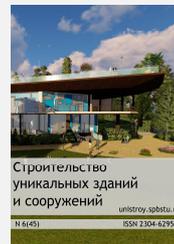




Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Проектирование и анализ энергоэффективности дома, удовлетворяющего принципам стандарта «Passivhaus»

Д.О. Советников^{1*}, Д.О. Семашкина²

¹⁻² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье

УДК

История

Подана в редакцию 25 марта 2016

Ключевые слова

энергоэффективность;
пассивный дом;
анализ энергоэффективности;
Green Building Studio;
зеленое строительство;

АННОТАЦИЯ

В статье описаны основные положения, отвечающие концепции энергоэффективного стандарта «Passivhaus». С помощью программного обеспечения Autodesk Revit Energy Analysis и Green Building Studio были произведены проектирование малоэтажного жилого здания, а также анализ его энергоэффективности в зависимости от принятых архитектурно-планировочных, пространственных решений, выбора ограждающих конструкций, инженерного оборудования. Кроме того, перечислены основные принципы рациональной вентиляции и отопления, рассмотрено оборудование, использующее возобновляемые источники энергии. В результате проектирования были получены показатели интенсивности использования энергии, соответствующие принятому за эталон стандарту «Passivhaus».

Содержание

1.	Введение	69
2.	Обзор литературы	69
3.	Цели и задачи исследования	70
4.	Основная часть	70
5.	Результаты анализа	80
6.	Заключение	83

Контактный автор:

- 1*. +79119019058, sovvet96@yandex.ru (Советников Даниил Олегович, студент)
2. +7(981)1532171, daria.semashkina@gmail.com (Семашкина Дарья Олеговна, студент)

1. Введение

Естественный прирост населения планеты, развитие экономики и различных отраслей промышленности являются основными причинами возрастающего энергопотребления. Постепенное уменьшение конечных запасов ископаемых энергетических ресурсов, возрастающая сложность их добычи и, как следствие, увеличение затрат на их приобретение заставляют задуматься о снижении общих энергозатрат и поиск новых, возобновляемых энергоресурсов.

Строительство, являясь одной из наиболее энергоемких отраслей экономики, в тоже время имеет большой потенциал для разработки и применения различных энергоэффективных решений.

Во многих европейских странах строительство зданий с пониженным энергопотреблением регулируется и поощряется на государственном уровне [1-2], вплоть до ограничения теплотребления строящихся домов на уровне 60–70 кВт·ч/(м²·год).

Кроме того, существует система международных добровольных сертификационных «зеленых» стандартов, целью которых является уменьшение негативного и повышение позитивного влияния на окружающую среду и здоровье человека, снижение потребления, а также использование энергии и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла.

2. Обзор литературы

В статье [3] А.С. Горшкова, Д.В. Дерунова и В.В. Завгороднего проводится сравнительный анализ строительства зданий с нулевым потреблением энергии в Российской Федерации и зарубежных странах. Описаны некоторые архитектурно-планировочные, объемно-пространственные решения, влияющие на энергоэффективность здания. Перечислены основные требования к инженерным системам здания, которые должны быть интегрированы в единую систему управления и мониторинга.

Советниковым Д.О. в работе [4] были рассмотрены архитектурные и пространственно-планировочные решения, направленные на создание дома, наиболее полно отвечающего принятым в мире стандартам пассивного строительства. Перечислены возможные «пассивные» архитектурно-планировочные, пространственно-планировочные (ориентация здания, объемно-планировочные решения, остекление фасадов, аккумуляция тепла), а также «активные» решения с применением различного инженерного оборудования (рекуператоры, грунтовые теплообменники). Особое внимание уделено принципам проектирования герметичной теплоизоляционной оболочки здания.

Книга [5] В. Файста содержит материал по принципам проектирования зданий с низким энергопотреблением и пассивных домов. Основной упор в книге делается на качественное проектирование и выполнение теплоизоляционной оболочки здания без тепловых мостов. В книге сформулированы основные требования к различным конструктивным элементам и инженерным системам пассивных зданий: к наружной теплоизоляционной оболочке, к воздухопроницаемой оболочке, к окнам и дверям, к системе механической приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла, к системам отопления, горячего и холодного водоснабжения.

В статьях [6-12] приведены исследования различных энергосберегающих технологий и материалов, произведено сравнение их влияния на теплопотери зданий. Подобраны наиболее рациональные варианты конструкций и оборудования для повышения энергоэффективности зданий.

В статьях [13-24] описаны основные принципы энергоэффективного проектирования, приведены различные методики расчетов и анализа зданий, отвечающих стандартам зеленого строительства и параметрам энергоэффективности.

В статьях [25-34] произведены моделирование и оценка энергоэффективности зданий в различных программных комплексах (Revit, EnergyPlus, PHPP, TRNSYS и другие) с использованием BIM-технологий.

Рейтинговая система для «зеленых» зданий LEED [35] была разработана как стандарт измерения проектов энергоэффективных, экологически чистых и устойчивых зданий для осуществления перехода строительной индустрии к проектированию, строительству и эксплуатации таких зданий.

Стандарт «Passivhaus» [36] является одним из ведущих мировых стандартов для энергоэффективного строительства. Экономия затрат на отопление зданий, построенных по данной концепции, как правило, более чем на 80% ниже затрат для аналогичных зданий, спроектированных согласно национальным нормативным стандартам. «Passivhaus» характеризуется достижением особенно высокого уровня теплового комфорта в помещении с минимальным потреблением энергии, за счет использования возобновляемых источников энергии.

Для проектирования здания, отвечающего региональным требованиям энергоэффективности были использованы нормативные документы:

- СТО 00044807-001-2006 Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий [37]
- СП 131.13330.2012 Строительная климатология [38]
- СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий [39]

3. Цели и задачи исследования

Основной целью работы является проектирование энергоэффективного, экологичного, комфортного для проживания здания, а также его энергетический анализ на соответствие стандарту «Passivhaus» с учетом климатических особенностей региона предполагаемого строительства. Анализ здания произведен с использованием программного обеспечения Autodesk Revit и его расширений: *Energy Analysis u Green Building Studio*.

В ходе исследования решаются следующие задачи:

- Применение различных архитектурно-планировочных, пространственных решений и анализ их влияния на энергозатраты
- Подбор ограждающих конструкций и анализ их эффективности в соответствии со стандартом:
 - для плотных ограждающих конструкций (наружные стены, кровля) $U \leq 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, $R_0 \geq 6,7 \text{ (м}^2\text{С)}/\text{Вт}$
 - для остекления $U \leq 0,7 \text{ Вт}/\text{мК}$, $R_0 \geq 1,4 \text{ (м}^2\text{С)}/\text{Вт}$
 - для оконного профиля $U \leq 0,8 \text{ Вт}/\text{мК}$, $R_0 \geq 1,25 \text{ (м}^2\text{С)}/\text{Вт}$
- Подбор возможного инженерного оборудования, а также концепция устройства наиболее рациональной системы вентиляции и отопления
- Анализ здания на соответствие стандарту «Passivhaus»:
 - Удельные затраты энергии на отопление $\leq 15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ в год}$
 - Общие затраты на отопление, горячее водоснабжение и электроснабжение $\leq 120 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \text{ в год}$ первичной энергии

4. Основная часть

Таблица 1. Исходные данные

Объект исследования	Жилое четырехэтажное здание 1-3 этажи - жилые, по 2 квартиры на этаже с отдельными лестничными клетками; 4 этаж - мансардный с общим входом
Место строительства	Западный пригород Санкт-Петербурга (Петровская аллея, вблизи с Финским заливом)
Климатические условия	Климат умеренный и влажный, переходный от континентального к морскому. Для данного региона характерна частая смена воздушных масс, обусловленная в значительной степени циклонической деятельностью
Температура наружного воздуха ⁽¹⁾	Макс.: 31°C / Мин.: -26°C
Господствующие ветры ⁽¹⁾	Западные, юго-западные и северо-западные ветры

(1) – в соответствии с СП 131.13330.2012 [9]

4.1 Предварительные проектные решения

Форма здания

Здание простой прямоугольной формы, характеризуемой достаточно большим коэффициентом компактности (отношением площади наружных ограждающих конструкций отапливаемой части здания к отапливаемому объему здания).

Изрезанностью отличается только южный фасад с открытыми балконами, но т.к. эти помещения находятся снаружи утепленной оболочки здания, значительного увеличения расхода энергии на отопление не последует. Кроме того, спроектированные таким образом балконы создают естественное затенение, снижающее перегрев в летнее время.

Зонирование

Устройство жилых помещений в южной части здания, "буферных отсеков": вспомогательных помещений, входов и тамбуров в северной части (рис. 1). Подобные отсеки должны снизить возможные потери тепла.

