

## Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии

## Technology and organization of the building with zero energy consumption

**к.т.н., доцент, докторант Горшков Александр Сергеевич**

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна»  
AISGor@yandex.ru  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация*

**Ph. D, Associate professor, Candidate for a doctor's degree Alexandr Sergeevich Gorshkov**  
*Saint-Petersburg State Polytechnical University  
Saint-Petersburg State University of Technology and Design  
AISGor@yandex.ru  
Saint-Petersburg  
Russian Federation*

**студент Дерунов Дмитрий Викторович**

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
dimoniz89@mail.ru  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация*

**Student Dmitriy Victorovich Derunov**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University  
dimoniz89@mail.ru  
Saint-Petersburg  
Russian Federation*

**студент Завгородний Владислав Витальевич**

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
zavgorodni2011as@inbox.ru  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация*

**Student Vladislav Vitalievich Zavgorodnij**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University  
zavgorodni2011as@inbox.ru  
Saint-Petersburg  
Russian Federation*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, теплоизоляция, энергосберегающие мероприятия, рекуператор, ветрогенератор, дом с нулевым потреблением энергии.

В статье проводится сравнительный анализ строительства зданий с нулевым потреблением энергии в Российской Федерации и зарубежных странах. Задачей является анализ эффективности строительства данного типа зданий в нашей стране и разработка наименее затратной технологии при возведении.

В качестве объекта исследования рассматривается здание (лаборатория), которое планируется построить на территории Санкт-Петербургского политехнического университета. Проведенный анализ показывает, что строительство зданий с нулевым потреблением энергии эффективно по следующим причинам:

- экологичность (отсутствуют вредные выбросы в атмосферу);
- экономичность (окупаемость);
- энергоэффективность (значительное снижение потребляемых энергетических ресурсов).

**Key words:** energy efficiency, insulation, energy-saving measures, recuperator, wind generator, a house with zero energy consumption.

The article presents a comparative analysis of the construction of buildings with zero energy consumption in the Russian Federation and foreign countries. The objective is to analyze the effectiveness of this type of

construction of buildings in this country, and the least expensive to develop the technology in construction. The object of investigation is considered building (laboratory), which will be built in April 2013 in Saint-Petersburg State Polytechnical University.

The analysis shows that the construction of buildings with a zero-energy effective for the following reasons:

- green buildings;
- economically advantageous;
- energy efficient.

## 1. Введение

По мнению многих российских и зарубежных ученых, таких как Ананьев А. И., Подолян Л. А., Беляев В. С., мы приближаемся к изменению климата. Периодически климатические изменения случались в истории нашей планеты, однако, впервые это вызвано деятельностью человека. Углекислый газ (CO<sub>2</sub>), выделяемый при сгорании ископаемого топлива и кислорода, изменяет состав нашей атмосферы. Неконтролируемое использование ископаемой энергии ведет к драматическому истощению мировых запасов ископаемых энергоносителей. Малейшая экономия энергии, особенно в густозаселенных местах, ведет к снижению объема выброса загрязняющих веществ и, следовательно, помогает защитить окружающую среду [1].

Область, где можно резко снизить объемы потребляемого топлива и, как следствие, расход энергии и объемы выбросов – это существующие и новые здания, для этого необходимо улучшить теплоизоляцию и установить более эффективные отопительные системы. Для снижения выбросов диоксида углерода и защиты окружающей среды в будущем нам придется обходиться намного меньшим количеством энергии для отопления, чем мы использовали до сих пор. В то время как существующие неусовершенствованные здания старой постройки расходуют на отопление от 300 до 400 кВт\*ч/м<sup>2</sup> энергии, потребность в отопительной энергии для зданий будущего поколения составит от 20 до 40 кВт\*ч/м<sup>2</sup>. Таким образом, основная характеристика зданий будущего – это ультранизкое и даже нулевое потребление энергии [2].

Выделим основные направления строительства зданий с нулевым энергопотреблением:

1. Снижение потребления энергетических ресурсов на отопление.
2. Полное или частичное удовлетворение электроэнергией.
3. Создания более эффективной вентиляции и теплоизоляции.
4. Снижения потребления воды.

## 2. Актуальность работы

На сегодняшний день в России нет ни одного здания с нулевым потреблением энергии. Есть несколько зданий с низким энергопотреблением, например, энергоэффективный дом, построенный в г. Москве в мкр. Никулино-2, «Зеленый» дом построенный недалеко от Москвы, годовой уровень удельного потребления тепловой энергии которых не превышает 45 кВт\*ч/(м<sup>2</sup>-год). В отличие от них, здания с нулевым уровнем потребления тепловой энергии, не имеют затрат на отопление, т.к. потери тепловой энергии в таких зданиях компенсируются поступлениями тепловой энергии от использования возобновляемых источников энергии (например, солнечных коллекторов или теплонасосных установок), а также бытовыми и солнечными теплоступлениями. Это означает, что здания с нулевым потреблением энергии должны быть экологически чистыми[3].

