  и  $f_4$ , а именно  $U_{\text{стена}} A_{\text{стена}}, U_{\text{крыша}} A_{\text{крыша}}, U_{\text{окно}} A_{\text{окно}}$  и  $ACH \times V_{\text{здание}}$  были стандартизированы, чтобы можно было описать здание любого размера или формы (с учетом площади и объема). Эти переменные характеризуют, соответственно, теплопотери через стены, крышу и окна, а также теплопотери из-за проникновения наружного воздуха.

Разница между потребностью в энергии на отопление, рассчитанной с помощью эмпирических зависимостей, определенных с помощью уравнения (7.2) и с помощью полного теплового анализа для жилых и промышленных зданий, считается допустимой (+/-9 %) для использования в программе для экономического обоснования.

Эмпирическая зависимость для расчета потребности в энергии на охлаждение для коммерческих зданий была получена с помощью той же общей формулы, что и для оценки потребности в энергии на отопление. Разница между потребностью в энергии на охлаждение, рассчитанной с помощью эмпирической зависимости, и полным тепловым анализом также считается допустимой (+/-10 %).

#### 7.2.4 Реализация программного инструмента

Данный программный инструмент был реализован в виде электронной таблицы на базе Microsoft Excel. На следующих рисунках показаны скриншоты из данной программы.

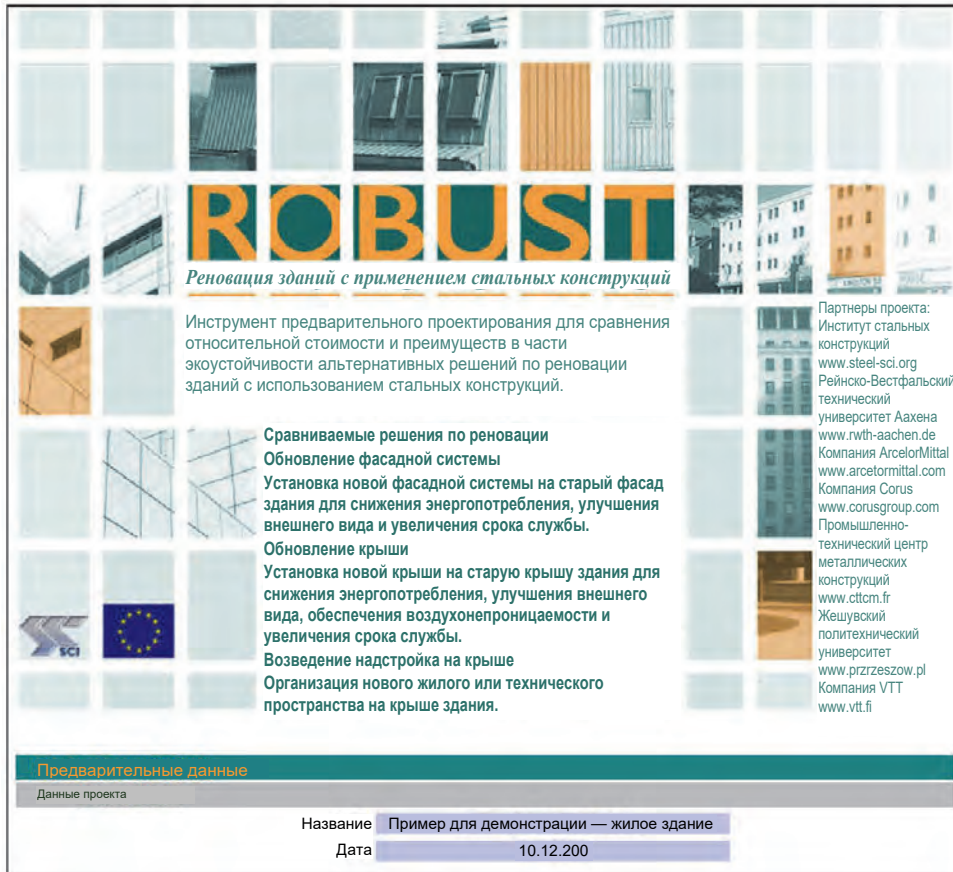


Рис. 7.4. Скриншот главного экрана программы

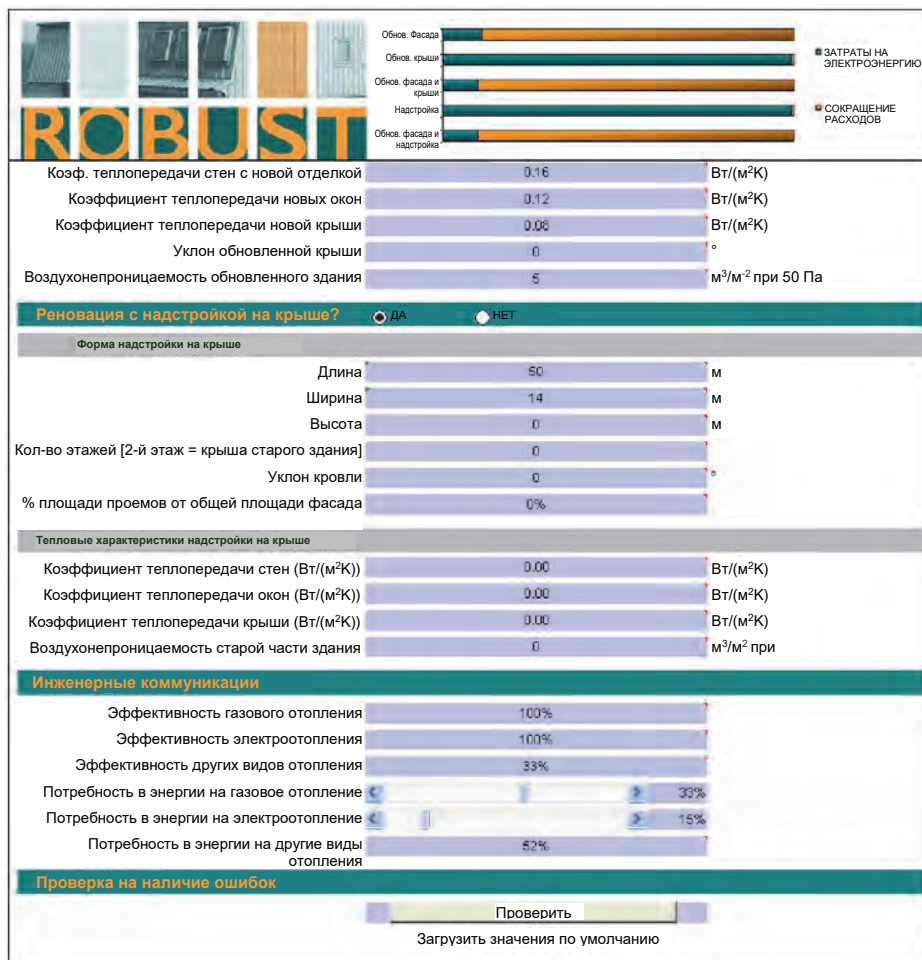


Рис. 7.5. Скриншот раздела «Здание после реновации»

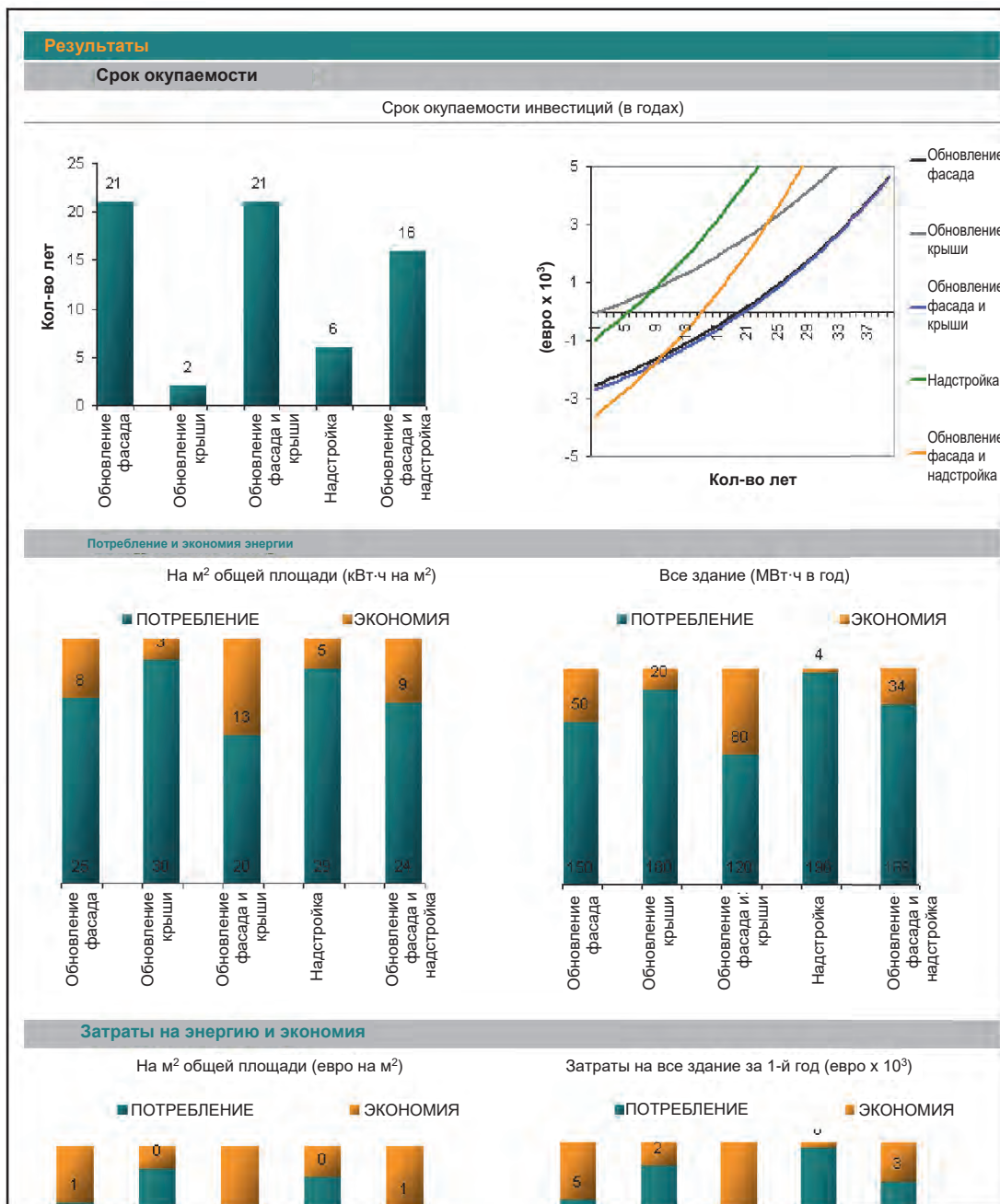


Рис. 7.6. Скриншот раздела «Результаты»