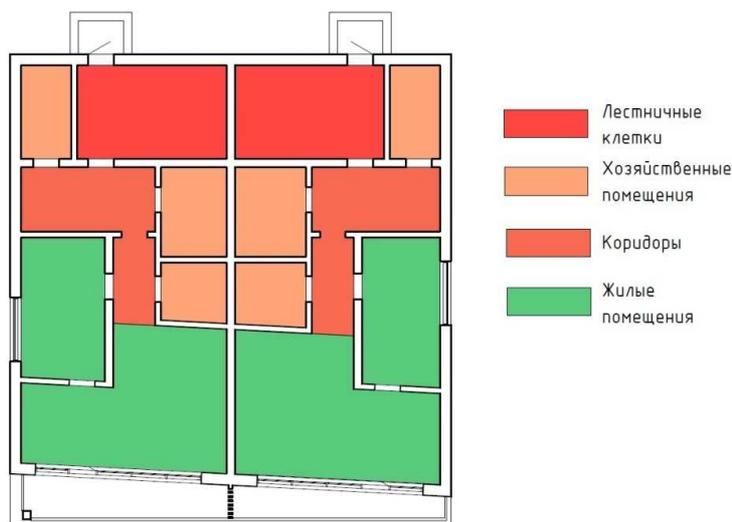


Рисунок 1. Зонирование здания

Кроме того, запроектирован хорошо теплоизолированный мансардный этаж, препятствующий потерям тепла из жилых помещений непосредственно через крышу.

Защита от ветровых потоков

Для защиты здания от воздействия ветра возможно использование зеленых насаждений. Кроме того, в направлении особо сильных ветров здание следует ориентировать малоостекленным западным фасадом, защищающим наиболее остекленные от ветра (рис. 2).

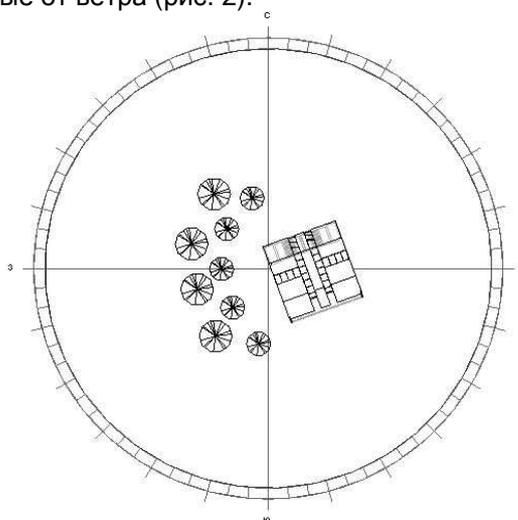


Рисунок 2. Меры по защите здания от воздействия ветра

Теплоизоляция

Один из основных принципов стандарта «Passivhaus» - устройство сплошной непрерывной теплоизоляционной оболочки, исключая возникновение тепловых мостов - узлов, в которых происходит увеличение теплоотдачи из-за нарушения непрерывности оболочки. Подобные мосты возникают на стыках перекрытий и стен, стен и оконных проемов, стен и кровли.

На рисунке 3 представлена схема теплоизоляционной оболочки с отмеченными возможными местами возникновения тепловых мостов.

Избежать их возникновения можно посредством нанесения сплошного герметичного штукатурного слоя по всему отапливаемому объему здания.

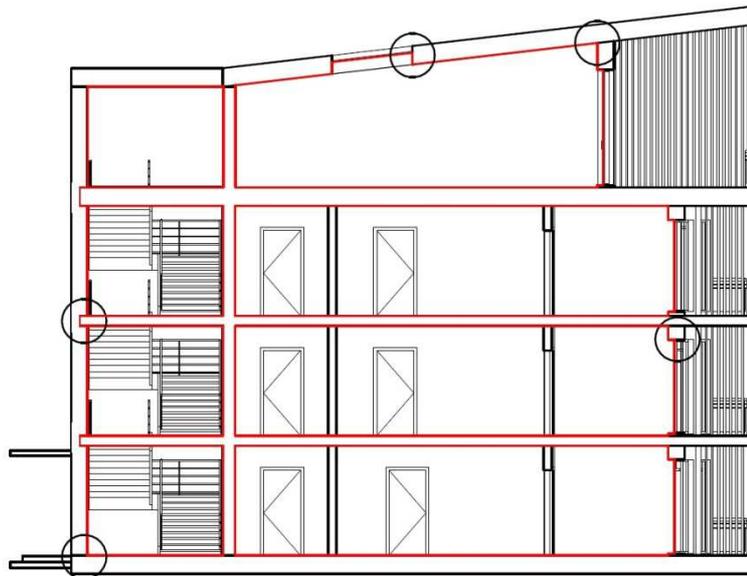


Рисунок 3. Теплоизоляционная оболочка здания

Остекление

Максимальное остекление южного фасада, устройство оконных проемов с западной и восточной части здания для освещения жилых помещений.

Использование наклонного остекления и витражной стены на мансардном этаже для максимально возможной экономии энергии на освещение.

Остекление северного фасада (лестничных клеток) с одной стороны повысит вероятность возникновения теплопотерь, но с другой - значительно снизит затраты на электропотребление при выборе окон с хорошими теплоизоляционными характеристиками.

4.2 Анализ расчетных проектных решений

Ограждающие конструкции

В ходе исследования выполнен анализ энергоэффективности ограждающих конструкций, подобранных в соответствии со стандартом «Passivhaus». В качестве теплоизоляционного материала выбран экструдированный пенополистирол, отличающийся хорошими физическими характеристиками, низкой теплопроводностью (коэффициент теплопроводности $\lambda=0,029$ Вт/(м·К)) и экологичностью (к примеру, XPS CARBON ECO компании Технониколь имеет экомаркировку I типа "Листок жизни").

Расчетные параметры конструкций приведены в таблице 1. Результаты анализа представлены на рисунке 4.

Таблица 2. Теплофизические характеристики ограждающих конструкций

Материал	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Сопротивление теплопередаче конструкции R, (м ² ·°C)/Вт
Ограждающие стены			7,020

Внутренний штукатурный слой	10	0,21	
Железобетонная плита	200	1,69	
Экструдированный пенополистирол XPS Carbon Eco	140	0,029	
Воздушная прослойка	50	0,025	
Облицовочные панели	20	0,18	
Кровля			7,035
Железобетонная плита	200	1,69	
XPS Carbon Eco	180	0,029	
Гидроизоляционный слой	20	0,22	
Пароизоляционный слой	10	0,035	
Кровельное покрытие	50	0,84	
Фундамент			5,427
Цементно-песчаная стяжка	50	0,93	
XPS Carbon Eco	150	0,029	
Железобетон	300	0,18	
Междуэтажное перекрытие			3,537
Напольное покрытие	10	0,38	
Цементно-песчаная стяжка	50	0,93	
XPS Carbon Eco	100	0,029	
Железобетонная плита	150	0,18	

Интенсивность использования энергии

Электричество - интенсивность использования энергии:	188 кВт.ч/ст.м3/год
Топливо - интенсивность использования энергии:	185 мДж/ст.м3/год
Итого - интенсивность использования энергии:	860 мДж/ст.м3/год

Ежемесячная тепловая нагрузка

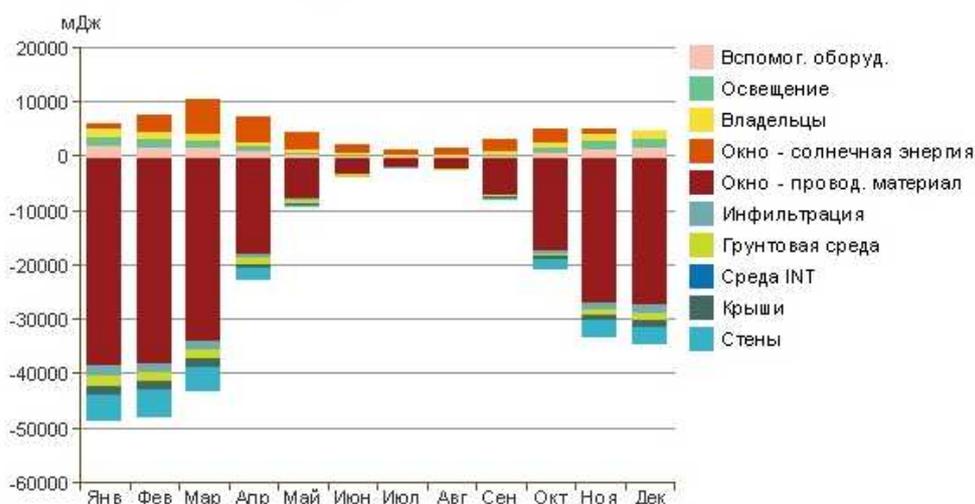


Рисунок 4. Результаты анализа энергоэффективности ограждающих конструкций

Остекление

В результате анализа диаграммы "Ежемесячная тепловая нагрузка" (рис. 4) установлено, что теплопотери через оконные проемы наиболее интенсивны, что вызывает значительные энергозатраты на обогрев зимой и вентиляцию летом.

