

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Расчет энергопотребления здания, построенного по минимальным требованиям к тепловой защите

Е.С. Иванова^{1*}, А.С. Горшков²

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

Информация о статье

УДК 699.86

История

Подана в редакцию 22 февраля 2016

Ключевые слова

Энергоэффективность;
Энергопотребление;
теплотери;
тепловая защита зданий;
приведенное теплосопротивление;
класс энергоэффективности;
отопление и вентиляция;
удельный тепловой расход;

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен проект жилого здания, запроектированного по минимальным требованиям теплосащиты. Исследуемый объект имеет два этапа строительства. Первый этап строительства построен по минимальным требованиям тепловой защиты. Проект второго этапа скорректирован, увеличены требования к тепловой защите. Исследование заключается в расчете годового расхода тепловой энергии на отопление здания в холодный и переходный периоды года до корректировки проекта и сравнении полученных значений с нормативными. Также в процессе расчета определены теплотехнические характеристики ограждающих конструкций. Цель исследования - обосновать необходимость корректировки проекта с целью повышения энергоэффективности.

Содержание

1.	Введение	59
2.	Обзор литературы	59
3.	Цели и задачи исследования	59
4.	Исходные данные для расчета	59
5.	Расчет энергопотребления выбранного объекта - расчет годового расхода тепловой энергии на отопление здания в холодный и переходный периоды года	61
6.	Заключение	66

Контактный автор:

- 1*. +7(981)7347155, kat9304@yandex.ru (Иванова Екатерина Семеновна, студент)
2. +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., доцент)

1. Введение

Для оценки эффективности инвестиций в энергосбережение рассмотрен проект малоэтажного жилого комплекса для обеспечения жилыми помещениями граждан, переселяемых из аварийного жилищного фонда, расположенного по адресу: Россия, Новгородская область, Парфинский район, р.п. Парфино, ул. Мира д.14. Целью данного проекта строительства является обеспечение жилыми помещениями граждан, переселяемых из аварийного жилищного фонда в п. Парфино.

Данный объект имеет 2 этапа строительства. Каждый из этапов включает в себя строительство жилого дома, проектируемые дома идентичны по проектируемым теплотехническим характеристикам и конструктивным особенностям. Здание первого этапа строительства было построено по минимальным требованиям по тепловой защите. После окончания первого этапа строительства было принято решение о корректировке проекта второго этапа. Изменение проекта было связано с увеличением требований к тепловой защите здания. Второй дом строится по максимальным нормам утепления и энергосбережения. Таким образом, после строительства можно будет на практике оценить эффективность инвестиций в энергосбережение. В данной работе будет произведен расчет теплотехнических характеристик дома второго этапа до реализации мероприятий, направленных на энергосбережение и обоснована необходимость проведения энергосберегающих мероприятий.

2. Обзор литературы

За последние несколько лет в Российской Федерации обеспечение энергоэффективности в строительстве стало одной из основных приоритетов при проектировании зданий. К этому привел федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Тема энергоэффективности активно исследуется в современных институтах как молодыми специалистами, так и опытными научными деятелями. Разрабатывают, предлагают и внедряют новые методики и материалы [1-3, 17-28]. И касается это не только жилого строительства, но и общественного [4]. В зарубежных странах забота об энергосбережении ресурсов также актуальна, в нормативных документах многих стран есть требования к обеспечению энергоэффективности и нормативы потребления зданиями энергии постоянно уменьшаются [5-11,16]

3. Цели и задачи исследования

Целью исследования является обоснование необходимости проведения энергосберегающих мероприятий. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Произвести расчет годового расхода тепловой энергии на отопление проектируемого здания в холодный и переходный периоды года
2. Сравнить полученные значения с нормативным.
3. Определить теплотехнические характеристики ограждающих конструкций.

4. Исходные данные для расчета

Жилой комплекс строится по адресу: Россия, Новгородская область, Парфинский район, р.п. Парфино, ул. Мира д.14. Согласно проекту, принимается II климатический район, подрайон – ПВ с обычными геологическими условиями. Общая площадь застройки – 519,03 кв.м. Всего 22 квартиры, общая площадь жилого дома 1101,7,0 кв.м., в т.ч. общая площадь квартир с учетом лоджий – 956,0 кв.м.

Характеристики наружных ограждающих конструкций:

- Стены: штукатурка цементно-известковая 5 мм, утеплитель (газобетон плотностью 400 кг/куб.м.) толщиной 100 мм, газобетон (плотностью 600 кг/куб.м.) толщиной 400 мм, цементно-известковая штукатурка наружная толщиной 15 мм;
- Окна и балконные двери: стеклопакет двухкамерный (тройной остекление) с расстоянием не менее 6 мм между стеклами, профили ПВХ;
- Перекрытие: здание бесподвальное, состав перекрытия 1 этажа: уплотненный грунт (подбетонка) толщиной 150 мм, плита фундаментная железобетонная толщиной 200 мм, керамзитобетон 400 мм, стяжка ЦПР 40 мм, линолеум бытовой 6 мм;
- Перекрытие на последнем жилым этажом: затирка, железобетонная плита покрытия пустотная толщиной 220 мм, пароизоляция (изопласт), утеплитель плитный жесткий (ROCKWOOL) 100 мм, стяжка ЦПР 30 мм.