## 7.2.5 Выводы

Если говорить об энергосбережении, то инструмент для экономического обоснования показывает, что максимальное сокращение энергопотребления достигается за счет установки новой фасадной системы на старый фасад и установки новой крыши на старую. Что касается срока окупаемости инвестиций, инструмент показывает, что сама по себе установка новой крыши на старую окупается быстрее всего в виду своей относительно невысокой стоимости и значительного энергосбережения. Инструмент также показывает, что установка новой фасадной системы на старый фасад (без возведения надстройки на крыше) отличается самым длительным сроком окупаемости в связи с высокими затратами на строительно-монтажные работы по сравнению с достигаемым энергосбережением. И наконец, инструмент показывает, что возведение надстройки на крыше имеет максимально короткий срок окупаемости инвестиций благодаря дополнительному доходу от аренды новых площадей и повышения энергоэффективности.

## 7.3 Программный инструмент для обоснования экоустойчивости

Был разработан простой инструмент для работы с электронными таблицами, который оценивает углеродный след от ряда решений по реновации промышленных, коммерческих и жилых зданий.

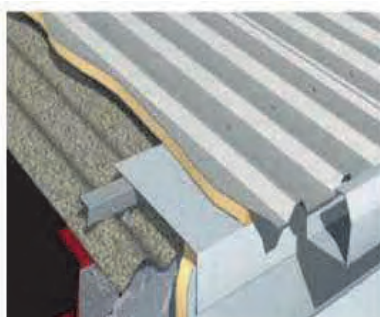
### 7.3.1 Выявление зависимости между коэффициентом теплопередачи и углеродным следом

По результатам анализа современной европейской практики была разработана матрица из тридцати шести различных решений по реновации промышленных, коммерческих и жилых зданий. Рассматриваемые решения:

- покраска;
  - установка новой фасадной системы на старый фасад;
  - установка новой крыши на старую;
  - установка новой фасадной системы с заменой старого фасада;
  - установка новой крыши с заменой старой;
  - возведение надстройки на крыше/организация обитаемого пространства под крышей
- На рис. 7.7 показаны шесть примеров рассмотренных вариантов реновации.



Установка новой крыши поверх старой и новой фасадной системы поверх старой из листового асбеста, сборная система



Установка новой крыши поверх старой из листового асбеста и установка новой фасадной системы из бетонных блоков с композитными полиуретановыми панелями фирмы Sogus на старый фасад



Облицовка из кирпича с использованием ячеистого теплоизоляционного материала, листовой стяжки и дополнительного каркаса



Трансформация плоской крыши в скатную с применением стального каркаса



Установка композитных панелей с минеральной ватой

**Рис. 7.7.** Примеры рассмотренных стандартных вариантов реновации

Десять решений были отобраны для оценки жизненного цикла (LCA) с целью разработки алгоритма описания эмпирической зависимости между коэффициентом теплопередачи для каждого варианта реновации и связанного с ним выброса углерода  $\text{CO}_2/\text{m}^2$ . Сначала были сопоставлены характеристики материалов для десяти выбранных вариантов реновации. Среди этих характеристик были вес, объем, площадь и толщина конструктивных слоев каждого варианта реновации. Для каждого решения был проведен анализ углеродного следа с использованием существующих данных об оценке жизненного цикла (LCA) из экологических деклараций продукции (ЭДП) Confidex Sustain [28] или данных об углеродном следе  $\text{CO}_2$  из общедоступных источников, таких как профессиональная база данных по оценке жизненного цикла GaVi [29] и оценка углеродного следа и потребления энергии от Университета Бата [30]. В рамках анализа был рассмотрен широкий диапазон значений коэффициента теплопередачи (0,15–0,45 Вт/ $\text{m}^2\text{K}$ ) для каждого решения по реновации. Были внесены поправки с учетом увеличения толщины теплоизоляции и стальных кронштейнов для данного диапазона значений коэффициента теплопередачи.

Для анализа углеродного следа были сделаны следующие допущения, частично основанные на допущениях, использованных при создании исходных ЭДП для облицовки:

|  |   |
|--|---|
| данные оценки полного жизненного цикла изделия;  | прогоны и направляющие включаются по мере необходимости;  |
| использование методов замены/расширения системы;   | типы теплоизоляции композитных панелей: ППУ/ПИР;  |
| пластизольное покрытие на верхнем листе и полиэстер на нижнем листе;                             | пентан в качестве вспенивающего агента в теплоизоляции из ППУ/ПИР;  |
| 100 % переработка стали по истечении срока службы композитной панели;                            | теплоизоляция сборных систем на основе минеральной ваты;  |
| переработка 79 % и повторное использование 15 % сборных систем;                                  | содержание стали в сборных системах такое же, как и в кассетных системах;   |
| прочие компоненты, например наполнители профилей, мастики, мембрана VCL и другие, не включаются; | предполагается, что толщина внутренней стальной панели составляет 0,4 мм, а внешней стальной панели сборной системы — 0,7 мм; |
| теплоизоляция утилизируется по истечении срока службы;   | предполагается, что толщина и внутреннего и внешнего стального листа композитной (вспененной) панели составляет 0,5 мм.       |

На рис. 7.8 представлены проанализированные варианты реновации. Результат анализа углеродного следа показан на рис. 7.9. На графике показан углеродный след ( $\text{кг CO}_2/\text{м}^2$ ) с соответствующим коэффициентом теплопередачи (значения  $U$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ) для каждого из десяти выбранных вариантов реновации. На основе этих данных с помощью алгебраического уравнения шестого порядка для каждого из вариантов реновации была выведена эмпирическая зависимость между углеродным следом и коэффициентом теплопередачи. Пример уравнения приводится на графике. По графику видно, что углеродный след от композитных панелей (A2, B2, C2 и E2) выше, чем от сборных систем (A1, B1, C1 и E1). Это связано с тем, что содержание углерода в теплоизоляции из вспененного ППУ/ПИР выше, чем в теплоизоляции из минеральной ваты.