В качестве инструмента использовался сервис Green Building Studio, согласно которому для принятого в предыдущем пункте варианта здания энергетические параметры имеют следующие значения (рис. 5):

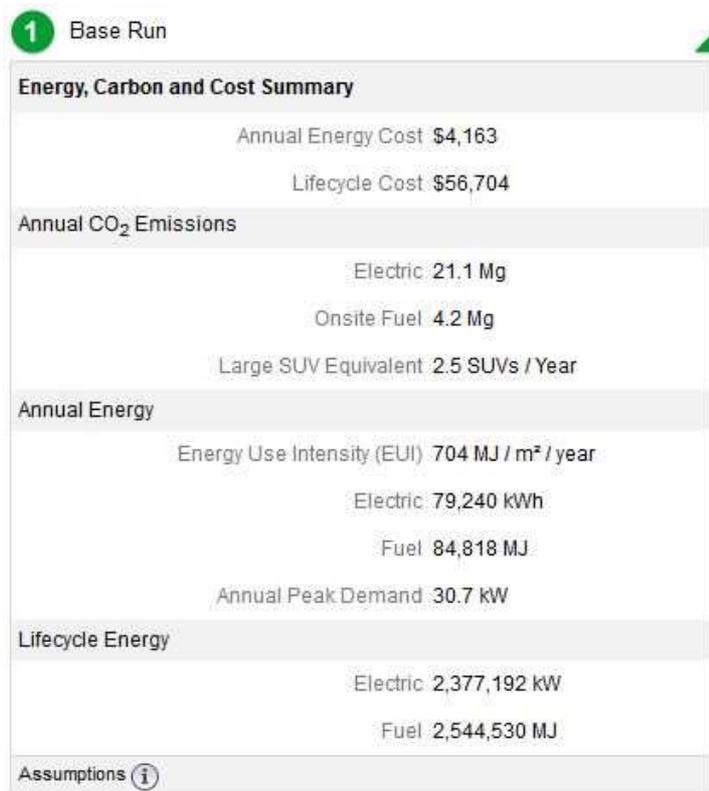


Рисунок 5. Анализ энергоэффективности здания с использованием Green Building Studio

При следующих тепловых характеристиках оконных проемов (рис. 6):

Fixed Windows	North Facing Windows: Triple pane, clear, low-e (47 windows)	55 m ²
	U-Value: 1.26 W / (m ² -K), SHGC: 0.47, Vlt: 0.64	
	Non-North Facing Windows: Triple pane, clear, low-e (19 windows)	132 m ²
	U-Value: 1.26 W / (m ² -K), SHGC: 0.47, Vlt: 0.64	

Рисунок 6. Теплофизические характеристики первичного остекления

Далее, чтобы максимально сократить теплопотери через оконные проемы, в проект были внесены изменения вручную, при которых было выбрано остекление с наименьшими значениями коэффициента теплопередачи (U-value) и коэффициента теплопритока от солнечного излучения (SHGC) (рис.7-8):

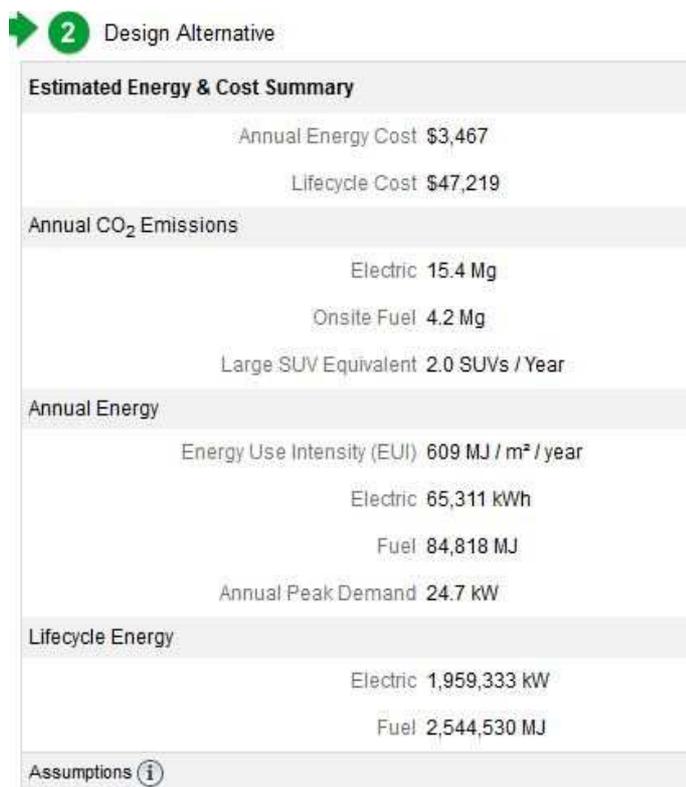


Рисунок 7. Анализ энергоэффективности здания с использованием Green Building Studio

Fixed Windows	North Facing Windows: Translucent Wall Panel, (U-0.10, SHGC 0.06, Tvis 0.04) (47 windows)	55 m ²
	U-Value: 0.57 W / (m ² -K), SHGC: 0.06, Vit: 0.04	
	Non-North Facing Windows: Translucent Wall Panel, (U-0.10, SHGC 0.06, Tvis 0.04) (19 windows)	132 m ²
	U-Value: 0.57 W / (m ² -K), SHGC: 0.06, Vit: 0.04	

Рисунок 8. Теплофизические характеристики первичного остекления

Ориентация здания

Анализ солнечной нагрузки

Для анализа солнечной нагрузки было проведено несколько расчетов при различной ориентации здания.

Исходное положение - наиболее остекленный фасад направлен на юг. Так же рассмотрены варианты при отклонении здания на 20, 30 и 45° от исходного положения в восточном направлении (рис. 9) (т.к. в летний период при таком расположении окон уже нагретые в течение дня помещения будут защищены от излишнего солнечного излучения, кроме того сильно остекленный южный фасад будет защищен от сильных западных ветров)

Результаты анализа показаны на диаграммах рисунков 10-12.

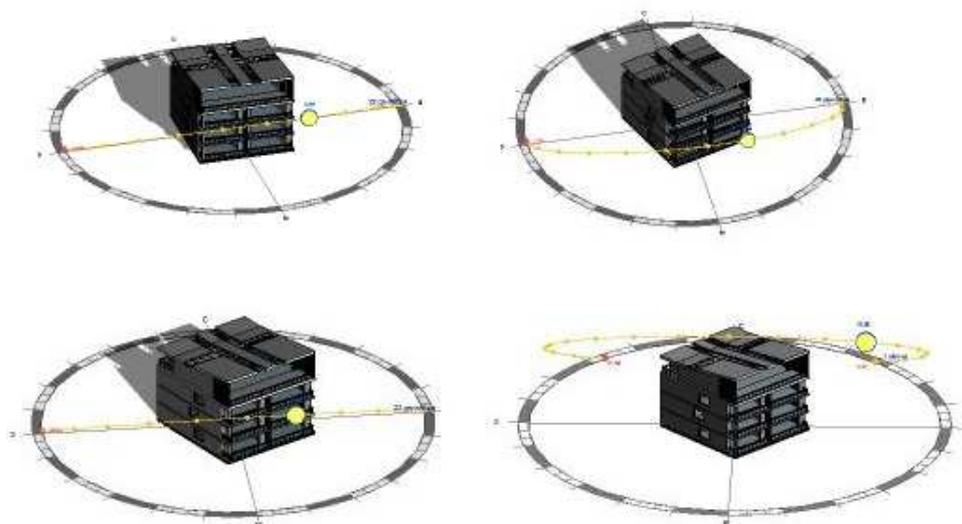


Рисунок 9. Расчетные положения здания

Интенсивность использования энергии

Электричество - интенсивность использования энергии:	156 кВт.ч/ст.м3/год	152 кВт.ч/ст.м3/год
Топливо - интенсивность использования энергии:	185 мДж/ст.м3/год	186 мДж/ст.м3/год
Итого - интенсивность использования энергии:	747 мДж/ст.м3/год	734 мДж/ст.м3/год
Электричество - интенсивность использования энергии:	148 кВт.ч/ст.м3/год	146 кВт.ч/ст.м3/год
Топливо - интенсивность использования энергии:	186 мДж/ст.м3/год	186 мДж/ст.м3/год
Итого - интенсивность использования энергии:	720 мДж/ст.м3/год	712 мДж/ст.м3/год