Разработками в сфере энергоэффективности занимаются множество ученых. Разрабатываются рекомендации по обеспечению энергоэффективности жилых и общественных зданий [4]. Правительство России Постановлением № 235 от 13 апреля 2010 г. установило требования к разделам проектной документации, отражающим показатели энергоэффективности объектов строительства.

Комитетом по строительству Санкт-Петербурга совместно с профильными научно-исследовательскими организациями разработана первая редакция регионального методического документа «Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий» [5].

Документ разработан в соответствии с действующими Федеральными Законами:

- №261 от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

- №384 от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», а также постановлением Правительства Санкт-Петербурга;
- №930 от 27.07.2010 года «Региональная программа Санкт-Петербурга в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

Региональный методический документ разработан на основе ТСН 23-340-2003 «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий» и освещает вопросы применения энергоэффективных технологий в строительстве.

Разработанные рекомендации направлены на экономию всех видов потребляемой энергии, создание максимально комфортного микроклимата в помещениях и обеспечение долговечности конструкций зданий и сооружений.

Кроме того, в документе даны рекомендации по порядку проведения энергетических обследований зданий. В соответствии с международными системами стандартизации и сертификации определены методические основы сертификации и маркировки энергетической эффективности проектируемых и эксплуатируемых сооружений. Новые нормативы позволяют снизить расход тепловой энергии на отопление зданий на 15%.

Подолья Л.А. в своей научной диссертации рассматривает создание энергоэффективного дома на базе домов серии 111/МО принятых к массовому строительству в г. Москве [6]. Ученый решает следующие задачи:

- Обоснование и выбор технических решений инженерных систем и применяемого оборудования для их устройства.

Бегдай С. Н. в своей научной диссертации «Повышение тепловой эффективности одноэтажных зданий с гелиоколлектором» [7], рассматривает повышение тепловой эффективности одноэтажных зданий с помощью гелиоколлектора. Научная новизна заключается в следующем:

- уточнить модель процесса нестационарной теплопроводности многослойной стенки при граничных условиях III-го рода;
- получить экспериментальные данные, характеризующие значения сопротивления теплопередаче ограждения при установке теплоизоляционного слоя;
- по результатам численного эксперимента определить потери энергии для утепленного и неутепленного участков стен;

Исходя из выше перечисленного, можно сказать, что существует множество рекомендаций и примеров расчета по энергосбережению, но нет ни одной рекомендации для строительства здания с нулевым потреблением энергии.

### **3. Объект исследования**

Объектом исследования является здание, которое планируется построить в апреле 2013 г. на территории Политехнического университета. После сдачи объекта в эксплуатацию, в здании планируется разместить лабораторию энергосберегающих инновационных технологий Политехнического университета. На протяжении всего этапа эксплуатации будет осуществляться энергетический мониторинг здания, оценка теплофизических характеристик его ограждающих конструкций, определение фактических показателей его энергопотребления в течение отопительного периода. Для этого здание будет оборудовано современными измерительными комплексами и системами.

### **4. В Первый опыт строительства зданий с нулевым потреблением энергии**

Немецкий исследователь Вольфганг Фейст (Wolfgang Feist) из института "Institut für Wohnen und Umwelt" и шведский профессор Бо Адамсон из "Lund University" первыми предложили набирающую ныне популярность концепцию строительства энергопассивных домов.

В 1990 году в Германии в г. Дармштадт, было завершено строительство первого дома, положившего начало развитию новой технологии строительства энергоэффективных зданий. Опыт оказался настолько успешным, что с целью проведения дальнейшей исследовательской разработки комплекса стандартов строительства пассивного дома в 1996 году, доктором Фейстом в Дармштадте был основан Институт пассивного дома (Passivhaus Institut), ставший основной платформой для развития идей пассивного дома

и практическими разработками во всем мире. За 17 лет работы института построено примерно 15 тысяч зданий, которые соответствуют определению пассивного дома. Дома с «нулевым» потреблением энергии наиболее востребованы в Германии и Австрии, где построено наибольшее количество домов этой концепции [8].

## 5. Архитектурно-планировочные и объемно-пространственные решения

Объемно-планировочные и конструктивные решения имеют существенное влияние на энергопотребление здания. Выбор оптимальной формы здания, его ориентации, расположения, назначение площадей световых проемов, управление фильтрационными процессами позволяют уменьшить негативное теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания. При проектировании индивидуальных энергоэффективных зданий при одинаковом строительном объеме следует стремиться к зданиям шарообразной (кубической) формы с максимальным использованием пассивного гелио воздействия в отопительный период за счет южной ориентации световых проемов, в том числе застекленных лоджий и балконов [9].

Эффективность использования наружного климата возрастает при создании энергоактивных элементов здания, а именно пассивных и активных гелиоприемников, термосифонных ограждающих конструкций, теплоаккумуляторов, абсорберов тепловых насосов и др. Наибольший эффект будет проявляться у 1- 2- 3-этажных зданий с большей активной удельной ограждающей поверхностью.