Фасады здания представлены на рис.1.

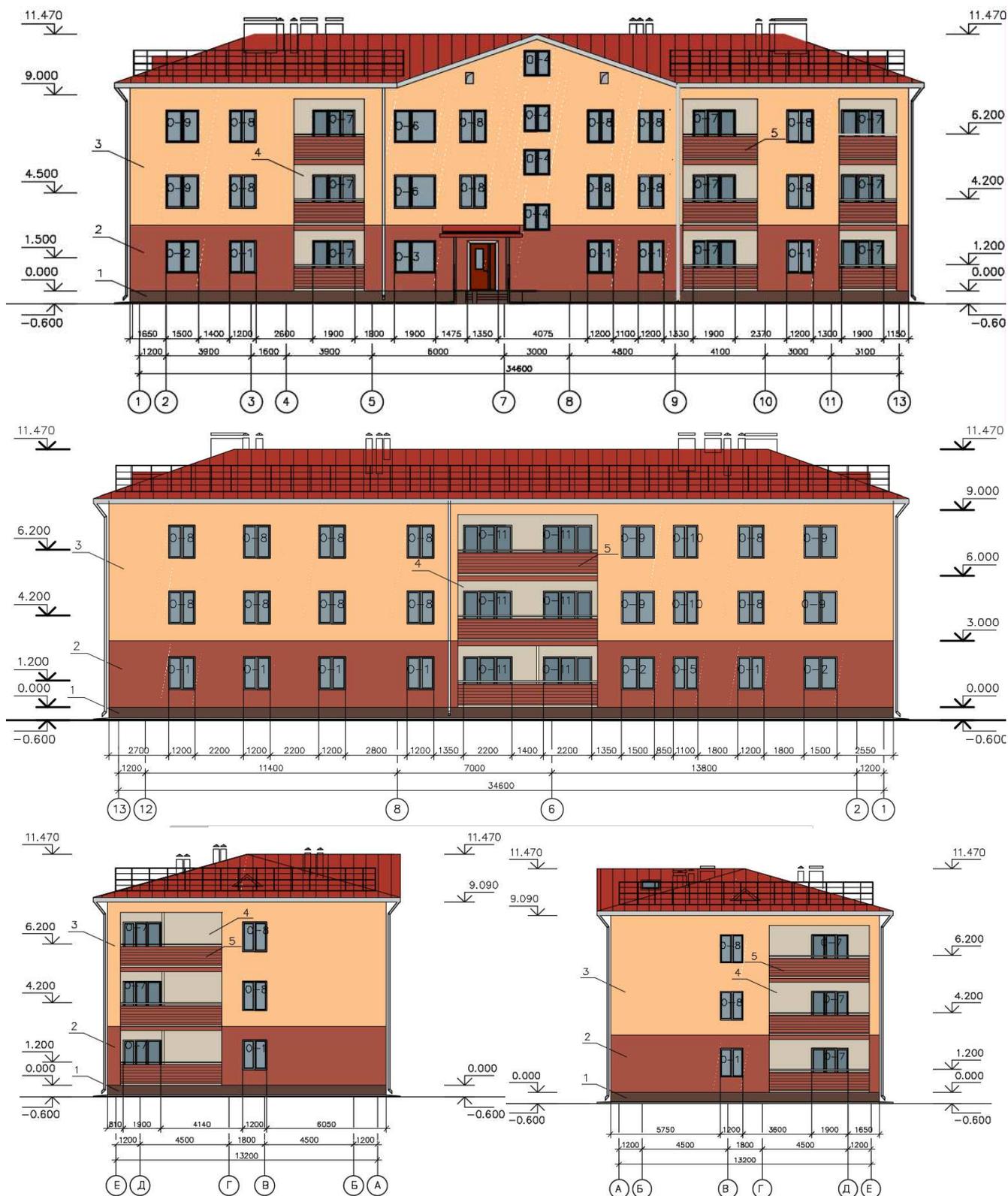


Рисунок 1 – Фасады здания

Теплоснабжение. Источником теплоснабжения являются наружные тепловые сети. В качестве теплоносителя для систем отопления используется вода с параметрами теплоснабжения 90-70°C.

В помещении узла ввода предусматривается устройство узла управления – подающего и обратного коллекторов систем отопления, выполненных из стальных труб диаметром 57x3, от которых осуществляется запитка системы отопления веток по стоякам. На коллекторах устанавливается запорная и спускная арматура. Предусмотрено ручное отключение каждого контура с помощью отключающих кранов.

Отопление. Система отопления помещений – двухтрубная, вертикальная, с нижней разводкой, рассчитанная на поддержание нормируемой температуры внутреннего воздуха. Прокладка трубопроводов в помещениях открытая.

Стояки систем и подводки к радиаторам выполняются без изоляции.

Опорожнение и заливка систем предусматриваются в помещении узла ввода. Кроме того, каждая ветка отопления снабжена запорной арматурой с функцией опорожнения для аварийных ситуаций.