Восстанавливаемый энергетический потенциал

Встроенная в крышу система фотовольтаики (низкий КПД):	15,511 кВт.ч/год	13,804 кВт.ч/год
Встроенная в крышу система фотовольтаики (средний КПД):	31,022 кВт.ч/год	27,609 кВт.ч/год
Встроенная в крышу система фотовольтаики (высокий КПД):	46,534 кВт.ч/год	41,413 кВт.ч/год
Потенциал одной ветровой турбины 15°:	1,020 кВт.ч/год	1,020 кВт.ч/год
Встроенная в крышу система фотовольтаики (низкий КПД):	13,693 кВт.ч/год	13,964 кВт.ч/год
Встроенная в крышу система фотовольтаики (средний КПД):	27,385 кВт.ч/год	27,928 кВт.ч/год
Встроенная в крышу система фотовольтаики (высокий КПД):	41,078 кВт.ч/год	41,892 кВт.ч/год
Потенциал одной ветровой турбины 15°:	1,020 кВт.ч/год	1,020 кВт.ч/год

*Предполагается, что КПД фотовольтаики должны составлять 5%, 10% и 15% соответственно для систем с низкой, средней и высокой производительностью

Рисунок 10. Сравнение энергетических характеристик

Ежегодные выбросы углекислого газа

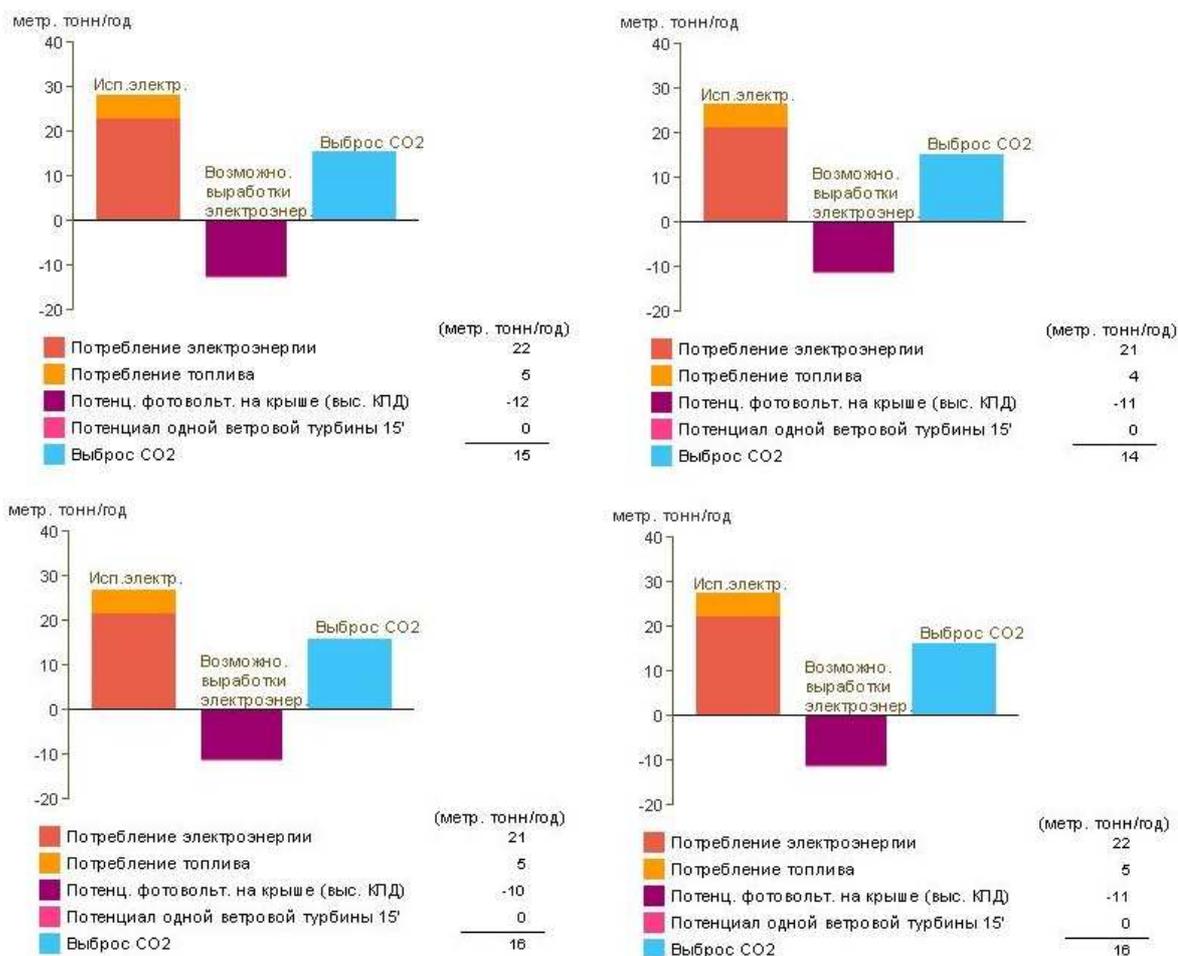
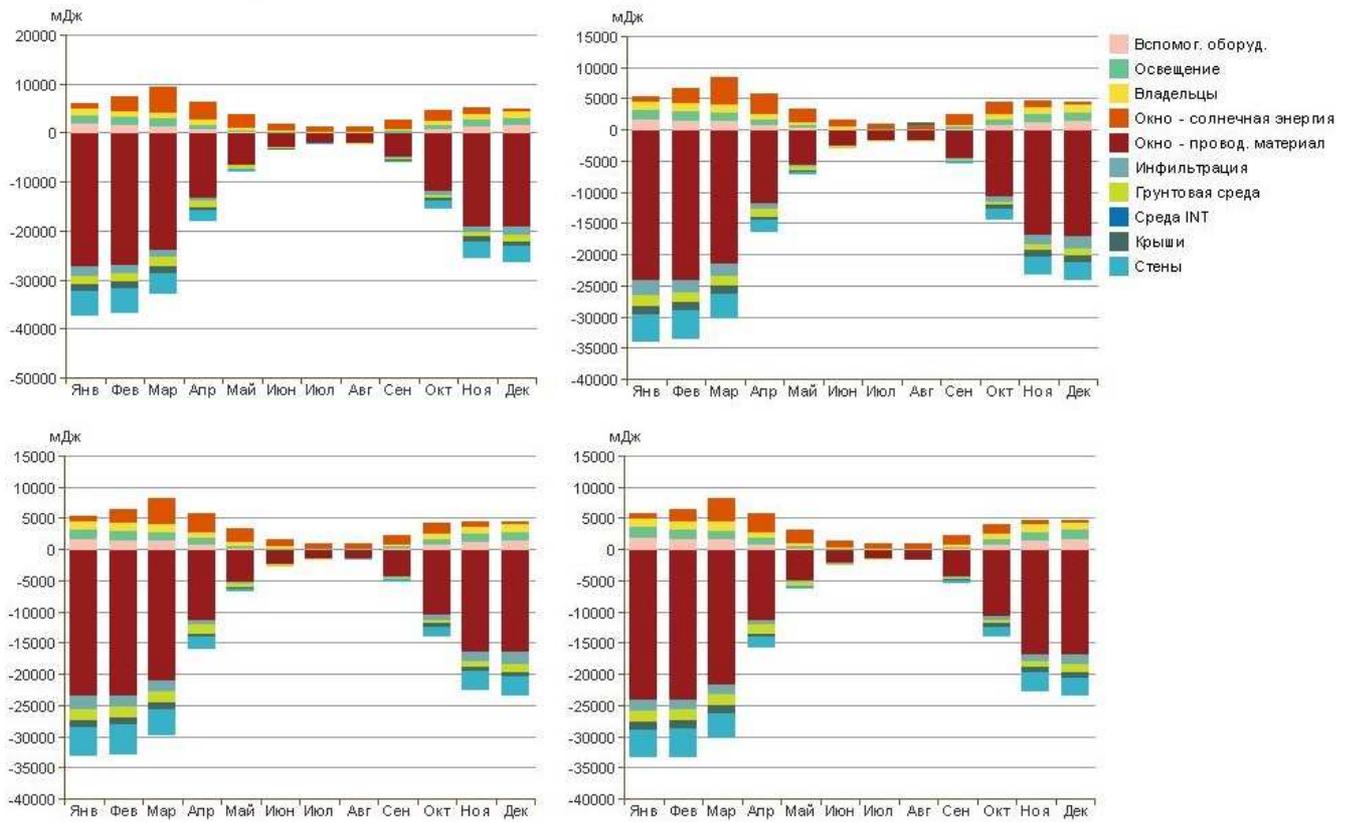