Наибольшая тепловая эффективность по объемно-планировочному решению жилых домов точечной, линейной, периметральной и сетчатой схем застройки может быть достигнута за счет включения в ее состав совокупности элементов (блок-квартир, блок-секций или блок-элементов) с различными видами блокировки. Целесообразно применение домов с объемно-планировочными решениями, предусматривающими максимальное увеличение площади этажа и компактность объема здания [10].

Повышение комфорта в домах секционной планировочной структуры может быть достигнуто путем:

- увеличения площади летних помещений (лоджий или веранд);
- расширение состава дополнительных подсобных помещений и их размещение на этажах (например, в цокольном этаже) [11].

Тепловая эффективность зданий зависит от влияния ориентации здания по сторонам света. Для отдельного здания, фасады, ориентированные на направления от северо-западного до северо-восточного, в противоположность фасадам, ориентированным на направления от юго-восточного до юго-западного, не получают заметного притока тепла от солнечного излучения. Поэтому при проектировании зданий, отличных от прямоугольной планировочной модульной сетки (особенно крупных), следует стремиться к тому, чтобы на север была ориентирована наименьшая поверхность фасадов.

Важно учитывать коэффициент компактности, который рассчитывается по формуле:

$$K_k = \frac{A_n^{сум}}{V_{отп}}$$

где:  $A_n^{сум}$  - сумма площадей (по внутреннему обмеру) всех наружных ограждающих конструкций отапливаемой части здания,  $m^2$  ;

$V_{отп}$  - отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания,  $m^3$  .

Расчетный показатель компактности  $K_k$  для зданий жилых, административных, лечебных учреждений, домов-интернатов и дошкольных учреждений, как правило, не должен превышать следующих значений:

- 0,25 для зданий 16 этажей и выше;
- 0,29 для зданий от 10 до 15 этажей включительно;
- 0,32 для зданий от 6 до 9 этажей включительно;
- 0,36 для 5-этажных зданий;
- 0,43 для 4-этажных зданий;

- 0,54 для 3-этажных зданий;
- 0,61; 0,54; 0,46 для двух-, трех- и четырехэтажных блокированных и секционных домов соответственно;
- 0,9 для двухэтажных домов и одноэтажных домов с мансардой;

## 6. Перспективы строительства здания с нулевым потреблением энергии в России

Большинство зданий в России имеют низкую энергоэффективность, уступая стандартным европейским параметрам для строительства обычных домов, не говоря уже об энергопассивных. Например, в Германии применяются гораздо более жесткие нормы по теплоизоляции помещений. Так, например, удельный годовой расход тепла для обычного финского дома составляет не более 200 кВт ч/м<sup>3</sup> в год, в то время как в России – 400-600 кВт ч/м<sup>3</sup> в год [12].

Исходя из этого, можно сказать, что пассивные дома гораздо актуальнее в наших суровых условиях, чем в относительно мягком климате большинства западноевропейских стран. Медленно, но верно ситуация начинает меняться в сторону необходимости повышения энергоэффективности строительных объектов [13, 22-24].

Сдерживающим фактором пока еще является сложившееся предубеждение о дороговизне строительства таких домов. Расчеты показывают, что стоимость постройки 1м<sup>2</sup> энергоэффективного дома всего на 8-10% больше средних показателей для обычного здания. Очевидно, что эти дополнительные затраты несут существенны по сравнению с дальнейшей внушительной экономией энергоресурсов [14].