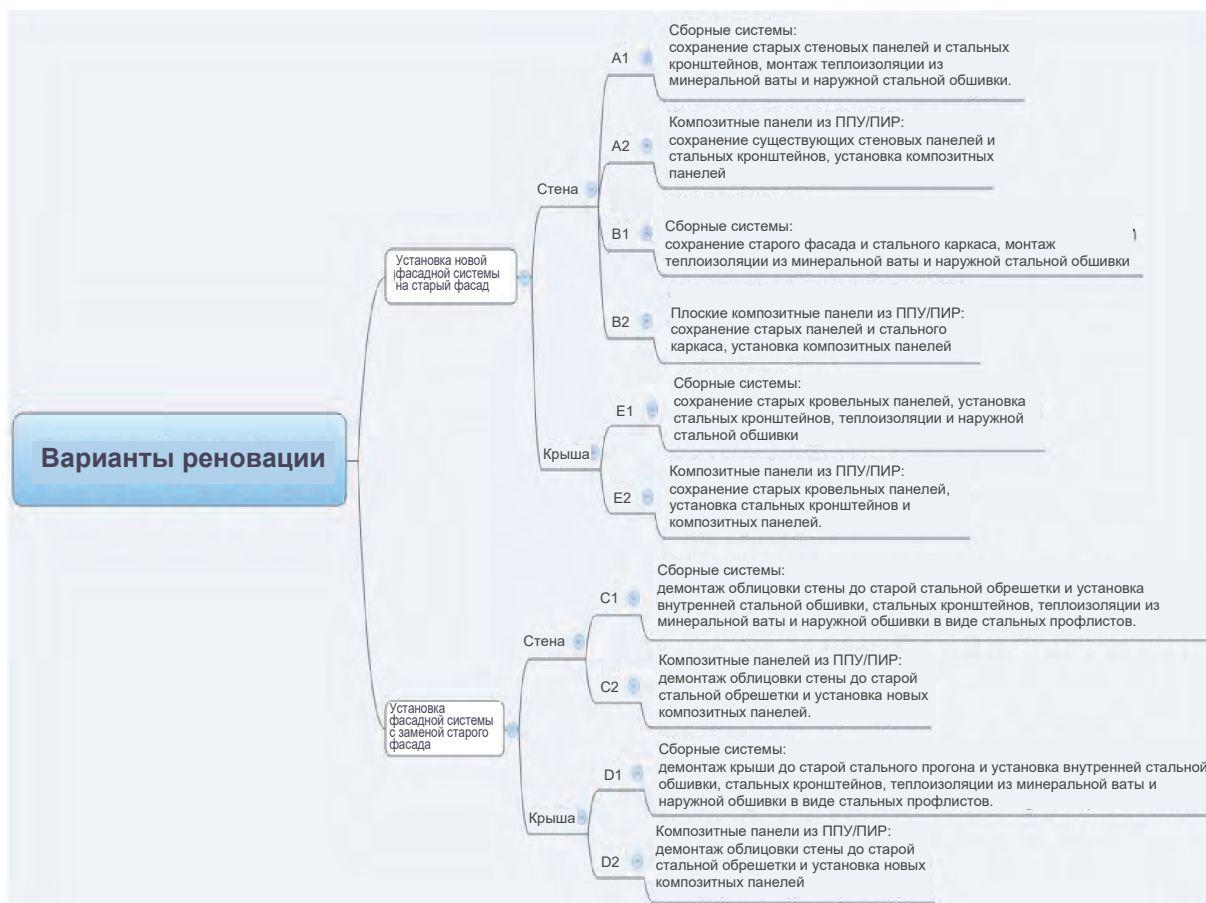


Рис. 7.8. Десять реализованных в программе решений по реновации

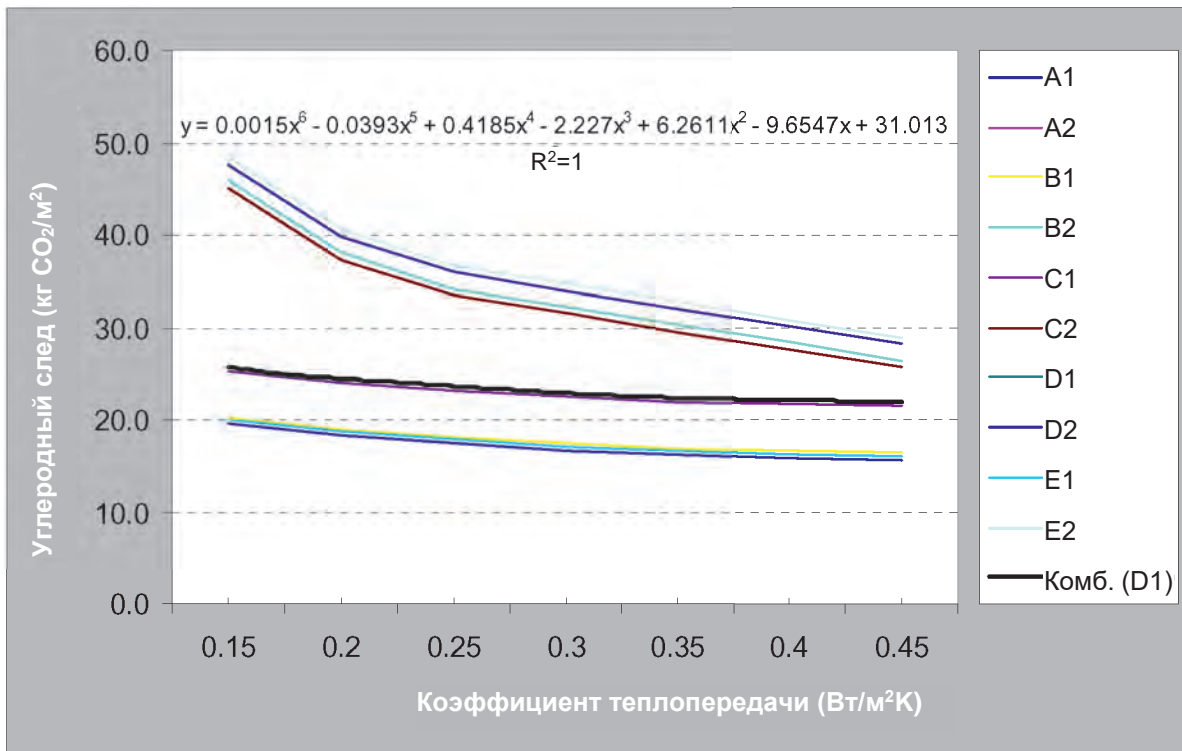


Рис. 7.9. Углеродный след и коэффициент теплопередачи для вариантов реновации

График также показывает, что чем лучше теплоизоляция ограждающей конструкции здания, тем выше углеродный след. Главным образом это связано с тем, что для достижения более низких значений  $U$  необходимо увеличить толщину теплоизоляции. Это говорит о том, что повышение энергоэффективности здания и снижение энергопотребления для его эксплуатации ведет к значительному увеличению углеродного следа в рамках всего жизненного цикла здания. Более ранние исследования показали, что общий углеродный след теплоустойчивых зданий значительно увеличивается по мере повышения энергоэффективности здания, а по результатам исследований теплоустойчивых жилых домов углеродный след может составлять до 40–60 % от общего энергопотребления [31, 32, 33]. Тем не менее, общий углеродный след теплоустойчивых зданий или зданий, отремонтированных в соответствии с текущими нормативными требованиями к теплоизоляции, намного ниже, чем у зданий, построенных до введения норм в 2006 году.

Эти результаты подчеркивают важность комплексной оценки энергоэффективности и общего углеродного следа зданий. Текущая практика единого учета энергоэффективности на этапе проектирования может вводить в заблуждение и давать неполное представление.

### 7.3.2 Разработка инструмента

Инструмент представляет собой электронную таблицу Microsoft Excel с тремя простыми рабочими листами. На первом листе приводится описание инструмента, пошаговое руководство по эксплуатации и список предположений. На втором рабочем листе приводятся поля для ввода данных (рис. 7.10). В верхней части листа расположены фильтры для сортировки данных по типу здания (промышленное, коммерческое и жилое), варианту реновации и т. д. Данный инструмент облегчает анализ различных комбинаций. Кнопкой «Добавить решение» можно добавить новую комбинацию для анализа в таблицу текущих решений. Эта таблица связана с листом отчета, в котором результаты анализа отдельного решения и/или комбинации решений оформляются в виде графика, как показано на рис. 10 и 12.

| ROBUST, оценка жизненного цикла: калькулятор углеродного следа |   |             |   |             | Данные, вводимые пользователем |                                 |                                      |                                       |
|--|---|-------------|---|-------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Тип здания   | Вариант реновации   | Код решения | Описание решения  | Иллюстрация | Включить в решение             | Кэфф. теплопроводности (Вт/м·К) | Площадь ограждающих конструкций (м²) | Углеродный след (кг CO <sub>2</sub> ) |
| Промышленное   | Установка новой фасадной системы на старый фасад          | A1          | Сборные системы/кассетные системы: сохранение старых стеновых панелей и стальных кронштейнов, монтаж теплоизоляции из минеральной ваты и наружной стальной обшивки  |             | Нет                            | 0.1                             | 1                                    | 24.78                                 |
| Промышленное   | Установка новой фасадной системы на старый фасад          | A2          | Композитные панели из ППУ/ПИР: сохранение старых стеновых панелей и стальных кронштейнов, установка композитных панелей   |             | Нет                            | 0.1                             | 1                                    | 53.68                                 |
| Промышленное   | Установка новой фасадной системы с заменой старого фасада | C1          | Сборные системы/кассетные системы: демонтаж облицовки стены до старой стальной обрешетки и установка новой внутренней стальной обшивки, стальных кронштейнов, теплоизоляции из минеральной ваты и наружной стальной обшивки |             | Нет                            | 0.1                             | 1                                    | 30.59                                 |
| Промышленное   | Установка новой фасадной системы с заменой старого фасада | C2          | Композитные панели из ППУ/ПИР: демонтаж облицовки стены до старой стальной обрешетки и установка новых композитных панелей  |             | Да                             | 0.3                             | 15000                                | 472995.86                             |
| Промышленное   | Установка новой крыши с заменой старой                    | D1          | Сборные системы/кассетные системы: демонтаж крыши до старого стального прогона и установка новой внутренней стальной обшивки, стальных кронштейнов, теплоизоляции из минеральной ваты и наружной стальной обшивки           |             | Нет                            | 0.25                            | 5000                                 | 118392.19                             |
| Промышленное   | Установка новой крыши с заменой старой                    | D2          | Композитные панели из ППУ/ПИР: демонтаж крыши до старого стального прогона и установка новых композитных панелей  |             | Да                             | 0.25                            | 5000                                 | 179762.67                             |
| Промышленное   | Установка новой крыши на старую                           | E1          | Сборные системы/кассетные системы: сохранение старых кровельных панелей, установка стальных кронштейнов, теплоизоляции и наружной стальной обшивки  |             | Нет                            | 0.25                            | 5000                                 | 89347.19                              |
| Промышленное   | Установка новой крыши на старую                           | E2          | Композитные панели из ППУ/ПИР: сохранение старых кровельных панелей, установка стальных кронштейнов, композитных панелей  |             | Нет                            | 0.25                            | 5000                                 | 183362.67                             |

| Текущие решения      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| Название решения     | Углеродный след (кг) для сравнения |
| 1 Решение 1 (A1)     | 250 002.51                         |
| 2 Решение 2 (A2)     | 483 795.858                        |
| 3 Решение 3 (C1)     | 337 167.51                         |
| 4 Решение 4 (C2)     | 472 995.858                        |
| 5 Решение 5 (A1, E1) | 339 349.8973                       |
| 6 Решение 6 (A2, E2) | 687 158.521                        |
| 7 Решение 7 (C1, D1) | 455 559.8973                       |
| 8 Решение 8 (C2, D2) | 652 758.521                        |
| 9                    | Нет                                |
| 10                   | Нет                                |

Рис. 7.10. Поля для ввода данных

### 7.3.3 Демонстрация инструмента на примере Поттерс Плейс

Инструмент использовался для сравнения четырех решений по реновации Поттерс Плейс, стандартного крупногабаритного промышленного ангара 1960-х годов постройки, который подвергся полной реконструкции (см. пункт 4.6.1):

- установка новой фасадной системы на старый фасад с применением сборной системы (решение 1) и композитных панелей (решение 2);
- установка новой фасадной системы с заменой старого фасада с применением сборной системы (решение 3) и композитных панелей (решение 4).