Рисунок 11. Сравнение выбросов CO2

Ежемесячная тепловая нагрузка



Ежемесячная нагрузка на систему охлаждения

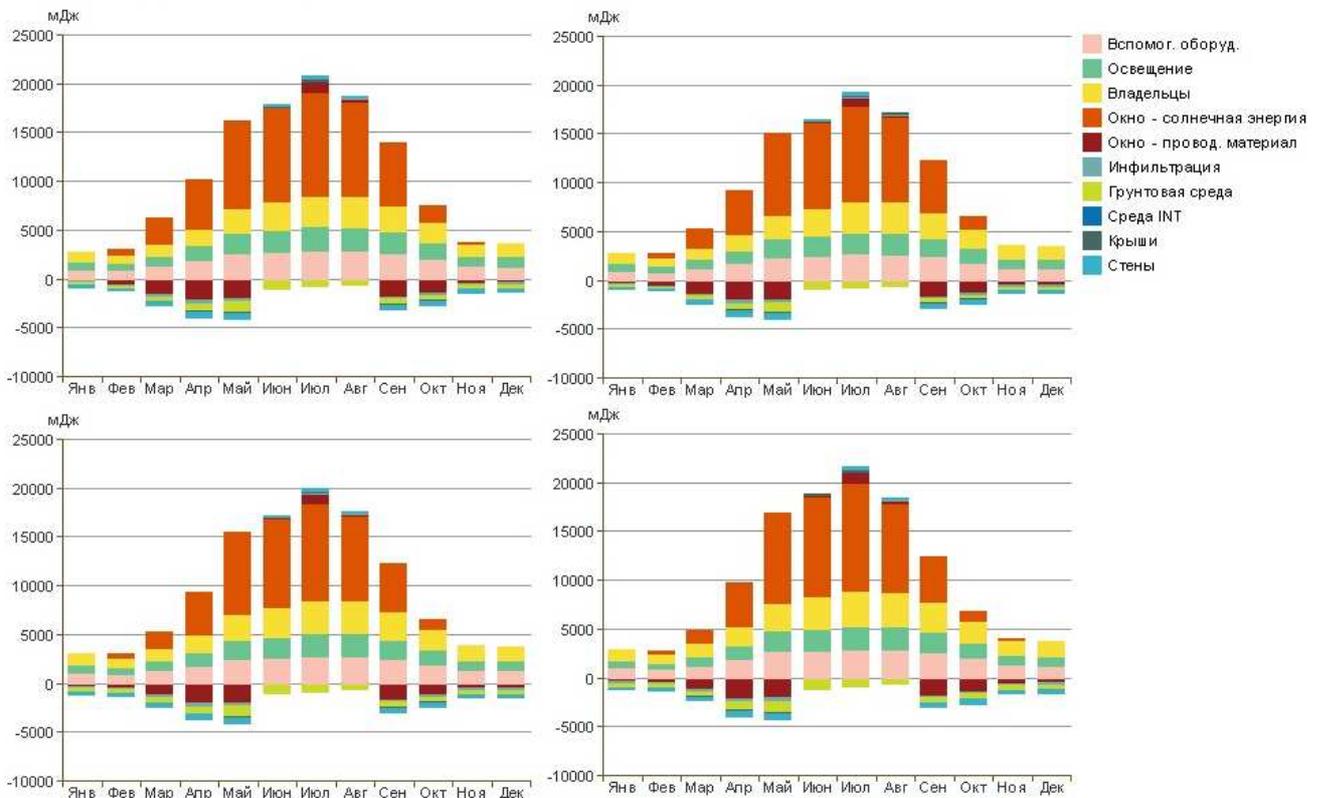


Рисунок 12. Сравнение ежемесячной тепловой нагрузки на системы отопления и охлаждения

Исходя из полученных результатов наиболее рациональным решением из рассматриваемых была признана ориентация здания с отклонением от истинного юга на 20° на восток, так как данное положение характеризуется:

- наименьшими затратами на обогрев в зимнее время и вентиляцию в летнее
- минимальными объемами выбросов углекислого газа в атмосферу
- наиболее рациональным расположением оконных проемов для дополнительного освещения зимой и предотвращения перегрева летом

Свето-теневого анализ

Целью анализа являлось определение качества освещенности жилых помещений в зимнее и летнее время, а также затенения от конструктивных элементов здания, предохраняющих помещения от перегрева летом.

Проведены расчеты инсоляции для зимнего и летнего солнцестояния, весеннего и осеннего равноденствия в 12:00 (рис. 13).

Ориентация здания выбрана исходя из предыдущего пункта ("Анализ солнечной нагрузки"), при которой наиболее остекленный "южный" фасад отклонён от истинного юга на 20° в восточном направлении.

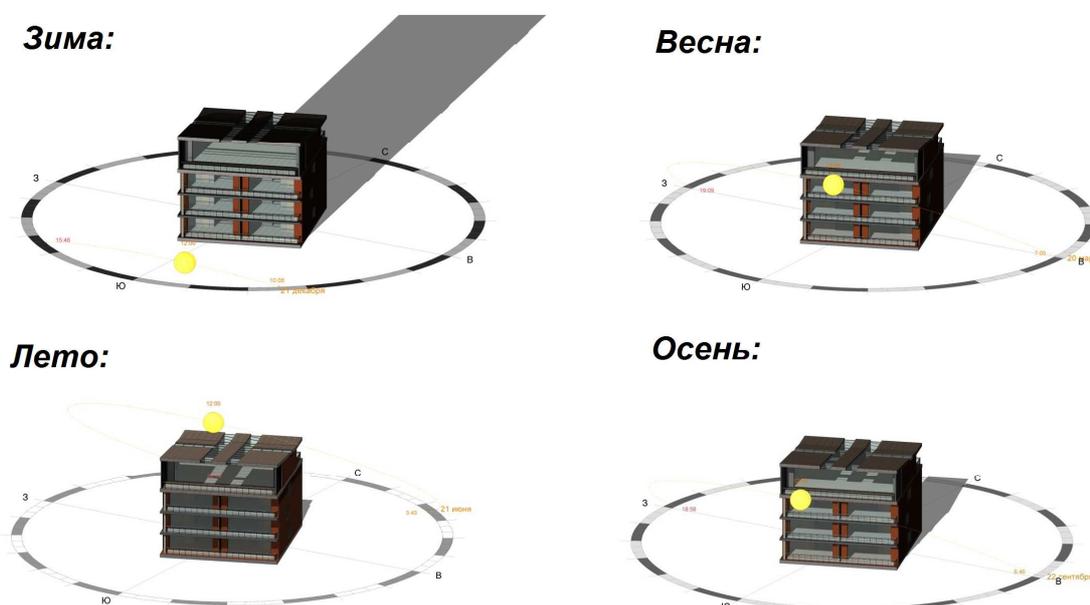


Рисунок 13. Свето-теневого анализ

Результаты анализа показали, что жилая зона, а также мансардный этаж освещены солнцем весной, осенью и особенно хорошо зимой, что благотворно сказывается на комфортности, а также способствует снижению затрат на освещение и обогрев.

Летом, за счет выступающих балконов, жилые зоны защищены от излишнего солнечного излучения и нагрева, приводящего к дополнительным затратам на кондиционирование помещений. В то же время мансардный этаж получает достаточно естественного света, что позволит сократить энергетические затраты на его освещение.