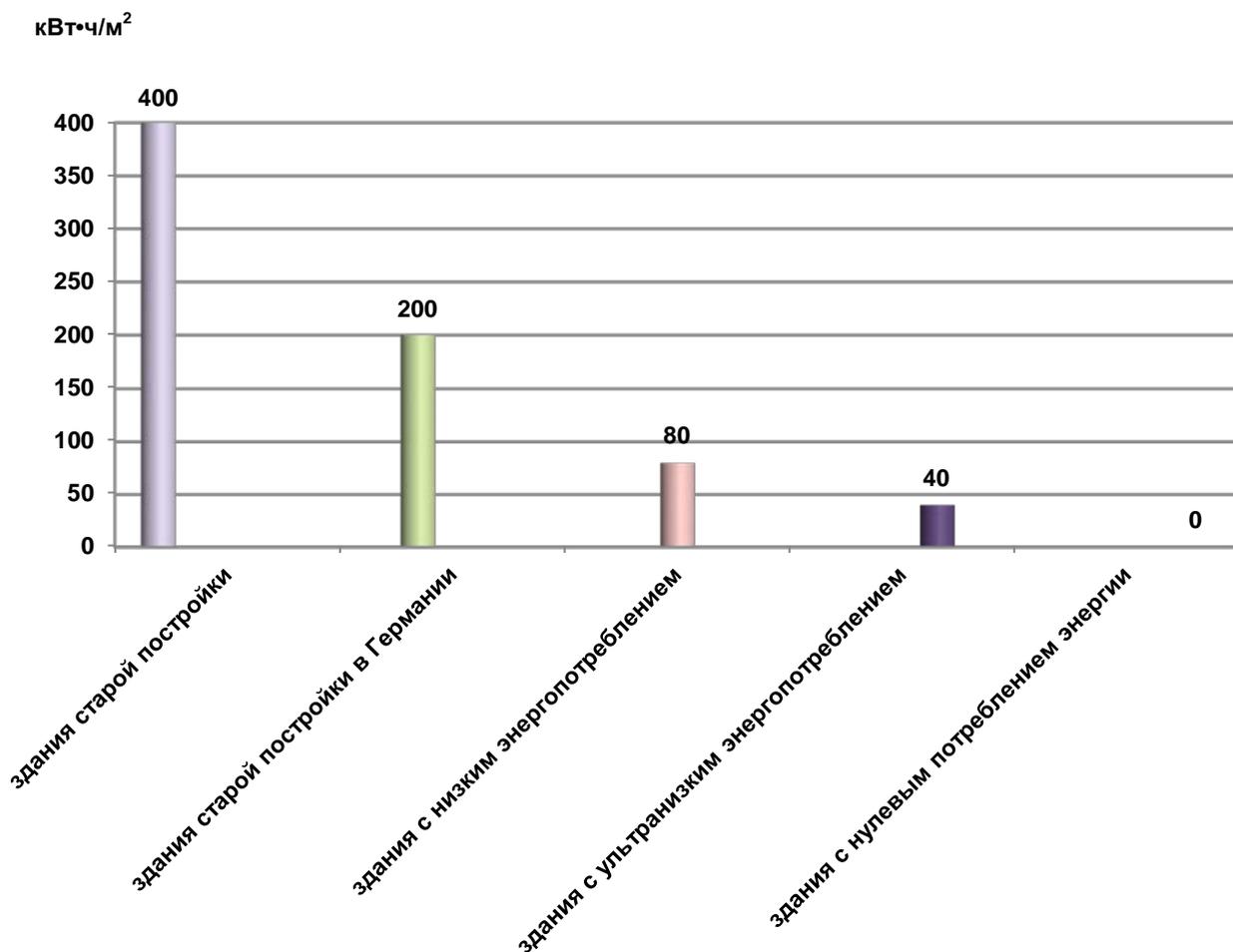


Рисунок 1. Группы зданий с различным уровнем расхода энергии на отопление

## 7. Оптимальных технических решений инженерных систем зданий с нулевым потреблением энергии

Проектные решения должны обеспечивать управление и мониторинг оборудования здания в рамках интегрированной среды, с использованием современных решений в сфере информационных технологий, средств автоматизации, цифровых аудио- и видео- систем, инженерного оборудования [15].

Инженерные системы здания, которые должны быть интегрированы в единую систему управления и мониторинга:

- отопления;
- вентиляции;
- кондиционирование;
- теплоснабжения;
- электроснабжения;
- электроосвещения, включая автоматическое и автоматизированное управление освещением;
- противопожарной защиты;
- видеонаблюдения;
- телекоммуникаций (телефон, локальная сеть здания с выходом в глобальные сети, телевидение).

Основные задачи при построении здания:

- достижение высокого уровня энергосбережения, включая пассивную энергоэффективность и активную оптимизацию использования энергоресурсов;
- обеспечение высокого уровня комфорта в обслуживаемых зонах здания, включая удобство централизованного управления инженерными системами и доступ к информационным ресурсам различных типов;
- обеспечение высокого уровня надежности отдельных компонентов (оборудования) и систем в целом в процессе эксплуатации и обслуживания систем здания;
- достижение безотказности функционирования интегрированных решений по инженерному обеспечению дома при изменении параметров, регулировании функций систем;
- снижение стоимости затрат на эксплуатацию систем здания в течение всего жизненного цикла объекта.

Проектные решения, направленные на минимизацию эксплуатационных затрат, должны обеспечивать:

- высокий уровень автоматизации;
- выполнение самодиагностики системы и выдача сообщений о вышедших из строя компонентах, контроллерах, исполнительных устройств;
- эффективное планирование использования оборудования, прогнозирование выхода оборудования из строя, автоматическое формирование запросов на сервисное обслуживание (при необходимости);
- возможность удаленного изменения настроек и обновления программного обеспечения;
- обеспечение продолжительной гарантии производителя на устанавливаемое оборудование, гарантии подрядчика/системного интегратора на обеспечение комплексной работоспособности системы.

Для управления системами отопления, вентиляции, освещения, охраны применяется контроллер Eguardeco 602.1.