Результат анализа показан на рис. 7.11. Решение 1 (установка новой фасадной системы на старый фасад с применением сборной системы) обеспечивает наименьший углеродный след из-за относительно небольшого количества используемого материала. Для установки новой фасадной системы на старый фасад с применением сборной системы необходимо только прикрепить стальные кронштейны к старому фасаду, установить теплоизоляцию из минеральной ваты и затем наружную стальную обшивку. Другой вариант, система композитных панелей состоит из стальных кронштейнов, которые крепятся к старому фасаду, а также двух слоев стальной обшивки и панелей из ППУ/ПИР (пенополиуретан и полиизоцианурат). В этой системе используется больше материала, а следовательно, и больше ее углеродный след.

Следует также отметить, что по результатам анализа у решения 4 (установка новой фасадной системы с заменой старого фасада с применением композитных панелей) углеродный след немного ниже по сравнению с решением 2 (установка новой фасадной системы на старый фасад с применением композитных панелей). Причина в том, что при установке новой фасадной системы с заменой старого фасада с применением композитных панелей обычно требуются новые кронштейны и обрешетка для крепления композитных панелей на старом фасаде, тогда как при установке новой фасадной системы с заменой старого фасада с применением композитных панелей предполагается демонтаж старого фасада до стальной



обрешетки, на которую монтируются композитные панели. Таким образом, старую обрешетку по большей части можно использовать повторно при замене облицовки фасада. Кроме того, данный инструмент не учитывает углеродный след от демонтажа и утилизации старого фасада. Определение этого углеродного следа очень сложный процесс, который не входит в круг задач настоящего проекта.

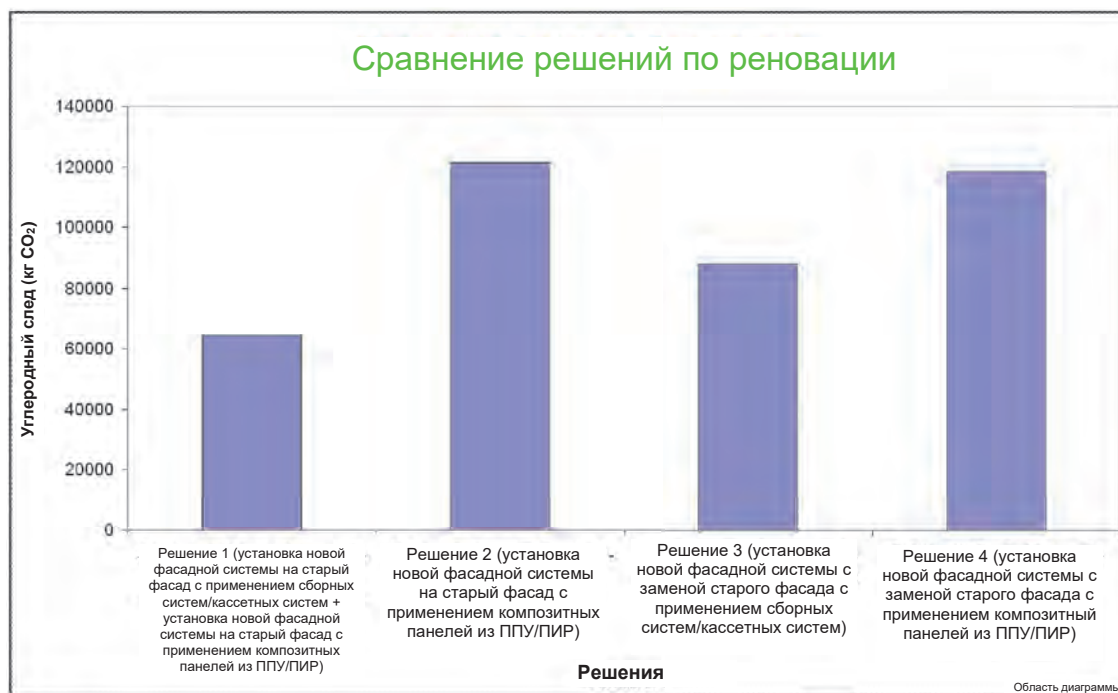


Рис. 7.11. График сравнения решений по реновации

## 7.4 Оценка реновации методом BREEAM и HQE

Было проведено исследование оценки, которую может получить надстройка здания с помощью двух инструментов экологической оценки (оценка касается только надстройки, а не всего здания). Были рассмотрены два метода оценки: индивидуальная оценка по методу BREEAM (метод экологической оценки эффективности зданий), выполненная на этапе проектирования и закупок, и оценка по методу HQE (стандарт высокого качества окружающей среды), который является стандартом экологичного строительства во Франции.

Оба метода экологической оценки являются добровольными программами, которые служат для определения углеродного следа зданий и принятия соответствующих мер для его сокращения. Кроме того, эти методы предполагают вознаграждение успешных проектов минимизации вредного воздействия на экологию. Несмотря на то, что один метод английский, а другой французский, оба они направлены на создание гармонической связи зданий с природными условиями места застройки и опираются на схожие ключевые аспекты. На основе полученных данных в случае конкретного проекта надстройки будет проведена официальная оценка по индивидуальному контрольному списку, составленному Научно-исследовательским институтом по строительству на базе точного описания проекта, составленного на этапе проектирования. Тем не менее, для выполнения этого задания была создана индивидуальная модель, в которой перечислены все возможные баллы, используемые именно для оценки проектов такого рода.

С помощью готового контрольного списка HQE или контрольного списка, который был бы создан Научно-исследовательским институтом по строительству, удалось определить, какую оценку получить легче всего, а какую сложно из-за особенностей проекта или даже невозможно.

Оценки были разделены на четыре группы:

- оценки, рекомендуемые для данного здания, так как они достижимы для всех проектов независимо от размера или местоположения здания;
- оценки, которые применимы к конкретному объекту, доступны не для всех проектов, однако могут быть реализованы/достигнуты при определенных условиях;
- оценки, которые труднее всего получить из-за особенностей процедуры, проектного решения или можно получить, только превысив бюджет, в этих случаях может потребоваться доработка проектного решения для достижения необходимой оценки;
- оценки, неприменимые для проекта надстройки.

В таблице 7.1 представлен обзор полученных оценок по всем 10 параметрам BREEAM.

**Таблица 7.1** Обзор результатов оценки по методу BREEAM

| ОЦЕНОЧНАЯ<br>МАТРИЦА BREEAM    | ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ<br>ОЦЕНКА<br>BREEAM | Рекомендуемая<br>оценка<br>A | Оценка<br>конкретного<br>объекта<br>B | Оценка<br>улучшенного<br>проекта<br>C | Неприменимо<br>D | ОБЩАЯ<br>ОЦЕНКА |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|
| УПРАВЛЕНИЕ                     | 12 %                              | 12                           | 1                                     | 7                                     | 1                | 20              |
| КОМФОРТ<br>МИКРОКЛИМАТ         | 15 %                              | 13                           | 0                                     | 2                                     | 1                | 16              |
| ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ              | 19 %                              | 11                           | 0                                     | 13                                    | 0                | 24              |
| ТРАНСПОРТИРОВКА                | 8 %                               | 1                            | 5                                     | 0                                     | 6                | 7               |
| РАСХОД ВОДЫ                    | 6 %                               | 5                            | 0                                     | 2                                     | 1                | 8               |
| МАТЕРИАЛЫ                      | 13 %                              | 13                           | 1                                     | 4                                     | 1                | 18              |
| ОТХОДЫ                         | 8 %                               | 4                            | 0                                     | 2                                     | 0                | 6               |
| ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ<br>И ЭКОЛОГИЯ | 10 %                              | 5                            | 9                                     | 2                                     | 5                | 12              |
| ЗАГРЯЗНЕНИЕ                    | 10 %                              | 3                            | 6                                     | 4                                     | 6                | 13              |
| ИННОВАЦИИ                      |                                   | 1                            | 0                                     | 8                                     | 0                | 9               |
| ОБЩАЯ ОЦЕНКА                   |                                   | 68                           | 22                                    | 44                                    | 21               | A+C+D<br>133    |

Исследование показало, что значительная часть оценок зависит от конкретного объекта, а следовательно, неприменима непосредственно к надстройке. Если оценивать все здание (старое здание + надстройка), то окончательная оценка будет почти полностью зависеть от старого здания.

## 7.5 Практические примеры применения технологий, изучаемых в данном проекте

Было подготовлено одиннадцать исследований недавних практических примеров применения технологий, изучаемых в рамках данного проекта, в разных европейских странах. Далее приводится обзор результатов исследования четырех примеров.

### **Установка новой фасадной системы на старый фасад здания промышленного ангара с применением системы SolarWall™ (г. Дарем, Великобритания)**

На старый юго-восточный фасад промышленного здания были установлены металлические солнечные коллекторы системы SolarWall™ площадью 410 м<sup>2</sup>, после чего энергопотребление системы отопления контролировалось в течение 12 месяцев (см. также пункт 3.10.2). Тепло, собранное и переданное в систему вентиляции здания, составило 19 % от общей потребности в энергии на отопление, т. е. 70 061 кВт·ч из 365 974 кВт·ч. Система SolarWall™ в сочетании с системой вентиляции, уменьшающей расслоение воздушного потока в здании, привели к сокращению потребности в газовом отоплении на 303 543 кВт·ч. Это соответствует 58,9 тоннам CO<sub>2</sub> или 51 % потребления в предыдущем году до установки SolarWall™.