Вентиляция. В исследуемом объекте предусматривается вентиляция с естественным притоком и удалением воздуха. В жилых помещениях и кухне приток воздуха обеспечивается через оконные створки, фрамуги, форточки. Удаление воздуха предусмотрено из кухонь и ванных комнат через туалет вытяжными отдельными каналами воздуховодов с установкой вентиляционных решеток. Для каждого помещения предусмотрен отдельный канал с выводом на кровлю.

Расчетные климатические и теплоэнергетические параметры здания для жилых помещений представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Расчетные условия для жилой части здания

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Расчетная температура наружного воздуха	t_n	°C	- 27
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°C	-2,3
Продолжительность отопительного периода	$Z_{от}$	сут/год	221
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°C·сут/год	4928
Расчетная температура внутреннего воздуха	t_v	°C	20
Расчетная температура чердака	$t_{черд}$	°C	-

Требуемое сопротивление теплопередаче для элементов ограждающих конструкций жилых зданий $R_i^{тп}$ устанавливается в зависимости от градусо-суток отопительного периода и считается по формуле [12]:

$$R_0^{тп} = a \cdot \text{ГСОП} + b \quad (1)$$

Приведенное теплосоппротивление ограждающих конструкций в проекте применяются не менее значений, приведенных в таблице 2 [п. 5.2, 12].

Таблица 2 - Требуемое сопротивление теплопередаче для элементов ограждающих конструкций жилых зданий

Ограждающие конструкции	a	b	ГСОП, °C·сут/год	$R_i^{тп}$, (м ² ·°C)/Вт
Наружные стены	0,00035	1,4	4928	3,12
Окна и двери	0,000075	0,15	4928	0,52
Чердачное перекрытие, покрытия	0,00045	1,9	4928	4,12

5. Расчет энергопотребления выбранного объекта - расчет годового расхода тепловой энергии на отопление здания в холодный и переходный периоды года

Трансмиссионные (через наружные ограждающие конструкции здания) потери тепловой энергии $Q_{тр}^Г$, МДж, следует рассчитывать по формуле [14]:

$$Q_{тр}^Г = 0,0864 \cdot \left(\frac{A_{ст}}{R_{ст}^{тп}} + \frac{A_{ок}}{R_{ок}^{тп}} + \frac{A_{ф}}{R_{ф}^{тп}} + \frac{A_{дв}}{R_{дв}^{тп}} + \frac{A_{покр}}{R_{покр}^{тп}} + \frac{A_{д.перекр}}{R_{д.перекр}^{тп}} + \frac{A_{ч.перекр}}{R_{ч.перекр}^{тп}} + \frac{A_{ч.перекр}}{R_{ч.перекр}^{тп}} + \frac{A_{пол}}{R_{пол}^{тп}} \right) \times \text{ГСОП}, \quad (2)$$

где $A_{ст}$, $R_{ст}^{тп}$ – соответственно площадь, м², и расчетное значение приведенного сопротивления теплопередаче, м²·°C/Вт, наружных стен здания (за исключением проемов);

$A_{ок}$, $R_{ок}^{тп}$ – то же, заполнений светопроемов (оконных блоков и балконных дверей, витрин и витражей);

$A_{ф}$, $R_{ф}^{тп}$ – то же, фонарей с вертикальным остеклением;

$A_{дв}$, $R_{дв}^{тп}$ – то же, наружных дверей и ворот;

$A_{покр}$, $R_{покр}^{тп}$ – то же, совмещенных покрытий (в том числе над эркерами), чердачных перекрытий холодных чердаков;

$A_{\text{перекр}}, R_{\text{перекр}}^{\text{np}}$ – то же, перекрытий над проездами и под эркерами;

$A_{\text{ч.перекр}}, R_{\text{ч.перекр}}^{\text{np}}$ – то же, чердачных перекрытий теплых чердаков;

$A_{\text{ц.перекр}}, R_{\text{ц.перекр}}^{\text{np}}$ – то же, цокольных перекрытий над неотапливаемыми подвалами и подпольями;

$A_{\text{пол}}, R_{\text{пол}}^{\text{np}}$ – то же, ограждающих конструкций отапливаемых подвалов, контактирующих с грунтом; полов по грунту для зданий без подвала (подполья).

Площади наружных ограждающих конструкций отапливаемого объема здания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Площади наружных ограждающих конструкций здания

Тип наружной ограждающей конструкции	Площадь конструкции A_i , м ²
Наружные стены - $A_{\text{ст}}$	948,96
Окна и балконные двери - $A_{\text{ок}}$	183,15
Чердачное перекрытие - $A_{\text{покр}}$	401,93
Пол по грунту - $A_{\text{пол}}$	401,93
Суммарная площадь наружных ограждающих конструкций отапливаемого объема здания - $A_{\text{н}}^{\text{сум}}$	1935,97

Требуемые $R_i^{\text{тп}}$ и расчетные R_i^{np} значения приведенного сопротивления теплопередаче, м²·°C/Вт, наружных ограждающих конструкций здания для проектируемого объекта представлены в таблице 4.

Расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче R_i^{np} , (м²·°C)/Вт, наружных ограждающих конструкций определяются исходя из условия:

$$r = \frac{R_i^{\text{np}}}{R_0}, \quad (3)$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый для наружных стен равным $r=0,61$ [13], для чердачных перекрытий (из-за наличия люков, парапетов и прочих конструкций, пересекающих слой теплоизоляции) $r=0,8$;

R_0 - условное сопротивление теплопередаче (без учета влияния теплопроводных включений на теплотехническую однородность стен)

Условное сопротивление теплопередаче [формула (Е.6) 12]:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_b} + \sum R_s + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (4)$$

где α_b - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), [табл.4, 12];

α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), [табл. 6, 12];

R_s - термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, (м²·°C)/Вт, определяемое для материальных слоев по формуле (5) [12]:

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s}, \quad (5)$$

где δ_s – толщина слоя;

λ_s - теплопроводность материала i -го слоя многослойной ограждающей конструкции, Вт/(м·°C).

Для наружных стен:

$$R_0^{\text{ст}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,9} + \frac{0,4}{0,17} + \frac{0,1}{0,22} + \frac{0,015}{0,9} + \frac{1}{23} = 2,99 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт},$$

$$R_{\text{ст}}^{\text{np}} = r \cdot R_0 = 0,61 \cdot 2,99 = 1,82 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт},$$

Для чердачного перекрытия:

$$R_0^{\text{чп}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,1}{0,046} + \frac{1}{12} = 2,51 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт},$$

$$R_{\text{чп}}^{\text{np}} = r \cdot R_0 = 0,8 \cdot 2,51 = 2,01 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт},$$

Для неутепленного пола по грунту расчет произведен по зонам шириной 2 м, параллельно наружным стенам [12]. Сопротивление теплопередаче R_i - R_{IV} , (м²·°C)/Вт, принимается равным: 2,1 - для I зоны; 4,3 - для II зоны; 8,6 - для III зоны; 14,2 – для IV зоны (для оставшейся площади пола).

Приведенное сопротивление теплопередаче пола по грунту определим по формуле [15]:

$$R_{\text{пол гр}}^{\text{пр}} = \frac{A_{\text{сум}}}{\left(\frac{A_I}{R_I} + \frac{A_{II}}{R_{II}} + \frac{A_{III}}{R_{III}} + \frac{A_{IV}}{R_{IV}} \right)} \quad (6)$$

где $A_{\text{сум}}$ - суммарная площадь ограждающих конструкций здания, контактирующих с грунтом;

$A_I, A_{II}, A_{III}, A_{IV}$ - площади соответственно зон I, II, III, IV ограждающих конструкций, контактирующих с грунтом;

$$R_{\text{пол гр}}^{\text{пр}} = \frac{401,93}{\left(\frac{175,93}{2,1} + \frac{147,7}{4,3} + \frac{79,0}{8,6} \right)} = 3,17 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$$

Таблица 4 – Требуемые и расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций здания

Тип наружной ограждающей конструкции	Требуемые значения приведенного сопротивления теплопередаче $R_i^{\text{тп}}$, м ² ·°C/Вт	Расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче $R_i^{\text{рп}}$, м ² ·°C/Вт
Наружные стены	3,12	1,82
Окна	0,51	0,5
Чердачное перекрытие холодного чердака	4,12	2,01
Пол по грунту	4,25	3,17

Исходя из представленных в таблицах 1-4 исходных данных произведем расчет по формуле (2) трансмиссионных потерь тепловой энергии за отопительный период $Q_{\text{тр}}^{\text{г}}$, МДж/год:

$$Q_{\text{тр}}^{\text{г}} = 0,0864 \cdot \left[\frac{A_{\text{ст}}}{R_{\text{ст}}^{\text{рп}}} + \frac{A_{\text{ок}}}{R_{\text{ок}}^{\text{рп}}} + \frac{A_{\text{покр}}}{R_{\text{покр}}^{\text{рп}}} + \frac{A_{\text{пол}}}{R_{\text{пол}}^{\text{рп}}} \right] \cdot \text{ГСОП} =$$

$$= 0,0864 \cdot \left[\frac{948,96}{1,82} + \frac{183,15}{0,5} + \frac{401,93}{2,01} + \frac{401,93}{3,17} \right] \cdot 4928 = 517093 (\text{МДж}/\text{год}).$$

Потери зданием тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена за отопительный период $Q_{\text{вент}}^{\text{г}}$, МДж/год рассчитываем по формуле [14]:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{г}} = 0,024 \cdot (L_{\text{ж}} + L_{\text{общ}}) \cdot c_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{от}} \cdot k_{\text{сут}} \cdot k_{\text{нед}} \cdot \text{ГСОП} \cdot (1 - \eta_{\text{рек}}), \quad (7)$$

$L_{\text{ж}}$ – количество приточного воздуха, м³/ч, принимаемое $L_{\text{ж}} = 3 \cdot A_{\text{ж}}$;

$A_{\text{ж}}$ – площадь жилых помещений, к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые;

$$L_{\text{ж}} = 3 \cdot 525,67 = 1577,01 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$c_{\text{в}}$ – удельная массовая теплоемкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг·°C);

$\rho_{\text{в}}^{\text{от}}$ – средняя плотность воздуха, принимается равной 1,28 кг/м³;

$k_{\text{сут}}$ – коэффициент среднесуточного использования вентиляционного оборудования, при неорганизованном притоке (естественной вентиляции) коэффициент $k_{\text{сут}}$ принимается равным 1;

$k_{\text{нед}}$ – коэффициент средненедельного использования вентиляционного оборудования при неорганизованном притоке (естественной вентиляции) коэффициент $k_{\text{нед}}$ принимается равным 1;

$\eta_{\text{рек}}$ – коэффициент полезного действия установки рекуперации вытяжного воздуха. Рекуперационное оборудование при строительстве объекта проектом не предусмотрено. Следовательно, $\eta_{\text{рек}} = 0$.