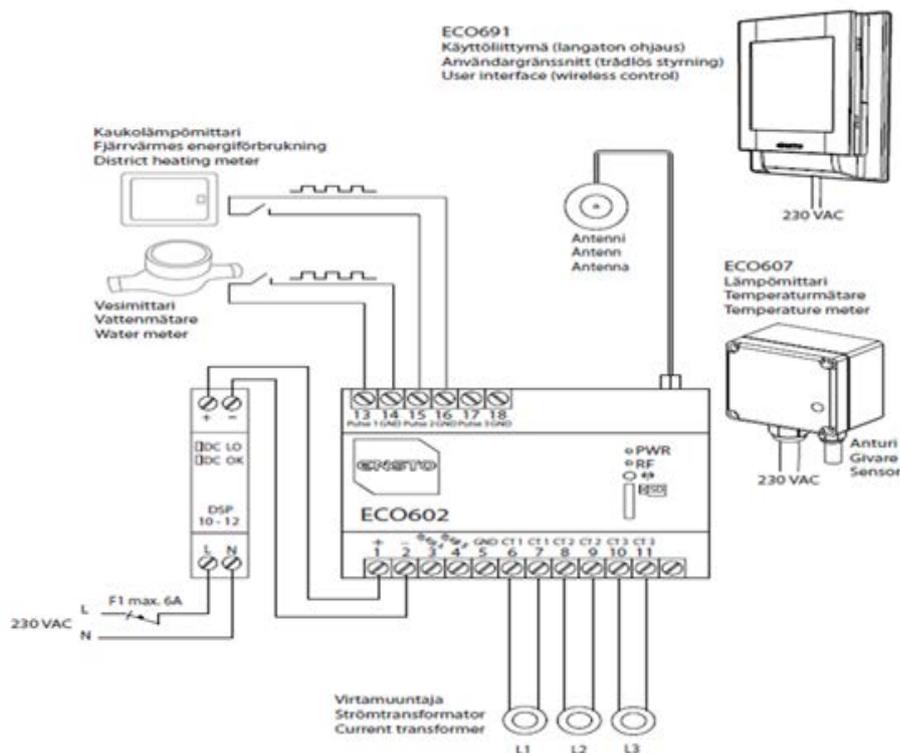


Рисунок 2. Принципиальная схема подключения контроллера Eguardeco 602.1

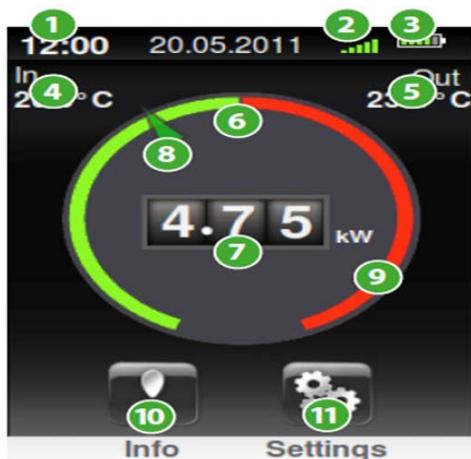


Рисунок 3. Визуализация показателей контроллера Eguardeco 602.1.

Пояснения к рисунку 3.

1. Время и дата. 2. Уровень сигнала. 3. Уровень зарядки батареи. 4. Температура в помещении. 5. Наружная температура. 6. Граница между Зеленым и Красным секторами показывает среднее потребление энергии за предыдущие 7 дней. 7. Текущее потребление электроэнергии (kWh). 8. Уровень текущего потребления (указатель) по отношению к среднему. 9. Красный сектор показывает большее, чем обычно потребление энергии. 10. Info: Подробная информация о потреблении энергии. 11. Settings: Установки даты и времени, языков и прочие.

Проектные решения обеспечивают сохранение всей накопленной информации на момент отказа или выхода из строя компонентов системы, с последующим восстановлением

функционирования системы после проведения ремонтных и восстановительных работ.

- Показатели надежности системы достигаются комплексом организационно-технических мер, обеспечивающих доступность ресурсов, их управляемость и удобство обслуживания.
- Организационные меры по обеспечению надежности направлены на минимизацию ошибок персонала службы эксплуатации и проведении работ по обслуживанию комплекса технических средств системы, минимизацию времени ремонта или замены вышедших из строя компонентов.
- Установлены распределительные приборы управления (выключатели, регуляторы), позволяющие пользователям управлять внутридомовыми системами, получать аварийные и информационные сообщения.

Состав интегрируемых сервисов:

- управление основными системами (освещение помещений, изменение параметров отопления и охлаждения, аудио и видеосистемами);
- функции видеомофона для входа в здание;

- вывод изображения с камер видеонаблюдения;
- информационные сообщения о состоянии инженерных систем, службы эксплуатации.

Основными компонентами интегрированной системы оборудования здания являются:

- выключатели управления светильниками;
- диммеры для плавного регулирования освещения;
- датчики движения/присутствия, датчики температуры;
- охранная система;
- камеры видеонаблюдения;
- локальные терморегуляторы и пульты управления климатическим оборудованием;
- исполнительные устройства, сервоприводы регуляторов и исполнительные механизмы;
- системные компоненты (источники питания, преобразователи интерфейса, реле, модули ввода-вывода);
- контроллеры и интерфейсные устройства инженерного оборудования здания.

В качестве источников теплоснабжения следует предусмотреть альтернативные грунтовый тепловой насос. Извлечение тепла – из скважин, пробуренных в грунте на глубину 100 – 150 м.

Регулирование температуры теплоносителя осуществляется в соответствии с температурным графиком, в зависимости от температуры наружного воздуха. Циркуляционные насосы систем отопления и теплоснабжения предусмотрены с частотным регулированием [16].