Металл. солнечные коллекторы системы SolarWall™: перфорированные панели Юго-восточная сторона здания с новой фасадной системой SolarWall™ поверх старого фасада

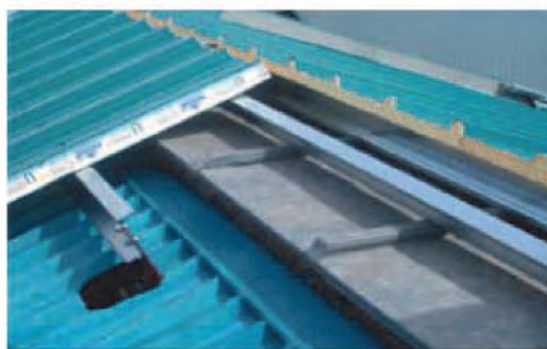
**Рис. 7.12.** Установка новой фасадной системы на старый фасад промышленного здания с применением системы SolarWall™ (г. Дарем, Великобритания)

### **Установка новой фасадной системы на старый фасад промышленного здания с применением композитных панелей (Шотландия)**

На данное промышленное здание были установлены композитные панели общей площадью около 11 500 м<sup>2</sup> с коэффициентом теплопередачи 0,25 Вт/м<sup>2</sup>К. Проект был завершен за 30 недель без остановки производства. Ключевой особенностью данного проекта была установка новых кляммеров на стальные стропила и прогоны из гнутых профилей, которые крепились к новой фасадной системе. Это было связано с тем, что расстояние между старыми прогонами не обеспечивало достаточную опору для новых композитных панелей.



Отверстие в крыше и новый кляммер, прикрепленный к стропилу



Установка новых композитных панелей на новый прогон

**Рис. 7.13.** Монтаж композитных панелей на промышленное здание в Шотландии

### **Надстройка на крыше здания университета в Жешуве, Польша**

Реновация трехэтажного монолитного здания из бетона 1950-х годов постройки была выполнена путем надстройки двух дополнительных этажей. Поскольку строительные работы можно было производить только в течение трех месяцев летних каникул, для надстройки на кровле был выбран легкий стальной каркас, чтобы новую конструкцию можно было легко и быстро собрать с минимальными изменениями конструкции старого здания. Наружные стены выполнены из легких стальных профилей (С-образные профили С 90 или С 140) с шагом 600 мм, уложенные сверху и снизу в U-образные профили U 90 или U 140.

Теплоизоляционные характеристики фасада были значительно ниже современных требований, поэтому была произведена его реновация путем установки новых окон и нанесения на старый фасад слоя ETICS (наружная композитная теплоизоляция) для существенного повышения теплоизоляции.



Надстройка на крыше в процессе строительно-монтажных работ    Здания с 2мя дополнительными этажами после реновации

**Рис. 7.14.** Надстройка на крыше здания университета в Жешуве, Польша

### **Реновация офисного здания в Милане**

В рамках двух строительных проектов, реализованных друг за другом в 2006 году, была произведена существенная реновация офисного комплекса Valtellina 1960-х годов постройки. Конструкция старого здания была сохранена без изменений и использовалась в качестве несущего каркаса, в то время как фасады, крыша и внутренние помещения были отремонтированы.



Фото здания до реновации



Здание после реновации

**Рис. 7.15.** Офисное здание Valtellina в Милане

На главный фасад была установлена двойная обшивка из стали и стекла общей площадью 600 м<sup>2</sup>, что позволило сэкономить энергию и добавило легкости архитектурной конструкции. Между внешней и внутренней обшивкой оставили зазор 60 см. Это пространство выполняет функцию буферной зоны, которая помогает сократить потребность в дополнительном отоплении или охлаждении. В зависимости от сезона теплый или холодный воздух поступает в это пространство из помещений или с улицы и выходит через стеклянные жалюзи, расположенные в верхней части наружной обшивки. Расход воздуха в буферной зоне и открытие жалюзи контролируются с главного компьютера, к которому подключены датчики, расположенные между двумя стеклянными панелями обшивки.

## 8 ВЫВОДЫ

В рамках данного проекта рассматривалась реновация и модернизация старых жилых, промышленных и коммерческих зданий с применением стальных конструкций, при этом основное внимание уделялось таким решениям, как установка новой фасадной системы на старый фасад, установка новой крыши на старую и возведение надстроек на крыше.

Воздухонепроницаемость и характеристики теплоизоляции зданий в Польше, Германии и Великобритании измерялись до и после реновации. Очевидно, что текущий метод установки новой фасадной системы на старый фасад и новой крыши на старую крышу зданий не обеспечивает надежного улучшения их воздухонепроницаемости, поэтому для снижения теплотерь из-за проникновения холодного воздуха рекомендуется установить пароизоляцию изнутри здания. При этом также снижается риск формирования конденсата под новой фасадной системой. Было разработано практическое руководство по достижению этой цели.

Было выполнено тепловое моделирование одноэтажных промышленных зданий и многоэтажных жилых и коммерческих зданий до и после реновации, чтобы определить потенциальное сокращение энергопотребления в результате реновации. Моделирование показало возможность значительной экономии: установка новой фасадной системы на старый фасад может сократить теплотери через фасад более чем на 80 %, аналогичная экономия возможна и при установке новой крыши на старую. В любом случае, улучшение теплоизоляции офисного здания приводит к увеличению потребности в энергии на охлаждение и к снижению потребности в энергии на отопление. Следовательно, реконструкция офисного здания должна включать реализацию некоторых средств пассивного охлаждения, например наружного затенения, которое позволит сократить потребность в энергии на охлаждение примерно на 50 %. Объем проекта реконструкции здания (т. е. то, какие элементы здания необходимо модернизировать) и необходимый уровень теплоизоляции в значительной степени зависят от факторов влияющих на реновацию конкретного здания, таких как национальные нормативные требования, приемлемая окупаемость инвестиций в разных странах и т. д.

Были проведены полевые испытания фасадных систем для установки на старые фасады зданий с применением больших плоских стальных панелей с новыми перфорированными солнечными коллекторами (TSC). В целом, измеренные данные подтверждают прогнозируемый энергетический баланс и доказывают, что плоские перфорированные солнечные коллекторы являются конкурентоспособным решением для обновления фасада жилых и коммерческих зданий. Перспектива использования получаемого таким образом тепла зависит от климатических условий и заполняемости здания людьми, поэтому нуждается в дальнейших исследованиях. Кроме того, были проведены полевые испытания опытного образца теплоаккумулирующей стены, которые показали, что данное решение прекрасно подходит для южных фасадов. В ходе данного исследования были изучены и другие инновационные системы отопления и вентиляции на солнечной энергии, и даже их можно усовершенствовать.

Были проведены лабораторные испытания для определения характеристик полужестких болтовых угловых соединений, выполняемых внахлест и используемых в конструкции несущих порталных рам из тонкостенных стальных профилей, подходящих для возведения надстроек на крыше. Были составлены рекомендации по методам соединения надстройки из легкого стального каркаса с бетонной конструкцией старого здания и проведены испытания под нагрузкой для проверки различных систем.

Был изучен потенциал применения легких стальных конструкций для создания дополнительного жилого пространства при реновации старых деревянных крыш. Были исследованы различные решения из легких стальных профилей для крыш: легкие элементы, которые можно вручную установить на старую крышу или более крупные сборные системы, которые применяются при полной замене крыши. Составленная тепловая модель показала, что за счет модернизации крыш старых домов можно сократить энергопотребление. Обеспечить производство дополнительной энергии можно с помощью встроенных в крышу нагревателей и коллекторов системы воздушного и водяного отопления. Также были проведены лабораторные испытания для измерения эффективности опытного образца интегрированного в крышу солнечного коллектора системы водяного отопления.

Данные теплового моделирования использовались для разработки упрощенного инструмента для оценки экономической целесообразности альтернативных решений по реновации с применением стальных конструкций. Также был разработан упрощенный инструмент для сравнения углеродного следа от разных вариантов реновации. Эти инструменты позволяют легко сравнивать различные решения.

Была подготовлена серия практических примеров применения данных технологий реновации.

# 9 ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОЛЬЗА И ЦЕННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 9.1 Польза с технической и экономической точки зрения

С экономической точки зрения результаты исследования полезны тем, что показывают преимущества от установки новой фасадной системы на старый фасад и новой крыши на старую крышу зданий в части улучшения энергоэффективности на протяжении оставшегося срока службы здания. Общеизвестно, что старые здания являются основным источником выбросов CO<sub>2</sub> в ЕС, при этом на жилые дома приходится примерно 27 % от общего объема выбросов CO<sub>2</sub>. Следовательно, усовершенствование жилых зданий за счет установки дополнительных утепленных фасадов с применением стальных профилей и возведения надстроек на крыше имеет важные социальные, экономические и экологические преимущества. Технологии, разработанные в рамках данного проекта, окажут непосредственное влияние и откроют новые рыночные возможности для металлургического сектора по всей Европе.

Применение стальных конструкций в фасадных системах получает широкое распространение, в частности там, где предъявляются высокие требования к уровню префабрикации. На рынке уже сформировалось такое направление, как возведение надстроек зданий на один или два этажа с применением легкого стального каркаса, и оно будет развиваться и дальше.

Испытания и долгосрочный контроль помогают получить крайне необходимые данные по энергоэффективности, которые будут использоваться партнерами. Результаты испытаний фасадной системы с применением перфорированного солнечного коллектора для монтажа на старый фасад жилого корпуса университета (первый известный пример применения такой конструкции) и измеренные данные будут иметь большое значение для текущей разработки и оптимизации этой чрезвычайно перспективной системы.

Партнеры проекта провели совещания с производителями стальных конструкций, используемых для реновации, и объяснили значимость результатов этого проекта для конкретного ассортимента продукции. Ожидается, что эти связи приведут к дальнейшему сотрудничеству по мере распространения технологических решений, разработанных в рамках данного проекта. Например, польская компания AmTech, производитель легких стальных каркасов и надстроек для крыши, выразила заинтересованность в использовании результатов проекта для разработки решений по реновации.