По формуле (8) [14] произведем расчет потерь зданием тепловой энергии за отопительный период за счет вентиляционного теплообмена $Q_{\text{вент}}^{\text{г}}$, МДж/год:

$$Q_{\text{вент}}^{\text{г}} = 0,024 \cdot L_{\text{ж}} \cdot c_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{от}} \cdot k_{\text{сут}} \cdot k_{\text{нед}} \cdot \text{ГСОП} \quad (8)$$

$$Q_{\text{вент}}^{\text{г}} = 0,024 \cdot 1577,01 \cdot 1,005 \cdot 1,28 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4928 = 239934 (\text{МДж}/\text{год}).$$

Потери тепловой энергии за счет инфильтрации холодного воздуха за отопительный период через наружные ограждающие конструкции $Q_{\text{инф}}^{\text{г}}$, МДж рассчитаем по формуле [14]:

$$Q_{\text{инф}}^{\text{г}} = 0,024 \cdot G_{\text{инф}} \cdot \frac{n_{\text{инф}}}{168} \cdot c_{\text{в}} \cdot \text{ГСОП}, \quad (9)$$

где $G_{\text{инф}}$ – количество инфильтрующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции, кг/ч; для жилых зданий – воздуха, поступающего в лестничные клетки в течение суток отопительного периода; $G_{\text{инф}}$ следует определять по формуле (10);

$n_{\text{инф}}$ – число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 для домов со сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией.

Количество инфильтрующегося воздуха $G_{\text{инф}}$, кг/ч, поступающего в лестничную клетку жилого дома или в помещения общественного здания через неплотности заполнения проемов, полагая, что все они находятся на наветренной стороне, определим по формуле [14]:

$$G_{\text{инф}} = \left(\frac{A_{\text{ок}}}{R_{\text{инф(ок)}}^{\text{тр}}} + \frac{A_{\text{б.дв}}}{R_{\text{инф(б.дв)}}^{\text{тр}}} \right) \cdot \left(\frac{\Delta p_{\text{ок}}}{10} \right)^{2/3} + \left(\frac{A_{\text{дв}}}{R_{\text{инф(дв)}}^{\text{тр}}} \right) \cdot \left(\frac{\Delta p_{\text{дв}}}{10} \right)^{1/2}, \quad (10)$$

где $A_{\text{ок}}$, $A_{\text{б.дв}}$, $A_{\text{дв}}$ – соответственно суммарная площадь окон, балконных дверей наружных переходов лестнично-лифтового узла и входных наружных дверей в здание, м²;

$R_{\text{инф(ок)}}^{\text{тр}}$, $R_{\text{инф(б.дв)}}^{\text{тр}}$, $R_{\text{инф(дв)}}^{\text{тр}}$ – соответственно требуемые сопротивления воздухопроницанию окон, балконных дверей наружных переходов лестнично-лифтового узла и входных наружных дверей [14]:

$$R_{\text{инф(ок)}}^{\text{тр}} = \left(\frac{1}{G^{\text{тр}}} \right) \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{2/3}, \quad (11)$$

$$R_{\text{инф(дв)}}^{\text{тр}} = \frac{\Delta p}{G^{\text{тр}}}, \quad (12)$$

где $\Delta p_0 = 10$ Па - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях светопрозрачной конструкции, при которой определяется воздухопроницаемость сертифицируемого (испытываемого) образца;

Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции, Па;

$G^{\text{тр}}$ – требуемая воздухопроницаемость светопрозрачной конструкции, кг/(м²·ч), при $\Delta p_0 = 10$ Па, принимаемая для окон и балконных дверей равной 5кг/м²·ч, для входных дверей в жилое здание 7кг/м²·ч;

$\Delta p_{\text{ок}}$, $\Delta p_{\text{дв}}$ – расчетная разность давлений наружного и внутреннего воздуха, Па, рассчитываемая

- для окон и балконных дверей наружных переходов лестнично-лифтового узла по формуле:

$$\Delta p_{\text{ок}} = 0,28 \cdot H \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot v^2, \quad (13)$$

- для наружных входных дверей в здание по формуле:

$$\Delta p_{\text{дв}} = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot v^2. \quad (14)$$

В формулах (13), (14) приняты следующие обозначения:

H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), $H=12,25$ м;

$\gamma_{\text{н}}$ – удельный вес наружного воздуха, принимаемый для климатических условий исследуемого объекта в Новгородской области равным 14,08 Н/м³;