5. Результаты анализа

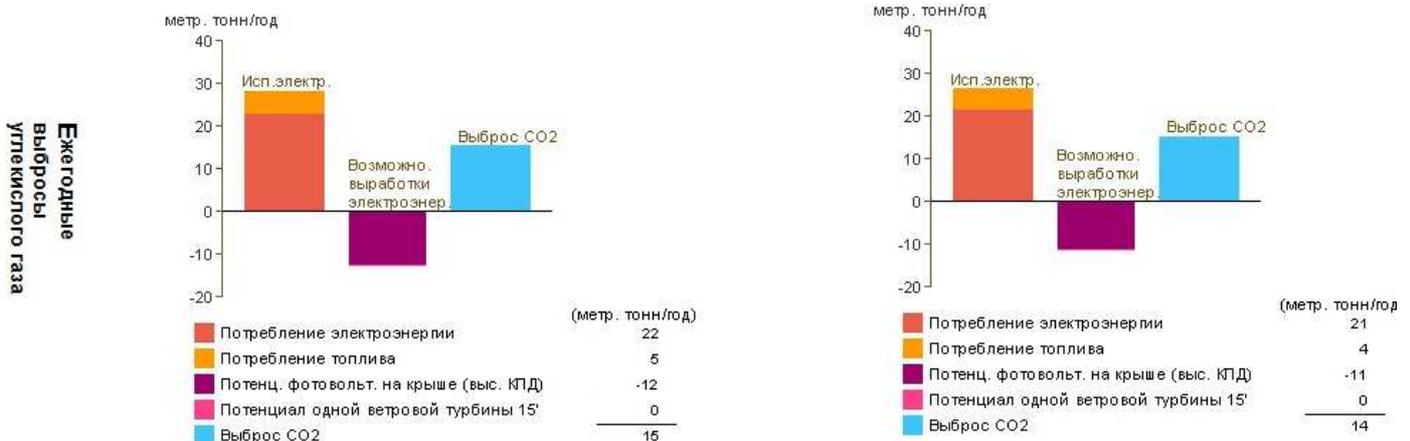


Рисунок 14. Окончательный вариант здания

Ориентация здания

Исходя из результатов исследований, описанных в пунктах «Анализ солнечной нагрузки» и «Светотеневой анализ» была выбрана ориентация здания с поворотом на 20° в восточном направлении. Результаты окончательного сравнения энергоэффективности модернизированного варианта с первоначальным приведены на рисунке 15.

Электричество - интенсивность использования энергии:	156 кВт.ч/ст.м3/год	154 кВт.ч/ст.м3/год
Топливо - интенсивность использования энергии:	185 мДж/ст.м3/год	182 мДж/ст.м3/год
Итого - интенсивность использования энергии:	747 мДж/ст.м3/год	736 мДж/ст.м3/год



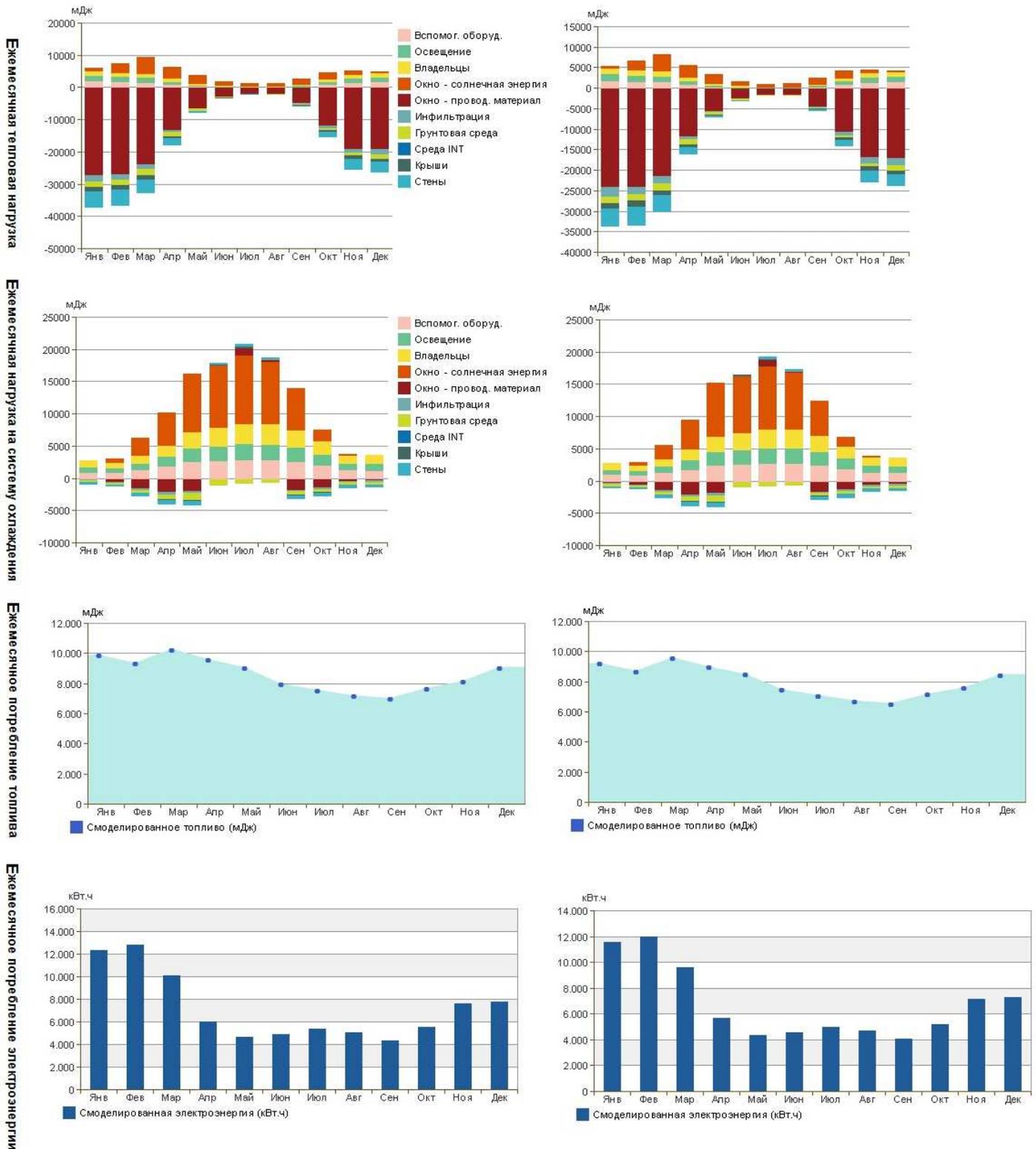


Рисунок 15. Сравнение энергоэффективности при различной ориентации здания

Полученные результаты позволяют судить о том, что выбранная ориентация здания рациональна в связи с тем, что:

- снижается интенсивность использования энергии, особенно в зимнее время, что видно из двух последних диаграмм

- уменьшается величина выбросов углекислого газа
- уменьшаются теплопотери через окна зимой
- снижаются нагрузки на вентиляцию летом (уменьшение перегрева от солнечного излучения)

Система вентиляции и обогрева

Ниже приведены возможные инженерные решения для проекта, работающие за счет возобновляемых источников энергии и призванные повысить автономность здания, сделать его в меньшей степени зависящим от внешних энергосетей:

- Солнечные коллекторы, установленные в кровельное покрытие, баки с насосной станцией могут быть установлены на мансардном этаже
- Грунтовые теплообменники, используемые для пассивного подогрева приточного воздуха летом и охлаждения зимой, или тепловые насосы, собирающие тепло с большой площади грунтового массива, находящегося ниже глубины заморзания почвы, для отопления, вентиляции и нагрева воды
- Установка водосборников на крыше для сбора, последующей фильтрации и использования воды для технических нужд
- Система контролируемой приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла по следующей схеме (рис. 16):
 - приток свежего воздуха в жилые зоны
 - вытяжка воздуха из влажных помещений (кухня, ванная, санузел)
 - распределение и рекуперация тепла по всему пространству дома
- Лестничные клетки могут обогреваться за счет теплопотерь через ограждающие конструкции, отделяющие помещения лестничной клетки от жилых помещений

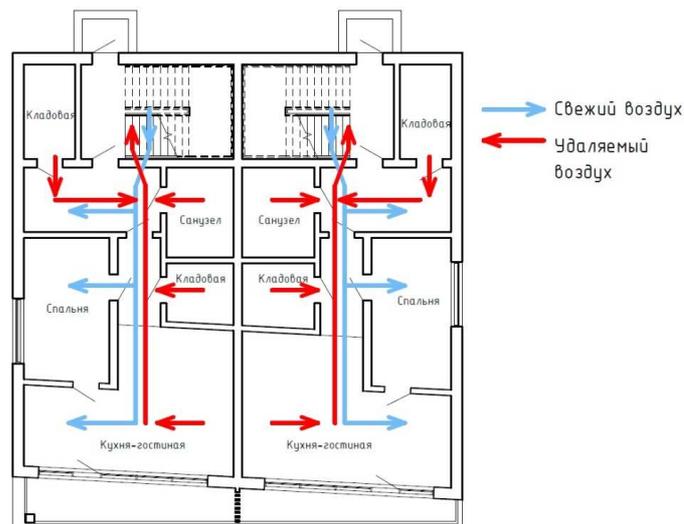


Рисунок 16. Принципиальная схема рекуперации тепла

- Грамотное использование естественной вентиляции позволит также несколько сократить энергозатраты (рис. 17)

Natural Ventilation Potential	
Total Hours Mechanical Cooling Required:	1,140 Hours
Possible Natural Ventilation Hours:	884 Hours
Possible Annual Electric Energy Savings:	7,541 kWh
Possible Annual Electric Cost Savings:	\$377
Net Hours Mechanical Cooling Required:	256 Hours
Assumptions ⓘ	

Рисунок 17. Значения потенциала естественной вентиляции согласно Green Building Studio

Интенсивность использования энергии

После ряда внесенных поправок, основанных на анализе различных показателей энергоэффективности, получен следующий результат:

Интенсивность использования энергии (затраты на отопление, горячее водоснабжение и электроснабжение) - 609 МДж/м²/год, или (если принять $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \text{ МДж}$) $169,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{год}$.