## 9.2 Распространение результатов

Веб-сайт [www.steel-renovation.org](http://www.steel-renovation.org) был создан для распространения результатов проекта. На этом сайте можно скачать все рабочие отчеты, а также сводный итоговый отчет. Партнеры проекта будут продвигать веб-сайт среди целевой аудитории в своих странах.

Институт инженеров-строителей Великобритании пригласил координатора от Института стальных конструкций для подготовки документа о реновации зданий с применением стальных конструкций в качестве специального выпуска под названием «Конструкции и здания». Ожидается, что другие документы с описанием научно-исследовательских работ в рамках проекта ROBUST, будут опубликованы в следующем году.

# 10 СПИСОК РИСУНКОВ

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Рис. 2.1  | Примеры установки новых фасадных систем на старые фасады зданий с бетонными стеновыми панелями. Новые фасадные системы состоят из горизонтальных металлических панелей.....  | 12 |
| Рис. 2.2  | Двухэтажная надстройка из легкого стального каркаса на существующем здании, Роттердам .....  | 13 |
| Рис. 2.3  | надстройка из модулей на здании плимутского университета, великобритания.....  | 13 |
| Рис. 3.1  | Внешний вид здания с новой фасадной системой из больших стальных кассетных панелей.....  | 18 |
| Рис. 3.2  | Разные варианты легких стальных каркасов фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады.....  | 18 |
| Рис. 3.3  | Зависимость расхода энергии на отопление жилого дома от принимаемых мер по повышению энергоэффективности.....  | 21 |
| Рис. 3.4  | Поперечный разрез анализируемой фасадной системы.....  | 23 |
| Рис. 3.5  | Эксплуатационные характеристики.....   | 24 |
| Рис. 3.6  | Эталонная стена (слева) и двойная фасадная система (справа) .....  | 26 |
| Рис. 3.7  | Офисное здание для построения тепловой модели.....   | 27 |
| Рис. 3.8  | Упрощенный вид офисного здания с надстройкой на крыше.....   | 29 |
| Рис. 3.9  | Внешний вид и поперечный разрез теплоаккумулирующей стены в процессе монтажа.....  | 32 |
| Рис. 3.10 | Схематическое изображение перфорированного солнечного коллектора.....  | 35 |
| Рис. 3.11 | Многоэтажное здание Оксфордского университета Брукса, выбранное для испытаний фасадной системы и поперечное сечение старого бетонного фасада.....  | 36 |
| Рис. 3.12 | Местоположение перфорированных панелей на южной стороне здания .....   | 37 |
| Рис. 3.13 | Готовый новый фасад на двух первых этажах выше стилобата, август 2009 г.....   | 37 |
| Рис. 3.14 | Результаты испытаний в прохладный солнечный день (25 сентября 2010 г.).....  | 39 |
| Рис. 3.15 | Результаты измерений 10 февраля 2010 г. ....   | 39 |
| Рис. 3.16 | Простой энергетический баланс перфорированного солнечного коллектора.....  | 40 |
| Рис. 3.17 | Зависимость мгновенного КПД коллектора от 3 скоростей ветра (исходя из расчетов в программе RETScreen® V3.1 и коэффициента поглощения 0,9).....  | 41 |
| Рис. 3.18 | Перфорированный солнечный коллектор типа SolarWall® на южной стене АЗС города Биконсфилд (Великобритания), подогревающий воздух для системы вентиляции фуд-корта .....   | 42 |
| Рис. 4.1  | Здание Рейнско-Вестфальского технического университета (RWTH) — южный фасад.....   | 47 |
| Рис. 4.2  | Термограмма здания RWTH — южный фасад .....  | 47 |
| Рис. 4.3  | Лабораторный корпус до и после реновации, г. Аахен .....   | 48 |
| Рис. 4.4  | Промышленное здание до и после реновации, Великобритания .....   | 48 |
| Рис. 4.5  | Существующая кассетная стена (а), термограмма кассетной стены, полученная во время испытаний в горячей камере (б).....   | 49 |
| Рис. 4.6  | Установка фасадной системы с заменой старого фасада и монтаж дополнительного слоя теплоизоляции (плита Steelrock компании Rockwool, слева), установка новой фасадной системы с использованием стальных сэндвич-панелей на старый фасад (справа)..... | 49 |
| Рис. 4.7  | Горячая камера с тепловизором (слева), результат установки фасадной системы на кассетную стену с заменой старого фасада (справа).....  | 50 |
| Рис. 4.8  | Влияние дополнительного слоя теплоизоляции на эффективность теплоизоляции стальных кассет.....   | 50 |
| Рис. 4.9  | Способы обеспечения воздухопроницаемости при реновации .....   | 53 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Рис. 4.10 | Годовое энергопотребление одноэтажного складского здания размером 60 × 120 × 10 м.....   | 55 |
| Рис. 4.11 | Годовое энергопотребление одноэтажного складского здания размером 30 × 60 × 6 м (высота).....                                  | 56 |
| Рис. 4.12 | Внешний вид Поттерс Плейс до реновации.....  | 57 |
| Рис. 4.13 | Установка вентиляторов для испытания на воздухопроницаемость.....  | 57 |
| Рис. 4.14 | Модель Поттерс Плейс после реновации.....  | 58 |
| Рис. 4.15 | Практический пример Милтон-Кинс, блок 2-4, до реновации.....   | 61 |
| Рис. 4.16 | Практический пример Милтон-Кинс, блок 16, после реновации.....   | 61 |
| Рис. 4.17 | Термограмма и фотография стен зданий L, подвергавшихся испытаниям (до реновации).....  | 63 |
| Рис. 4.18 | Термограмма и фотография зданий L (после реновации).....   | 63 |
| Рис. 4.19 | Крыша производственного цеха (здание В до реновации).....  | 64 |
| Рис. 4.20 | Стены производственного цеха (здание В после реновации).....   | 64 |
| Рис. 4.21 | Спортзал (слева: до реновации, справа: после не полностью завершённой реновации).....  | 64 |
| Рис. 4.22 | Испытание на воздухопроницаемость с использованием трех вентиляторов (слева), результат (справа).....                          | 65 |
| Рис. 4.23 | Термограмма после реновации (температура снаружи -3 °С, температура внутри 23 °С).....   | 65 |
| Рис. 4.24 | Термограмма после реновации (температура снаружи -3 °С, температура внутри 23 °С).....   | 65 |
| Рис. 4.25 | Бетонная стена, облицованная при реконструкции стальными сэндвич-панелями.....   | 66 |
| рис. 4.26 | Установка новой фасадной системы с применением кассет или сэндвич-панелей (слева и справа соответственно) на старый фасад..... | 66 |
| Рис. 4.27 | Установка новой крыши с использованием композитных панелей (слева) и сборной кровельной системы (справа) поверх старой.....    | 67 |
| Рис. 5.1  | Надстройки жилых зданий.....   | 68 |
| Рис. 5.2  | Надстройки промышленных и офисных зданий.....  | 69 |
| Рис. 5.3  | Практический пример надстройки: стандартная схема, на которой показаны основные соединения.....                                | 71 |
| Рис. 5.4  | Различные типы узлов: соединение колонны с бетонной стеной.....  | 72 |
| Рис. 5.5  | (а) Штифтовой узел и (б) неподвижный узел.....   | 72 |
| Рис. 5.6  | Узел бетон/сталь: фрикционные стержни, торцевая пластина, анкеры.....  | 73 |
| Рис. 5.7  | Типы попустановочных крепежных элементов.....  | 73 |
| Рис. 5.8  | Точечный узел непрерывного соединения на бетонных стенах.....  | 75 |
| Рис. 5.9  | Крепление анкерами нижней U-образной направляющей к железобетонной плите с напряженной арматурой.....                          | 75 |
| Рис. 5.10 | Исследуемый узел с лабораторной установкой. Слева: испытание 1, справа: испытание 2.....                                       | 76 |
| Рис. 5.11 | Численная модель узла.....   | 77 |
| Рис. 5.12 | Кривая момента вращения для узла.....  | 78 |
| Рис. 5.13 | Внешний вид поврежденных элементов (испытание 2).....  | 78 |
| Рис. 5.14 | Схема испытания.....   | 79 |
| Рис. 5.15 | Устройство для несущего каркаса испытательной установки.....   | 80 |
| Рис. 5.16 | Результаты испытания порталного несущего каркаса со штифтовым узлом.....   | 80 |
| Рис. 5.17 | Результаты испытания порталного несущего каркаса с неподвижным узлом.....  | 81 |
| Рис. 5.18 | Модели разрушения бетонного основания.....   | 81 |
| Рис. 5.19 | Устройство сборной стены и стеновая панель до проведения испытаний.....  | 82 |
| Рис. 5.20 | Схема испытания.....   | 82 |