$\gamma_{\text{в}}$ – удельный вес внутреннего воздуха, принимаемый равным для жилых домов, общеобразовательных школ, гостиниц и общежитий (с расчетной температурой внутреннего воздуха $t_{\text{в}}=20$ °С) – 11,82 Н/м³;

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимаемая для климатических условий исследуемого объекта в Новгородской области равной 6,6 м/с;

По формуле (13) рассчитаем расчетную разность давлений наружного и внутреннего воздуха, Па для окон:

$$\Delta p_{\text{ок}} = 0,28 \cdot 12,25 \cdot (14,08 - 11,82) + 0,03 \cdot 14,08 \cdot 6,6^2 = 26,15 \text{ (Па)};$$

Температуру внутреннего воздуха в помещениях тамбура примем равной 16 °С вне зависимости от функционального назначения частей здания. В этом случае величину удельного веса внутреннего воздуха $\gamma_{\text{в}}$ примем равной 11,98 Н/м³.

По формуле (14) рассчитаем расчетную разность давлений наружного и внутреннего воздуха, Па:

$$\Delta p_{\text{дв}} = 0,55 \cdot 12,25 \cdot (14,08 - 11,98) + 0,03 \cdot 14,08 \cdot 6,6^2 = 32,55 \text{ (Па)}.$$

Найдем требуемое сопротивление воздухопроницанию окон $R_{\text{инф}}^{\text{тр}}$, м²·ч·Па/кг:

$$R_{\text{инф(ок)}}^{\text{тр}} = \left(\frac{1}{G^{\text{тр}}} \right) \cdot \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{2/3} = \left(\frac{1}{5} \right) \cdot \left(\frac{26,15}{10} \right)^{2/3} = 0,38 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \frac{\text{Па}}{\text{кг}} \right),$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию входных дверей в здание $R_{\text{инф}}^{\text{тр}}$, м²·ч·Па/кг, рассчитаем по формуле (12):

$$R_{\text{инф(дв)}}^{\text{тр}} = \frac{\Delta p}{G^{\text{тр}}} = \frac{32,55}{7} = 4,65 \left(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \frac{\text{Па}}{\text{кг}} \right).$$

По формуле (10) рассчитаем количество инфильтрующегося воздуха $G_{\text{инф}}$, кг/ч:
- для окон жилой части:

$$G_{\text{инф(ок)}} = \left(\frac{A_{\text{ок}}}{R_{\text{инф(ок)}}^{\text{тр}}} \right) \cdot \left(\frac{\Delta p_{\text{ок}}}{10} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{183,15}{0,38} \right) \cdot \left(\frac{26,15}{10} \right)^{\frac{2}{3}} = 914,8 \left(\frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right);$$

- для входных наружных дверей в жилую часть:

$$G_{\text{инф(дв)}} = \left(\frac{A_{\text{дв}}}{R_{\text{инф(дв)}}^{\text{тр}}} \right) \cdot \left(\frac{\Delta p_{\text{дв}}}{10} \right)^{1/2} = \left(\frac{5,27}{4,65} \right) \cdot \left(\frac{32,55}{10} \right)^{1/2} = 2,05 \left(\frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right).$$

$$Q_{\text{инф}}^{\text{г}} = 0,024 \cdot G_{\text{инф(ок)}} \cdot \frac{n_{\text{инф(ок)}}}{168} \cdot c_{\text{в}} \cdot \text{ГСОП} + 0,024 \cdot G_{\text{инф(дв)}} \cdot \frac{n_{\text{инф(дв)}}}{168} \cdot c_{\text{в}} \cdot \text{ГСОП} = \\ = 0,024 \cdot 914,8 \cdot \frac{168}{168} \cdot 1,005 \cdot 4928 + 0,024 \cdot 2,05 \cdot \frac{168}{168} \cdot 1,005 \cdot 4928 = 108980 \text{ (МДж/год)}.$$

Бытовые тепlopоступления для жилых зданий за отопительный период $Q_{\text{быт}}^{\text{е}}$, МДж, найдем по формуле [14]:

$$Q_{\text{быт}}^{\text{г}} = 0,0864 \cdot q_{\text{быт}} \cdot z_{\text{от}} \cdot A_{\text{ж}}, \quad (15)$$

где $q_{\text{быт}}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений, Вт/м², принимаемая для жилых домов, в зависимости от расчетной заселенностью квартиры на человека по интерполяции величины $q_{\text{быт}}$ между 10 и 17 Вт/м². Принимаем равной $q_{\text{быт}} = 17$ Вт/м²;

$$Q_{\text{быт}}^{\text{г}} = 0,0864 \cdot 17 \cdot 221 \cdot 525,67 = 170635 \text{ (МДж)}.$$

Тепlopоступления через наружные светопрозрачные ограждающие конструкции от солнечной радиации с учетом ориентации фасадов по восьми румбам за отопительный период $Q_{\text{солн}}^{\text{е}}$, МДж, определим по формуле [14]:

$$Q_{\text{солн}}^{\text{г}} = \tau_{\text{ок}} \cdot k_{\text{ок}} \cdot \left(\sum_{i=1}^8 A_{\text{ок},i} \cdot I_{\text{в},i} \right) + \tau_{\text{ф}} \cdot k_{\text{ф}} \cdot A_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}}, \quad (16)$$