Кроме того, ряд мер позволят сократить полученное значение:

- Использование фотогальванических панелей - $41,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год
- Установка трех ветряных генераторов - $3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год
- Использование естественной вентиляции – $7,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год

Окончательно получено удельное значение годовых затрат первичной энергии – $117,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{год}$, что соответствует требуемому значению стандарта «Passivhaus».

6. Заключение

В результате работы был запроектирован энергоэффективный, экологичный четырехэтажный жилой дом. Данная цель была реализована путем решения следующих задач:

– Применены различные архитектурно-планировочные, пространственные решения, произведен анализ их влияния на энергозатраты здания в программах Autodesk Energy Analysis и Green Building Studio.

– Подобраны ограждающие конструкции здания, со следующими характеристиками:

- Наружные стены $R_0 = 7,020 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$
- Кровля $R_0 = 7,035 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$
- Остекление $R_0 = 1,754 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$
- Междуэтажные перекрытия $R_0 = 3,537 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$
- Фундаментная плита $R_0 = 5,427 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$

– Подобрана рациональная схема естественной вентиляции и обогрева, а также оборудование, использующее возобновляемые источники энергии, позволяющее в общей сложности снизить затраты энергии на $51,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год

– Произведен анализ здания на соответствие стандарту «Passivhaus»: полученное значение удельных годовых затрат первичной энергии $117,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{год}$ оказалось ниже требуемого $120 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{год}$

Таким образом, проектирование и анализ зданий в вышеперечисленных программах позволяет достигнуть значительной экономии энергии, вплоть до показателей мировых энергоэффективных стандартов, а последующее более детальное проектирование и использование инженерного оборудования обеспечит ещё большее сохранение невозобновляемых ресурсов.

Литература

- [1]. «European Energy Performance of Buildings Directive» 2002/91/EC (EPBD)
- [2]. Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU (EPBD)
- [3]. Горшков А.С., Дерунов Д.В., Завгородний В.В. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. №3(8). 2013. С. 12-23
- [4]. Советников Д.О. Строительство здания, отвечающего стандартам пассивного дома // Строительство уникальных зданий и сооружений. №9(24). 2014. С. 11-25.
- [5]. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. - 144 с.
- [6]. Матыева А.К., Озубекова Р.С. Современные энергосберегающие теплоизоляционные материалы для пассивных домов // Вестник КГУСТА. 2014. Т.1. № 4. С. 35-40.
- [7]. Галлямова Г.Р., Кобельков Г.В. Энергосберегающие технологии при строительстве зданий: пассивный дом // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. № 71. С. 228-232
- [8]. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9-13
- [9]. Schnieders J., Feist W., Rongen L. Passive Houses for different climate zones. Energy and Buildings. 2015. Vol. 105. Pp. 71-87
- [10]. Iordache V., Teodosiu C., Teodosiu R. Permeability Measurements of a Passive House During Two Construction Stages. Energy Procedia. 2016. Vol. 85. Pp. 279-287
- [11]. Zalejska-Jonsson A., Lind H., Hintze S. Energy-efficient technologies and the building's saleable floor area: bust or boost for highly-efficient green construction buildings. 2013. No 3. pp. 570-587
- [12]. Rodriguez-Ubinas E., Montero C, Porteros M. Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. Energy and Buildings. 2014. Vol. 83. Pp. 10-22
- [13]. Елохов А.Е. Пассивные здания. Методика расчета // Здания высоких технологий. 2013. №4. С. 36-46
- [14]. Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л., Миллер Ю.В. Критерии энергоэффективности в «зеленом» строительстве // Энергосбережение. 2012. №1. С. 4-9
- [15]. Наумов А., Капко Д., Судьина О. Энергоэффективность, стоимость жизненного цикла и зелёные стандарты // Здания высоких технологий. 2014. No 3. С. 34-41
- [16]. Горшков А.С., Ракова К.М., Мусорина Т.А. Проект здания с низким потреблением тепловой энергии на отопление // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 232-247
- [17]. Mitterer Chr., Hartwig M. Künzel, Herke S., Holm A. Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building. Frontiers of Architectural Research. 2012. №9(25). Pp. 229-235
- [18]. Rodriguez S., Voss K., Todorovic M. Energy efficiency evaluation of zero energy houses. Energy and Buildings. 2014. Vol. 83. Pp. 23-35
- [19]. Ionescu, C., Baracu, T., Vlad, G.-E., Necula, H., Badea, A. The historical evolution of the energy efficient buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 49. Pp. 243-253
- [20]. Marszal A.J., Heiselberg P., Bourrelle J.S., Musall E., Voss K., Sartori I., Napolitano A. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. Energy and Building. 2011. Vol. 43. Pp. 971-979
- [21]. Mitterer C., Künzel H. M., Herkel S., Holm A. Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building. Frontiers of Architectural Research. 2012. Vol. 1. Issue 3. Pp. 229-235

- [22].Klingenberg K. Passive House – a Positive Net Energy Home. ISTC. 2008. Vol. 10. Pp. 37-46
- [23].Visa I., Moldovan M.D., Comsit M., Duta A. Improving the renewable energy mix in a building toward the nearly zero energy status. Energy and Buildings. 2014. Vol. 68. Part A. Pp. 72-78
- [24].Xiaolong Xue, Hengqin Wu. Measuring energy consumption efficiency of the construction industry. Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 107. Pp. 509-515
- [25].Болотин С.А., Гуринов А.И., Дадар А.К.Х., Оолакай З.Х.О. Оценка энергоэффективности архитектурно-строительных решений начального этапа проектирования в программе Revit Architecture // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8 (43). С. 64-73
- [26].Бубнов Ю.Г., Денисихина Д.Д. Энергомоделирование зданий – инвестиции в прошлое и будущее // Здания высоких технологий. 2016 №1. С. 20-26
- [27].Rehab I, Andre Ph., Silva C. Verification of the Energy Balance of a Passive House by Combining Measurements and Dynamic Simulation. Energy Procedia. 2015. Vol. 78. Pp. 2310-2315
- [28].Georges L., Berner M., Mathisen H. Air heating of passive houses in cold climates: Investigation using detailed dynamic simulations. Building and Environment. 2014. Vol. 74. Pp. 1-12
- [29].Abanda F.H., Byers L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM. Energy. 2016. Vol. 97. Pp. 517-527
- [30].Figueiredo A., Kämpf J., Vicente R. Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance. Energy and Buildings. 2016. Vol. 118. Pp. 181-196
- [31].Mohamed A., Hasan A., Sirén K. Fulfillment of net-zero energy building (NZEB) with four metrics in a single family house with different heating alternatives. Applied Energy. 2014. Vol. 114. Pp. 385-399
- [32].Kaklauskas A., Rute J., Zavadskas E.K., Daniunas A., Pruskus V. Passive House model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system. Energy and Buildings. 2012. Vol. 50. Pp. 7-18
- [33].Kaklauskas A., Rute J., Gudauskas R., Banaitis A. Integrated model and system for passive houses multiple criteria. International Journal of Strategic Property Management. 2012. Vol. 15 (1). Pp. 74-90
- [34].Bajc T.,Todorović M., Svorcan J. CFD analyses for passive house with Trombe wall and impact to energy demand. Energy and Buildings. 2015. Vol. 98. Pp. 39-44
- [35].LEED-The Leadership in Energy & Environmental Design. LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System US Green Building Council 2009. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.usgbc.org> (дата обращения: 20.03.2016).
- [36].Passive House Classic, Plus and Premium Standard. [Электронный ресурс]. URL: <http://passivehouse.com> (дата обращения: 20.03.2016).
- [37].СТО 00044807-001-2006 Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий
- [38].СП 131.13330.2012 Строительная климатология
- [39].СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий

The design and energy efficiency analysis of the building meets the principles of the standard "Passivhaus"

D.O. Sovetnikov^{1*}, D.O. Semashkina²

¹⁻² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Article history

Received 25 March 2016

Keywords

energy efficiency;
passive house;
energy efficiency analysis;
Green Building Studio;
green building;

ABSTRACT

The article describes the basic ideas that meet the concept of energy efficiency standard "Passivhaus". The main task was to design and analysis of low-rise residential building using Autodesk Revit Energy Analysis and Green Building Studio software. The main criteria for comparison: energy use intensity, CO2 emission level, the use of non-renewable energy sources, the potential use of alternative energy sources. This objective was realized through the following tasks: 1. Authors described various architectural-planning, spatial solutions and made the analysis of their impact on the energy consumption of the building. 2. The most rational building envelopes were selected. 3. The rational scheme of natural ventilation and heating, as well as using renewable sources of energy were considered. 4. Authors analyzed the building's heat consumption and compared to the result with the standard "Passivhaus". As a result of the design, authors received indicators of energy use intensity corresponding to the standard of "Passivhaus" which can be improved through more detailed design and the use of special equipment.