Контроль и мониторинг системы отопления включает:

- дистанционную передачу данных;
- возможность дистанционно изменять настройки отопительной системы (настройки режимов работы, временных программ и кривых отопления);
- быстрое и подробное информирование о возникших неисправностях в форме электронного сообщения или SMS-сообщения (уведомление с кодом неисправности).
- в здании предусмотрен узел учета тепловой энергии.
- в случаях достижения минимально заданной температуры внутреннего воздуха в здании осуществляется аварийное оповещение персонала.

Водяная система отопления посредством трубопроводов, проложенных в полах здания (система «теплый пол»). Производится автоматическое регулирование температуры теплоносителя в зависимости от температуры внутреннего воздуха в помещениях (помещении) здания. Для управления системой применяются локальные контроллеры с датчиками температуры, а также локальные терморегуляторы для включения/отключения системы и изменения установок температуры. Предусмотрено дистанционное управление и возможность автоматического включения/отключения по таймеру [17].

Использована схема регулируемой приточно-вытяжной механической вентиляции помещения здания с утилизацией теплоты грунта и вытяжного воздуха.

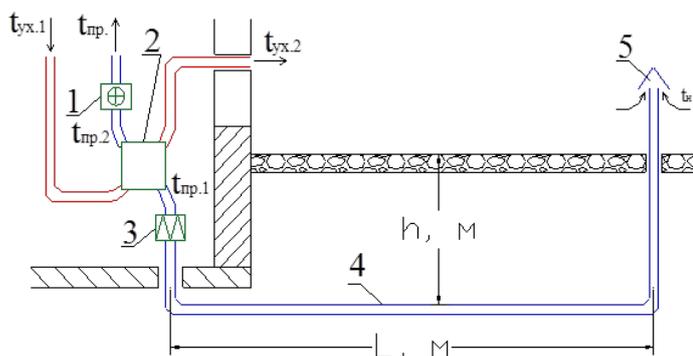


Рисунок 5. Принципиальная схема вентиляции здания с утилизацией теплоты грунта и вытяжного воздуха

Пояснения к рисунку 5:

1. пиковый догреватель, 2. утилизатор теплоты, 3. фильтр, 4. грунтовый теплообменник, 5. воздухозаборный оголовок.

Источник: «Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге» [18]

Система вентиляции оборудована датчиками двуокиси углерода и влажности внутреннего воздуха в помещении здания [19].

Система кондиционирования помещений здания в теплый период эксплуатации комбинирована со схемой вентиляции, представленной на рисунке 5 (отдавать тепло в летний режим эксплуатации обратно в грунт).

Система кондиционирования удовлетворяет следующим требованиям:

- низкое энергопотребление;
- высокая надежность;
- удобство управления.

## 8. Управление системами отопления и кондиционирования

В зимнее время нагрев приточного воздуха – за счет работы роторного рекуператора и водяного калорифера (30/20, 35/25 или 60/40). В летнее время охлаждение по схеме «фрикулинга», тепло приточного воздуха утилизируется в грунтовый контур. Необходим доступ ко всем функциям контроля, мониторинга потребляемой электроэнергии каждым потребителем[20].

Централизованны и дистанционно выполнены следующие настройки:

- возможность ночного снижения температуры внутреннего воздуха в помещениях до 17 °С;
- таймер с программированием на неделю для автоматического снижения температуры;
- защита от замерзания;
- функции «Home» (нормальный режим), «Away» (режим непродолжительного отсутствия), «Long away» (режим длительного отсутствия), «Boosting» (режим ускорения), Night Cooling (режим охлаждения за счет прохладного наружного воздуха).

Централизованное управление системами отопления и кондиционирования включает в себя функции мониторинга и управления:

- текущее состояние, включение/отключение отдельного блока / группы / зоны;
- режим работы: нагрев/ охлаждение/ вентиляция/ авто;
- установленная температура;
- загрязненность фильтра;
- неисправности и ошибки связи, код ошибки;
- блокировка ПУ (вкл/выкл, режима работы, температуры).

Проведенный анализ отечественной и зарубежной информации, опыта проектирования, строительства и эксплуатации свидетельствует о технической возможности и экономической целесообразности создания энергоэффективных зданий. Максимальный эффект энергосбережения может быть достигнут при комплексном рассмотрении объемно-планировочных и конструктивных решений, а также нетрадиционных для отечественной практики инженерно-технических систем[21].

К числу наиболее эффективных объемно-планировочных и конструктивных решений, подлежащих рассмотрению при комплексных исследованиях, относятся:

- обеспечение высокого сопротивления теплопередаче всех ограждающих конструкций (стен, окон, подвального и чердачного перекрытий);
- рациональная ориентация здания по сторонам горизонта;
- уменьшение изрезанности наружных стен и увеличение ширины корпуса зданий.

Наиболее эффективным инженерным оборудованием, подлежащим комплексному исследованию для обоснования применения в энергоэкономичных зданиях, являются:

- горизонтальная система отопления с высокоэффективными нагревательными приборами;
- тепловые насосы, позволяющие использовать тепло грунта или подземных вод, а также утилизировать тепловентиляционный воздух и сточных вод [22].