где $\tau_{\text{ок}}, \tau_{\text{ф}}$ – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема соответственно окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения, $\tau_{\text{ок}} = 0,8$ [Прил. Л, 15];

$k_{\text{ок}}, k_{\text{ф}}$ – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений соответственно окон и зенитных фонарей, $k_{\text{ок}} = 0,74$ [Прил. Л, 15];

$A_{\text{ок},i}$ – площадь поверхности светопроемов фасадов здания, ориентированных по восьми направлениям (светопроемы лестнично-лифтового узла в расчет не принимаются), м²;

$A_{\text{ф}}$ – площадь светопроемов зенитных фонарей здания, а также мансардных окон с углом наклона к горизонту менее 45°, м², светопроемы зенитных фонарей и мансардных окон с углом наклона к горизонту менее 45° проектом не предусмотрены. Следовательно, $A_{\text{ф}}$ принимаем равным нулю;

$I_{\text{в},i}$ – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по восьми фасадам постройки, МДж/м²;

Площади вертикальных светопрозрачных ограждающих конструкций $A_{\text{ок},i}$, м², в зависимости от ориентации фасадов дома для помещений жилой части здания и офисов составляют: юг: $A_{\text{ок},ю} = 10,8$ м²; восток: $A_{\text{ок},в} = 56,7$ м²; запад: $A_{\text{ок},з} = 58,98$ м²; север: $A_{\text{ок},с} = 10,8$ м².

Распределение средней величины солнечной суммарной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности $I_{\text{в},i}$ для района исследуемого объекта (пос. Парфино, 58° с.ш.), МДж/м² схематично представлено на рисунке 2.

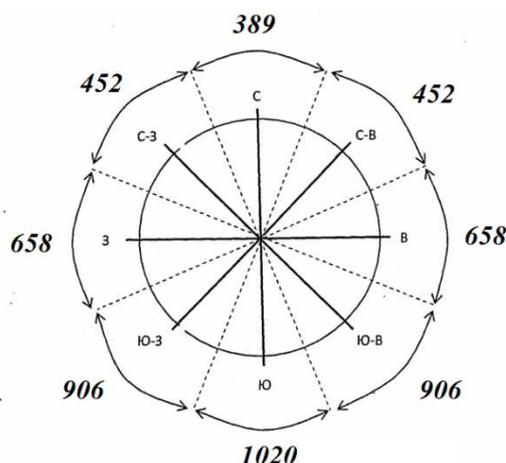


Рисунок 2 – Распределение средней величины солнечной суммарной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности за отопительный период

$$Q_{\text{солн}}^r = \tau_{\text{ок}} \cdot k_{\text{ок}} \cdot \left(\sum_{i=1}^8 A_{\text{ок},i} \cdot I_{\text{в},i} \right) + \tau_{\text{ф}} \cdot k_{\text{ф}} \cdot A_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} = 0,8 \cdot 0,74 \cdot (10,8 \cdot 1020 + (58,95 + 56,7) \cdot 658 + 10,8 \cdot 389) = 54058 \text{ (МДж/год)}.$$

Коэффициент снижения теплоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций $\nu_{\text{ин}}$ для исследуемого объекта принят равным 0,9 [14].

Коэффициент эффективности систем автоматического регулирования подачи теплоты на отопление ζ в соответствии с принятой схемой системы отопления равен 0,5 [12].

В соответствии с принятой в проекте схемой прокладки трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения коэффициент, учитывающий дополнительное теплотребление системой отопления β_h принимаем равным 1,07.

Рассчитаем для проектируемого здания по формуле (3) численное значение годового расхода тепловой энергии на отопление в холодный и переходный периоды года $Q_{\text{ов}}^r$, МДж/год:

$$Q_{\text{ов}}^r = [Q_{\text{тр}}^r + Q_{\text{вент}}^r + Q_{\text{инф}}^r - (Q_{\text{быт}}^r + Q_{\text{солн}}^r) \cdot \nu_{\text{ин}} \cdot \zeta] \cdot \beta_h = [517093 + 239934 + 108980 - (170635 + 54058) \cdot 0,9 \cdot 0,5] \cdot 1,07 = 818438 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{год}} \right)$$

Рассчитаем величину удельного годового расхода тепловой энергии на отопление в холодный и переходный периоды года $q_{\text{ов}}^r$, МДж/(м²·год) [14]:

$$q_{\text{ов}}^r = \frac{Q_{\text{ов}}^r}{A_{\text{общ}}} = \frac{818438}{1101,7} = 742,9 \left(\frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \right). \quad (17)$$

Рассчитаем для проектируемого объекта величину суммарного удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию $q_{\text{т(ов)}}^r$, кВт·ч/(м²·год) [14]:

$$q_{\text{т(ов)}}^r = \frac{q_{\text{ов}}^r}{3,6} = \frac{742,9}{3,6} = 206,4 \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \right) \quad (18)$$