Corresponding author:

- 1*. +7(911)9019058, sovet96@yandex.ru (Daniil Olegovich Sovetnikov, Student)
2. +7(981)1532171, daria.semashkina@gmail.com (Daria Olegovna Semashkina, Student)

References

- [1]. «European Energy Performance of Buildings Directive» 2002/91/EC (EPBD)
- [2]. Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU (EPBD)
- [3]. Gorshkov A.S., Derunov D.V., Zavgorodniy V.V. Tekhnologiya i organizatsiya stroitelstva zdaniya s nulevym potrebleniyem energii [Technology and organization of the building with zero energy consumption]. Construction of Unique Buildings and Structures. №3(8). 2013. Pp. 12-23 (rus)
- [4]. Sovetnikov D.O. Stroitelstvo zdaniya, otvechayushchego standartam passivnogo doma [Construction of building in accordance with passive house standards]. Construction of Unique Buildings and Structures. №9(24). 2014. Pp. 11-25 (rus)
- [5]. Feist W. Osnovnyye polozheniya po proyektirovaniyu passivnykh domov [The main provisions for the design of passive houses] M.: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2008. - 144 p. (rus)
- [6]. Matyyeva A.K., Ozubekova R.S. Sovremennyye energosberegayushchiye teploizolyatsionnyye materialy dlya passivnykh domov [Modern energy-saving thermal insulation materials for passive houses]. Vestnik KGUSTA. 2014. T.1. № 4. Pp. 35-40 (rus)
- [7]. Gallyamova G.R., Kobelkov G.V. Energoberegayushchiye tekhnologii pri stroitelstve zdaniy: passivnyy dom [Energy-saving technologies in the construction of buildings: passive house]. Aktualnyye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya. 2013. T. 2. № 71. Pp. 228-232
- [8]. Gorshkov A. S. Energoeffektivnost v stroitelstve: voprosy normirovaniya i mery po snizheniyu energopotrebleniya zdaniy [Energy efficiency in buildings: measurement issues and measures to reduce energy consumption of buildings]. Magazine of Civil Engineering. 2010. №1. Pp. 9-13 (rus)
- [9]. Schnieders J., Feist W., Rongen L. Passive Houses for different climate zones. Energy and Buildings. 2015. Vol. 105. Pp. 71-87
- [10]. Iordache V., Teodosiu C., Teodosiu R. Permeability Measurements of a Passive House During Two Construction Stages. Energy Procedia. 2016. Vol. 85. Pp. 279-287
- [11]. Zalejska-Jonsson A., Lind H., Hintze S. Energy-efficient technologies and the building's saleable floor area: bust or boost for highly-efficient green construction buildings. 2013. No 3. pp. 570-587
- [12]. Rodriguez-Ubinas E., Montero C, Porteros M. Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. Energy and Buildings. 2014. Vol. 83. Pp. 10-22
- [13]. Yelokhov A.Ye. Passivnyye zdaniya. Metodika rascheta [Passive buildings. The method of calculation]. Zdaniya vysokikh tekhnologiy. 2013. №4. Pp. 36-46 (rus)
- [14]. Tabunshchikov Yu.A., Naumov A.L., Miller Yu.V. Kriterii energoeffektivnosti v «zelenom» stroitelstve [Measures of effectiveness in green building]. Energoberezheniye. 2012. №1. Pp. 4-9 (rus)
- [15]. Naumov A., Kapko D., Sudina O. Energoeffektivnost, stoimost zhiznennogo tsikla i zelenyye standarty [Energy efficient, life-cycle costs, green standards]. Zdaniya vysokikh tekhnologiy. 2014. № 3. Pp. 34-41 (rus)
- [16]. Gorshkov A.S., Rakova K.M., Musorina T.A. Proyekt zdaniya s nizkim potrebleniyem teplovooy energii na otopeniye [Building project with low consumption of thermal energy for heating]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. № 4 (31). Pp. 232-247 (rus)
- [17]. Mitterer Chr., Hartwig M. Künzel, Herke S., Holm A. Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building. Frontiers of Architectural Research. 2012. №9(25). Pp. 229–235
- [18]. Rodriguez S., Voss K., Todorovic M. Energy efficiency evaluation of zero energy houses. Energy and Buildings. 2014. Vol. 83. Pp. 23-35
- [19]. Ionescu, C., Baracu, T., Vlad, G.-E., Necula, H., Badea, A. The historical evolution of the energy efficient buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 49. Pp. 243-253
- [20]. Marszal A.J., Heiselberg P., Bourrelle J.S., Musall E., Voss K., Sartori I., Napolitano A. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. Energy and Building. 2011. Vol. 43. Pp. 971–979
- [21]. Mitterer C., Künzel H. M., Herkel S., Holm A. Optimizing energy efficiency and occupant comfort with climate specific design of the building. Frontiers of Architectural Research. 2012. Vol. 1. Issue 3. Pp. 229–235
- [22]. Klingenberg K. Passive House – a Positive Net Energy Home. ISTC. 2008. Vol. 10. Pp. 37-46
- [23]. Visa I., Moldovan M.D., Comsit M., Duta A. Improving the renewable energy mix in a building toward the nearly zero energy status. Energy and Buildings. 2014. Vol. 68. Part A. Pp. 72-78

- [24]. Xiaolong Xue, Hengqin Wu. Measuring energy consumption efficiency of the construction industry. Journal of Cleaner Production. 2015. Vol. 107. Pp. 509-515
- [25]. Bolotin S.A., Gurinov A.I., Dadar A.K.Kh., Oolabay Z.Kh.O. Otsenka energoeffektivnosti arkhitekturno-stroitelnykh resheniy nachalnogo etapa proyektirovaniya v programme Revit Architecture [An energy efficiency evaluation of architectural and construction solutions of an initial design stage in Autodesk REVIT Architecture]. Magazine of Civil Engineering. 2013. № 8 (43). Pp. 64-73 (rus)
- [26]. Bubnov Yu.G., Denisikhina D.D. Energomodelirovaniye zdaniy – investitsii v proshloye i budushcheye [Energy modeling of buildings – investment in the past and the future]. Zdaniya vysokikh tekhnologiy. 2016 №1. Pp. 20-26 (rus)
- [27]. Rehab I, Andre Ph., Silva C. Verification of the Energy Balance of a Passive House by Combining Measurements and Dynamic Simulation. Energy Procedia. 2015. Vol. 78. Pp. 2310-2315
- [28]. Georges L., Berner M., Mathisen H. Air heating of passive houses in cold climates: Investigation using detailed dynamic simulations. Building and Environment. 2014. Vol. 74. Pp. 1-12
- [29]. Abanda F.H., Byers L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM. Energy. 2016. Vol. 97. Pp. 517-527
- [30]. Figueiredo A., Kämpf J., Vicente R. Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance. Energy and Buildings. 2016. Vol. 118. Pp. 181-196
- [31]. Mohamed A., Hasan A., Sirén K. Fulfillment of net-zero energy building (NZEB) with four metrics in a single family house with different heating alternatives. Applied Energy. 2014. Vol. 114. Pp. 385-399
- [32]. Kaklauskas A., Rute J., Zavadskas E.K., Daniunas A., Pruskus V. Passive House model for quantitative and qualitative analyses and its intelligent system. Energy and Buildings. 2012. Vol. 50. Pp. 7-18
- [33]. Kaklauskas A., Rute J., Gudauskas R., Banaitis A. Integrated model and system for passive houses multiple criteria. International Journal of Strategic Property Management. 2012. Vol. 15 (1). Pp. 74-90
- [34]. Bajc T., Todorović M., Svorcan J. CFD analyses for passive house with Trombe wall and impact to energy demand. Energy and Buildings. 2015. Vol. 98. Pp. 39-44

Советников Д.О., Семашкина Д.О., Проектирование и анализ энергоэффективности дома, удовлетворяющего принципам стандарта «Passivhaus» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №6 (45). С. 68-88.

Sovetnikov D.O, Semashkina D.O, The design and energy efficiency analysis of the building meets the principles of the standard "Passivhaus". Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 6 (45), Pp. 68-88 (rus)