|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Рис. 6.1  | Примеры крыш.....  | 84  |
| Рис. 6.2  | Распространенные варианты конструкции деревянных крыш .....  | 85  |
| Рис. 6.3  | Стандартные конструктивные изменения кровли для создания обитаемого пространства.....  | 85  |
| Рис. 6.4  | Формы системы бесчердачной крыши.....  | 87  |
| Рис. 6.5  | Форма прогиба стропильной фермы бесчердачной крыши с шагом 8 м под действием временной и постоянной нагрузки, приложенной к перекрытию .....               | 88  |
| Рис. 6.6  | Ежемесячная потребность в отоплении, дуплекс, базовый вариант (слева: все здание, справа: потребность в отоплении, вызванная отводом тепла через кровлю).. | 90  |
| Рис. 6.7  | Ежемесячная потребность в отоплении после трансформации пространства под крышей в дуплексе (слева: рекомендуемая практика, справа: наилучшая практика)     | 90  |
| рис. 6.8  | Результаты моделирования потребности в энергии на отопление — средний таунхаус.....  | 91  |
| Рис. 6.9  | Результаты моделирования потребности в энергии на отопление — отдельный одноэтажный дом .....  | 91  |
| Рис. 6.10 | Порядок сборки крыши Hi-point.....   | 92  |
| Рис. 6.11 | Крыша Hi-point, установленная на здании Unity в Ливерпуле.....   | 93  |
| Рис. 6.12 | Группа небольших ветровых турбин с вертикальной осью на плоской крыше.....   | 93  |
| Рис. 6.13 | Принцип работы автономной системы отопления на базе солнечного воздушного коллектора.....  | 94  |
| Рис. 6.14 | Крыша для испытания автономной системы солнечного воздушного отопления.....  | 94  |
| Рис. 6.15 | Принцип работы системы отопления и вентиляции на солнечной энергии .....   | 95  |
| Рис. 6.16 | Принцип работы встроенного в крышу солнечного коллектора для системы водяного отопления.....   | 95  |
| Рис. 6.17 | Трубки для циркуляции воды, уложенные поверх теплоизоляции.....  | 96  |
| Рис. 6.18 | Тепловой КПД солнечного коллектора для системы водяного отопления в зависимости от разности T <sub>ср</sub> -T <sub>нар</sub> .....                        | 96  |
| Рис. 6.19 | Стальные конструкции для установки поверх плоской крыши .....  | 97  |
| Рис. 6.20 | Требования к размерам пространства при трансформации крыши .....   | 98  |
| Рис. 6.21 | Организация вентиляции при установке новой крыши на старую .....   | 100 |
| Рис. 7.1  | Эталонные здания для параметрических исследований, офисное (слева), жилое (посередине) и промышленное (справа) .....                                       | 102 |
| Рис. 7.2  | Годовая отопительная нагрузка для различных конфигураций жилого дома .....   | 103 |
| Рис. 7.3  | Годовая нагрузка по отоплению и охлаждению коммерческих зданий.....  | 104 |
| Рис. 7.4  | Скриншот главного экрана программы.....  | 106 |
| Рис. 7.5  | Скриншот раздела «Здание после реновации».....   | 106 |
| Рис. 7.6  | Скриншот раздела «Результаты».....   | 107 |
| Рис. 7.7  | Примеры рассмотренных стандартных вариантов реновации .....  | 108 |
| Рис. 7.8  | Десять реализованных в программе решений по реновации.....   | 109 |
| Рис. 7.9  | Углеродный след и коэффициент теплопередача для вариантов реновации .....  | 110 |
| Рис. 7.10 | Поля для ввода данных.....   | 111 |
| Рис. 7.11 | График сравнения решений по реновации .....  | 112 |
| Рис. 7.12 | Установка новой фасадной системы на старый фасад промышленного здания с применением системы SolarWall™ (г. Дарем, Великобритания) .....                    | 114 |
| Рис. 7.13 | Монтаж композитных панелей на промышленное здание в Шотландии .....  | 114 |
| Рис. 7.14 | Надстройка на крыше здания университета в Жешуве, Польша.....  | 115 |
| Рис. 7.15 | Офисное здание Valtellina в Милане.....  | 115 |

# 11 СПИСОК ТАБЛИЦ

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Таблица 3.1  | Основные преимущества реновации зданий.....  | 16  |
| Таблица 3.2  | Критерии проектирования новых фасадных систем для установки на старые фасады зданий.....   | 20  |
| Таблица 3.3  | Коэффициент теплопередачи эталонной стены и двойной фасадной системы в зависимости от толщины бетона при одинаковой толщине теплоизоляции (50 мм)..... | 26  |
| Таблица 3.4  | Данные до и после реновации офисного здания.....   | 28  |
| Таблица 3.5  | Годовая потребность в отоплении здания в Хельсинки, Лондоне, Берлине и Москве.....   | 28  |
| Таблица 3.6  | Годовая потребность в охлаждении здания в Хельсинки, Лондоне, Берлине и Москве.....  | 29  |
| Таблица 3.7  | Потребность в отоплении (круглый год, удельные значения, старое здание с надстройкой на крыше).....  | 29  |
| Таблица 3.8  | Годовое потребление энергии на охлаждение здания с дополнительными этажами после реновации.....  | 30  |
| Таблица 3.9  | Основные размеры многоквартирного дома.....  | 30  |
| Таблица 3.10 | Данные до и после реновации многоквартирного дома.....   | 31  |
| Таблица 3.11 | Годовая потребность в отоплении здания в Хельсинки, Лондоне, Берлине и Москве.....   | 31  |
| Таблица 3.12 | Результаты измерения из тепловой камеры по месяцам лета 2008 г.....  | 33  |
| Таблица 3.13 | Сводные результаты измерения центрального участка стены зимой.....   | 34  |
| Таблица 3.14 | Теплопотери зимой.....   | 34  |
| Таблица 3.15 | Стандартные погодные условия для расчета экономии энергии за счет установки солнечного коллектора с кассетными панелями.....                           | 44  |
| Таблица 4.1  | Европейские нормативные требования к воздухопроницаемости ограждающих конструкций новых зданий.....  | 51  |
| Таблица 4.2  | Характеристики зданий для создания тепловых моделей.....   | 53  |
| Таблица 4.3  | Параметры теплового анализа.....   | 54  |
| Таблица 4.4  | Параметры по умолчанию разных участков здания склада.....  | 55  |
| Таблица 4.5  | Реновация или замена конструктивных элементов.....   | 58  |
| Таблица 4.6  | Параметры теплового анализа промышленного здания.....  | 59  |
| Таблица 4.7  | Результаты теплового моделирования с применением различных наборов данных о погоде в Великобритании.....   | 60  |
| Таблица 4.8  | Конструкция наружных стен комплекса зданий L.....  | 62  |
| Таблица 5.1  | Факторы, лежащие в основе реновации здания путем его расширения.....   | 69  |
| Таблица 5.2  | Стандартные размерные характеристики жилых зданий.....   | 71  |
| Таблица 6.1  | Результаты анализа стропильной фермы бесчердачной крыши с шагом 8 м в программе LUSAS.....   | 86  |
| Таблица 6.2  | Стандартные размеры нижнего пояса и стропил для системы бесчердачной крыши.....  | 88  |
| Таблица 6.3  | Проанализированные типы жилых зданий.....  | 89  |
| Таблица 6.4  | Данные для теплового моделирования.....  | 90  |
| Таблица 6.5  | Годовое потребление энергии на отопление для различных расчетных вариантов.....  | 91  |
| Таблица 7.1  | Обзор результатов оценки по методу BREEAM.....   | 113 |

# 12 СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И АББРЕВИАТУР

|            |  |
|------------|--|
| ACH        | Воздухообмен в час   |
| DRL        | Попадание воды во время ливня  |
| ЭДП        | Экологическая декларация продукции   |
| ETICS      | Наружная композитная теплоизоляция   |
| МКЭ        | Метод конечных элементов   |
| ГК         | Гипсокартон  |
| ИК         | Инфракрасный   |
| LCA        | Оценка жизненного цикла  |
| ППУ/ПИР    | Пенополиуретан и полиизоцианурат   |
| PV         | Солнечная батарея  |
| RH         | Относительная влажность  |
| TSC        | Перфорированный солнечный коллектор  |
| Значение U | Измеренное значение теплопередачи через определенный строительный материал (также коэффициент теплопередачи) |
| PP         | Программа  |