### Литература

1. Ананьев А. И. Научно-технические основы повышения теплозащитных качеств и долговечности наружных ограждающих конструкций зданий и штучных элементов: Автореф. дисс. д.т.н.: Спец.: 05.23.01, 05.23.03. М.: НИИСФ, 1998. С. 251-252.
2. Chang Y., Ries R. J., Wang Y. The quantification of the embodied impacts of construction projects on energy, environment, and society based on I-O LCA // *Energy Policy*. 2011. Vol. 39. Issue 10. Pp. 6321–6330.
3. Немова Д. В., Спиридонова Т. И., Куражова В. Г. Неизвестные свойства известного материала // *строительство уникальных зданий и сооружений*. 2012. №1. С. 36-46.
4. Конкурс «Архитектурная концепция здания с нулевым потреблением энергии» / Петров К. В., Следь И. А., Орлов О. А., Рысь И. В., Урустимов А. И. // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2012. №1. С. 54-61.
5. Региональный методический документ «Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий».
6. Jormalainen J., Käkälä P. Sustainability of Polyurethane Thermal Insulation // NSB-2011. 9-th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland. 29 May – 2 June, 2011. 6 p.
7. Бегдай С. Н. Повышение тепловой эффективности одноэтажных зданий с гелиоколлектором. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец.: 05.23.03. Волгоград, 2008. 131 с.
8. Богуславский Л. Д. Экономия теплоты в жилых зданиях. М.: Стройиздат, 1990. С. 17-20.
9. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
10. Integrated technology selection for energy conservation and PAHs control in iron and steel industry: Methodology and case study / Li Li, Yonglong Lu, Yajuan Shi, Tieyu Wang, Wei Luo, Jorrit Gosens, Peng Chen, Haiqian Li // *Energy Policy*. Vol. 54. 2013. Pp. 194-203.
11. Гагарин В. Г. О недостаточной обоснованности повышенных требований к теплозащите наружных стен зданий. В кн.: *Проблемы строительной теплофизики, систем микроклимата и энергосбережения в зданиях*. М.: НИИСФ. 1998. С. 122-135.
12. Бутовский И. Н., Рыбалов Е. И., Табунщиков Ю. А. Оптимизация теплозащиты зданий. *Строительство и архитектура*. Обзорная информация. Отечественный и зарубежный опыт. М.: ВНИИС, 2000. С. 2-4.
13. Аверьянов В.К., Зарецкий Р.Ю., Подолян Л.А., Тютюнников А.И. Энергоэффективный дом: Информационный бюллетень «Теплоэнергетические технологии», 2002. с. 2.
14. Беляев В. С. [и др.] Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий. М.: Высшая школа, 1991. 178 с..
15. Дмитриев А. Н. Энергосберегающие ограждающие конструкции гражданских зданий: Автореф. дисс. д.т.н. Спец.: 05.23.01. М.: РГОТУПС, 1999. 71 с.
16. Jormalainen J., Käkälä P. Sustainability of Polyurethane Thermal Insulation // NSB-2011. 9-th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland. 29 May – 2 June, 2011, p. 6.
17. Аверьянов В. К., Минин В. Е., Тютюнников А. И. [и др.] Эффективные системы отопления зданий. М.: Стройиздат, 1988. 78 с.
18. BRE Global 2010. Life cycle environmental and economic analysis of polyurethane insulation in low energy. System Requirements: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.spu.fi/files/spu/pdf/BRE\\_Report.pdf](http://www.spu.fi/files/spu/pdf/BRE_Report.pdf). (Date of reference: 13.12.2012)
19. Бухарцев В. Н., Петриченко М. Р. Нестационарная фильтрация в однородном грунтовом массиве // *Гидротехническое строительство*. 2012. № 4. С. 10-12.
20. Инструкция о порядке назначения основных теплотехнических характеристик общежитий // ВСП 31-01-03 // Минобороны. М.: МО РФ, 2003. с. 8, 10.
21. Дмитриев А. Н. Энергосберегающие ограждающие конструкции гражданских зданий: Автореф. дисс. д.т.н. Спец.: 05.23.01. М.: РГОТУПС, 1999. 71 с.

22. Futchera J. A., Millsb G. The role of urban form as an energy management parameter // Energy Policy. Vol. 53. 2013. Pp. 218–228.
23. For better or for worse? Empirical evidence of moral licensing in a behavioral energy conservation campaign / Tiefenbecka V., Staakeb Th., Rotha K., Sachs O. // Energy Policy. Vol. 57. 2013. Pp. 160–171.
24. Clark Th. A. Metropolitan density, energy efficiency and carbon emissions: Multi-attribute tradeoffs and their policy implications // Energy Policy. Vol. 53. 2013. Pp. 413–428.