# 13 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Демонстрация модульной конструкции при реновации старых бетонных и кирпичных зданий, проект Европейского объединения угля и стали 7215-PP/010, EUR 20595, 2003 г. (Demonstration of modular construction in the renovation of existing concrete and masonry buildings, ECSC Project 7215-PP/010, EUR 20595, 2003.)
- 2 Лоусон Р. М., Педрески Р., Фалькенфлет И. и Попо-Ола С. О. Установка новых фасадных систем на старые фасады зданий с применением легких стальных конструкций. Институт стальных конструкций P-247, 1999 г. (Lawson R.M., Pedreschi R., Falkenfleth I, and Popo-Ola S.O. Over-cladding of Existing Buildings using Light Steel The Steel Construction Institute P-247, 1999)
- 3 Хиллер М., Лоусон Р. М. и Горголевский М. Установка новой крыши на старую с применением легких стальных конструкций. Институт стальных конструкций P-246, 1999 г. (Hillier M., Lawson R.M. and Gorgolewski M. Over-roofing of Existing Buildings using Light Steel The Steel Construction Institute P-246, 1999)
- 4 Публикация BMS «Строительство в лучших местах», Строительство из стали, Нидерланды, 2002 г. (BMS Publication 'Bouwen Op Toplocaties', Bouwen met Staal, NL, 2002)
- 5 Андерсон Дж. М. и Джилл Дж. Р., Вентилируемые фасадные системы: руководство по принципам и практическим методам проектирования, Информационно-исследовательская ассоциация строительной отрасли, 1988 г. (Anderson J.M. and Gill J.R., Rain-screen Cladding: A guide to Design Principles and Practice, Construction Industry Research and Information Association, 1988)
- 6 EN 15026 Гигротермические характеристики строительных компонентов и строительных элементов — оценка переноса влаги с помощью численного моделирования, 2007 г. (EN 15026 Hygrothermal Performance Of Building Components And Building Elements - Assessment Of Moisture Transfer By Numerical Simulation, 2007)
- 7 Conserval Engineering Inc., Истории успеха по ссылке <http://solarwall.com/en>, 2009 г.
- 8 Харт Д., Академия Jaguar Land Rover, Снижение выбросов CO2 на 19 тонн в год с помощью систем SolarWall, 2007 г. [цитировано 13 мая 2009 г.]; доступно по ссылке: <http://www.cagroupltd.co.uk/canews/building-products/jaguar-land-rover-to-save-19-tons-of-co2-per-annum-with-solarwall> (Hart, D. Jaguar Land Rover Academy to save 19 tonnes of CO2 per annum with SolarWall. 2007 [cited 2009 13th May]; Available from: <http://www.cagroupltd.co.uk/canews/building-products/jaguar-land-rover-to-save-19-tons-of-co2-per-annum-with-solarwall>)
- 9 Даффи Дж. А. и Бекман В. А., Использование солнечной энергии для отопления, Нью-Джерси, John Wiley & Sons, 2006 г. (Duffie, J. A. & Beckman, W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, New Jersey, John Wiley & Sons, 2006)
- 10 Гаулик К. М. и Кучер К. Ф., Потеря тепла на перфорированных солнечных коллекторах из-за ветра. Использование солнечной энергии, 124, 256–261, 2002 г. (Gawlik, K. M. & Kutscher, C. F., Wind Heat Loss From Corrugated, Transpired Solar Collectors. Journal of Solar Energy Engineering, 124, 256–261, 2002)
- 11 Брюнгер А. П., Кучер С. Ф., Кокко Дж., Кали А., Холлик Дж., Маккленахан Д. и Пфлюгер Р., Недорогие высокоэффективные системы солнечного воздушного отопления с применением перфорированных солнечных коллекторов, Международное энергетическое агентство, 1999 г. (Brunger, A. P., Kutscher, C. F., Kokko, J., Cali, A., Hollick, J., Mcclenahan, D. & Pfluger, R., Low Cost, High Performance Solar Air-Heating Systems Using Perforated Absorbers, International Energy Agency, 1999)
- 12 Кучер С. Ф., Кристенсен С. Б. и Баркер Г. М., Перфорированные солнечные коллекторы без покрытия: теория теплопотерь, Использование солнечной энергии, 115, 182–188, 1993 г. (Kutscher, C. F., Christensen, C. B. & Barker, G. M., Unglazed Transpired Solar Collectors: Heat Loss Theory. Journal of Solar Energy Engineering, 115, 182–188, 1993)
- 13 Гунневик Л. Х., Холландс К. Г. Т. и Брундретт Э. (2002 г.), Влияние ветра на распределение потока в перфорированных солнечных коллекторах без покрытия, Солнечная энергия, 72, 317–325 (Gunniewiek, L. H., Hollands, K. G. T. & Brundrett, E. (2002) Effect of wind on flow distribution in unglazed transpired-plate collectors. Solar Energy, 72, 317–325)
- 14 Conserval Engineering INC., Системы SolarWall от Conserval Engineering Inc., Conserval Engineering Inc., 2009 г.
- 15 Холлик Дж., Перфорированные солнечные коллекторы без покрытия. В источнике: Морк О. и Хастингс Р. (ред.). Солнечные системы воздушного отопления: справочник по проектированию. Лондон, James & James (издательство Science), 2000 г. (Hollick, J., Perforated unglazed collectors. In Morck, O. & Hastings, R. (Eds.) Solar Air Systems: A Design Handbook. London, James & James (Science Publishers), 2000)
- 16 Делиль В., Аналитическое и экспериментальное исследование солнечных батарей/перфорированного солнечного коллектора. Машиностроение. Онтарио, Университет Ватерлоо, 2008 г. (Delisle, V., Analytical and Experimental Study of a PV/Thermal Transpired Solar Collector. Mechanical Engineering. Ontario, University of Waterloo, 2008)

- 17 CLG (общины и местное самоуправление), Руководство по моделированию с применением национальной методики расчета (для зданий, кроме жилых помещений, в Англии и Уэльсе), Департамент по делам общин и местного самоуправления, Лондон, октябрь 2008 г. (CLG (Communities and Local Government), National Calculation Methodology modelling guide (for buildings other than dwellings in England and Wales), Department of Communities and Local Government, London, Oct 2008)
- 18 EN 13829 Характеристики теплоизоляции зданий. Определение воздухопроницаемости зданий. Метод нагнетания давления с помощью вентилятора, 2001 г. (EN 13829 Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method, 2001)
- 19 EN 13187 Характеристики теплоизоляции зданий. Обнаружение недостаточной теплоизоляции ограждающих конструкций. Тепловизионный метод, 1999 г. (EN 13187 Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method, 1999)
- 20 Ассоциация по испытанию и измерению воздухопроницаемости, Технический стандарт 1, выпуск 2, Измерение воздухопроницаемости ограждающих конструкций, 2007 г. (The Air Tightness Testing and Measurement Association, Technical Standard 1, Issue 2, Measuring air permeability of building envelopes, 2007)
- 21 <http://www.buildingsciences.co.uk>
- 22 <http://www.2010ncm.bre.co.uk/>
- 23 Строительные нормы Великобритании, утвержденный документ, часть L (экономия топлива и энергии), 2006 г. (UK Building Regulations, Approved Document Part L (Conservation of fuel and power), 2006)
- 24 EN 1991-1-4:2005+A1:2010 Еврокод 1. Воздействия на строительные конструкции. Общие нагрузки. Ветровые нагрузки (EN 1991-1-4:2005+A1:2010 Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Wind actions)
- 25 CEN/TS 1992-4-2 Проектирование креплений для бетона. Часть 4-2: крепеж с головкой, 2009 г. (CEN/TS 1992-4-2 Design of fastenings for use in concrete Part 4-2: Headed Fasteners, 2009)
- 26 TRA, Создание пространства в крыше с помощью стропильных ферм с решетчатым поясом, Ассоциация стропильных ферм с решетчатым поясом, технический паспорт № 6, 2007 г. (TRA, Creating Roofspaces with Trusted, Rafters Trust Rafter Association, Product Data Sheet No. 6, 2007)
- 27 EN 12975-2 Солнечные системы и их компоненты. Солнечные коллекторы. Часть 2. Методы испытаний. 2006 г. (EN 12975-2 Thermal solar systems and components. Solar Collectors. Part 2. Test methods. 2006)
- 28 Экологические декларации продукции Confidex Sustain фирмы Corus: [http://www.colorcoat-online.com/en/products/guarantees/confidex\\_sustain/supporting\\_sustain\\_epds/](http://www.colorcoat-online.com/en/products/guarantees/confidex_sustain/supporting_sustain_epds/)
- 29 Профессиональная база данных по оценке жизненного цикла GaBi (GaBi Professional LCI Database)
- 30 Bath ICE, Оценка углеродного следа и потребления энергии, Университет Бата, Великобритания, 2008 г. (Bath ICE, Inventory of Carbon and Energy, University of Bath, UK, 2008)
- 31 Винтер Б. Н., Хестнес А. Г., Солнечные батареи и зеленые технологии: анализ норвежского таунхауса. Солнечная энергия. 66(6): 387–93, 1999 г. (Winter B.N., Hestnes, A.G., Solar versus green: the analysis of a Norwegian row house. Solar Energy. 66(6): 387–93, 1999)
- 32 Тормарк К. А., Теплоустойчивое здание в ходе жизненного цикла — углеродный след, энергопотребление и потенциал вторичного использования. Среда сборки, 37 (4): 429–435, 2002 г. (Thormark, C., A low energy building in a lifecycle-embodied energy, energy need for operational and recycling potential. Build environment, 37 (4): 429–435, 2002)
- 33 Димуди А., Томпа К., Энергетические и экологические показатели, связанные со строительством офисных зданий. Ресурсы, консервация и переработка, 53, стр. 86–95, 2008 г. (Dimoudi, A.; Tompa, C.,: Energy and environmental indicators related to construction of office buildings. Resources, Conservation and recycling, 53 Pages 86 – 95, 2008)

---

Европейская комиссия

**EUR 25335 — Реновация зданий с применением стальных конструкций (Robust)**

Люксембург: Бюро публикаций Европейского союза

2013 — 124 стр. — 21 × 29,7 см

Международный стандартный книжный номер (ISBN): 978-92-79-24950-1

ИЦО: 10.2777/97860

Проект ROBUST посвящен таким вопросам, как реновация и модернизация старых жилых, промышленных и коммерческих зданий с применением стальных конструкций, при этом основное внимание уделялось таким решениям, как установка новой фасадной системы на старый фасад, установка новой крыши на старую и возведение надстроек на крыше.

Были рассмотрены представленные в настоящее время на рынке методы реновации с применением стальных конструкций. Были разработаны критерии оценки эффективности фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады и отвечающих действующим нормам, в том числе рекомендации по достижению надлежащего уровня воздухопроницаемости.

Было выполнено тепловое моделирование одноэтажных промышленных зданий и многоэтажных жилых и коммерческих зданий до и после реновации, чтобы определить потенциальное сокращение энергопотребления. Эффективность ряда новых фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады, изучалась по числовым показателям, а также в ходе лабораторных испытаний.

Воздухопроницаемость и характеристики теплоизоляции зданий в Польше, Германии и Великобритании измерялись до и после реновации. Были проведены полевые испытания фасадных систем, устанавливаемых на старые фасады, с применением больших плоских стальных панелей с новыми перфорированными солнечными коллекторами.

Были составлены рекомендации по методам соединения надстройки из легкого стального каркаса с бетонной конструкцией старого здания и проведены испытания под нагрузкой для проверки различных систем.

Был изучен потенциал применения легких стальных конструкций для создания дополнительного жилого пространства при реновации старых деревянных крыш. Были исследованы различные системы, включающие в себя решения по генерации энергии.

Данные теплового моделирования использовались для разработки упрощенного инструмента для оценки экономической целесообразности альтернативных решений по реновации с применением стальных конструкций. Также был разработан упрощенный инструмент для сравнения углеродного следа от разных вариантов реновации. Была подготовлена серия практических примеров применения данных технологий реновации.