## References

1. Anan'ev A. I. *Nauchno-tekhnicheskie osnovy povysheniia teplozashchitnykh kachestv i dolgovechnosti naruzhnykh ograzhdaiushchikh konstruksii zdanii i. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk, NIISF, M., 1998. Pp. 251-252. (rus)*
2. Chang Y., Ries R. J., Wang Y. The quantification of the embodied impacts of construction projects on energy, environment, and society based on I-O LCA // Energy Policy. 2011. Vol. 39. Issue 10. Pp. 6321–6330.
3. Nemova D. V., Spiridonova T. I., Kurazhova V. G. Unknown properties of the well-known material // Construction of Unique Buildings and Structures. 2012. No.1. Pp. 36-46. (rus)
4. Competition "Architectural concept of building with zero energy consumption" / Petrov K. V., Sled I. A., Orlov O. A., Rys I. V., Urustimov A. I. // Construction of unique buildings and structures. 2012. No.1. Pp. 62-69.
5. *Regional'nyj metodicheskij dokument "Rekomendacii po obespecheniju jenergeticheskoy jeffektivnosti zhilyh i obshhestvennyh zdaniij". (rus)*
6. Jormalainen J., Käkelä P. Sustainability of Polyurethane Thermal Insulation // NSB-2011. 9-th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland. 29 May – 2 June, 2011. 6 p.
7. *Begdaj S. N. Povyshenie teplovoj jeffektivnosti odnojetazhnyh zdaniy s geliokollektorom. Diss. of Ph.D.: Spec.: 05.23.03. Volgograd, 2008. 131 p. (rus)*
8. *Boguslavskij L. D. Jekonomija teploty v zhilyh zdaniyah. M.: Strojizdat, 1990. Pp. 17-20. (rus)*
9. *GOST 30494-96 Zdaniya zhilye i obshhestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshheniyah. (rus)*
10. *Ivanov G. S. Konceptiya resursosberezheniya pri stroitel'stve i jekspluatacii zdaniy // Zhilishhnoe stroitel'stvo. 1991. № 11. (rus)*
11. Integrated technology selection for energy conservation and PAHs control in iron and steel industry: Methodology and case study / Li Li, Yonglong Lu, Yajuan Shi, Tieyu Wang, Wei Luo, Jorrit Gosens, Peng Chen, Haiqian Li // Energy Policy. Vol. 54. 2013. Pp. 194-203.
12. *Butovskij I. N., Rybalov E. I., Tabunshhikov Ju. A. Optimizacija teplozashchity zdaniy. Stroitel'stvo i arhitektura. Obzornaja informacija. Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt. M.: VNIIS, 2000. Pp. 2-4. (rus)*
13. *Aver'janov V.K., Zareckij R.Ju., Podoljan L.A., Tjutjunnikov A.I. Jenergojeffektivnyj dom: Informacionnyj bjulleten' «Teplojenergeticheskie tehnologii», 2002. 2 p. (rus)*
14. *Beljaev B. C. [et. al.] Proektirovanie jenergojekonomichnyh i jenergoaktivnyh grazhdanskih zdaniy. M.: Vysshaja shkola, 1991. 178 p. (rus)*
15. *Dmitriev A. N. Jenergosberegajushhie ograzhdajushhie konstrukcii grazhdanskih zdaniy: Avtoref. diss. d.t.n. Spec.: 05.23.01. M.: RGOTUPS, 1999. 71 s. (rus)*
16. Jormalainen J., Käkelä P. Sustainability of Polyurethane Thermal Insulation // NSB-2011. 9-th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland. 29 May – 2 June, 2011. 6 p.
17. *Aver'janov V.K., Minin V.E., Tjutjunnikov A.I. i dr. Jefferktivnye sistemy otopenija zdaniy. M.: Strojizdat, 1988. p. 78. (rus)*
18. BRE Global 2010. Life cycle environmental and economic analysis of polyurethane insulation in low energy. System Requirements: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.spu.fi/files/spu/pdf/BRE\\_Report.pdf](http://www.spu.fi/files/spu/pdf/BRE_Report.pdf). (Date of reference: 13.12.2012)
19. Buharcev V. N., Petrichenko M. R. *Nestacionarnaja fil'tracija v odnorodnom gruntovom massive // Power Technology and Engineering. 2012. No. 4. Pp. 10-12. (rus)*
20. *Instrukcija o porjadke naznachenija osnovnyh teplotehnicheskikh karakteristik obshhevojskovykh zdaniy // VSP 31-01-03. (rus)*
21. *Dmitriev A. N. Jenergosberegajushhie ograzhdajushhie konstrukcii grazhdanskih zdaniy: Avtoref. diss. dokt. tehn. nauk: Spec. 05.23.01. M.: RGOTUPS, 1999. 71 p. (rus)*

22. Futchera J. A., Millsb G. The role of urban form as an energy management parameter // Energy Policy. Vol. 53. 2013. Pp. 218–228.
23. For better or for worse? Empirical evidence of moral licensing in a behavioral energy conservation campaign / Tiefenbecka V., Staakeb Th., Rotha K., Sachs O. // Energy Policy. Vol. 57. 2013. Pp. 160–171.
24. Clark Th. A. Metropolitan density, energy efficiency and carbon emissions: Multi-attribute tradeoffs and their policy implications // Energy Policy. Vol. 53. 2013. Pp. 413–428.