Рассчитаем суммарный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию, приведенные к градусо-суткам отопительного периода $q_{\text{т/ГСОП(ов)}}^r$, Вт·ч/(м²·°С·сут) [14]:

$$q_{\text{т/ГСОП(ов)}}^r = \frac{277,8 \cdot Q_{\text{ов}}^r}{A_{\text{общ}} \cdot \text{ГСОП}} = \frac{277,8 \cdot 818438}{1101,7 \cdot 4928} = 41,9 \left(\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}} \right) = 150,8 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}} \right), \quad (19)$$

6. Заключение

В результате расчетов по методике РМД 23-16-2012 и СП 50.13330.2012 получены значения удельных показателей расхода тепловой и электрической энергии для исследуемого здания. При сравнении полученных значений с нормируемыми показателями, представленными в нормативных документах, получили:

1. Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию $q_{\text{т/ГСОП(ов)}}^r = 150,8 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}}$ значительно превышает нормируемый показатель $q_{\text{н}}^{\text{req}} = 77 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}}$ (табл.9 СНиП 23-02-2003);

2. Отклонение расчетной удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилого дома от нормируемой (базовой) величины составляет $k = \frac{77}{150,8} = 0,51 = 51\%$. Для оценки достигнутой в проекте объекта строительства потребности энергии на отопление и вентиляцию определим классы энергосбережения по таблице СП 50.13330.2012. Проектируемый объект можно отнести к классу «D» – пониженный. Проектирование зданий с классом энергосбережения "D, E" не допускается. При эксплуатации существующих зданий, энергоэффективность которых соответствует классу «D», рекомендуются мероприятия, связанные с реконструкцией при соответствующем экономическом обосновании.

3. Для снижения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию необходимо предпринять комплекс мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности исследуемого объекта;

4. Расчетное значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций исследуемого объекта не удовлетворяет требуемым значениям (результаты расчета представлены в таблице 4);

5. Конструкция рассматриваемого стенового ограждения не удовлетворяет минимально допустимым требованиям по тепловой защите ($R_{\min} = R_i^{tp} \cdot m_p$, m_p - коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. Значения коэффициента при этом должны быть не менее: $m_p = 0,63$ - для стен, $m_p = 0,95$ - для светопрозрачных конструкций, $m_p = 0,8$ - для остальных ограждающих конструкций); $R_{\min}^{nc} = 0,63 \cdot 3,12 = 1,97$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт, $R_{nc}^{np} = 1,82$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт.

6. Проектируемое чердачное перекрытие не удовлетворяет минимально допустимым требованиям по тепловой защите; $R_{\min}^{ch} = 0,8 \cdot 4,12 = 3,3$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт, $R_{ch}^{np} = 2,01$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт.

7. Проектируемое покрытие пола по грунту не удовлетворяет минимально допустимым требованиям по тепловой защите; $R_{\min}^{пол} = 0,8 \cdot 4,25 = 3,4$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт, $R_{пол}^{np} = 3,17$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт;

8. Для обеспечения нормируемых и требуемых показателей приведенного сопротивления ограждающих конструкций необходимо учитывать теплотехническую неоднородность конструкций при расчете здания.

Литература

- [1]. Турсунулы Б. Т. Энергоэффективные свойства ограждающих конструкций из теплоэффективных блоков дис. магистр техники и технологии строительства: защищена: 2014 / Турсунулы Бакытжан Турсунович. СПб, 2014. 59 с.
- [2]. Гаас И.А. Технология восстановления теплотехнических характеристик ограждающих конструкций панельных зданий: дис. магистр техники и технологии строительства: защищена: 2013 / Гаас Иван Андреевич. СПб, 2013. 51 с.
- [3]. Задвинская Т.О. Комплексная методика повышения энергоэффективности типового многоквартирного дома: дис. магистр техники и технологии строительства: защищена: 2014 / Задвинская Таисия Олеговна. СПб, 2014. 83 с.
- [4]. Вилинская А.О., Немова Д.В., Давыдова Е.И., Гнам П.А. Повышение класса энергоэффективности общественного здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №9. С. 8-17
- [5]. Сормунен П. Энергоэффективность зданий. Ситуация в Финляндии // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 7-8.
- [6]. Jormalainen J., Käkelä P. Sustainability of Polyurethane Thermal Insulation // 9-th Nordic Symposium on Building Physics. Tampere, Finland. 2011.
- [7]. Samuel Faye Gamtessa. An explanation of residential energy-efficiency retrofit behavior in Canada // Energy and Buildings. 2013. Vol. 57. Pp 155-164
- [8]. Natasa Nord, Stine FjærliSjøthun. Success factors of energy efficiency measures in buildings in Norway // Energy and Buildings, In Press, Accepted Manuscript, Available online 2014
- [9]. National Building Code of Finland, Part D3
- [10]. Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply. Federal Ministry of Economics and Technology. Berlin, (BMWi) Public relations. 2010. 32 p.
- [11]. Danny L.D. Harvey Recent Advances in Sustainable Buildings: Review of the Energy and Cost Performance of the State-of-the-Art Best Practices from Around the World // Annual Review of Environment and Resources. 2013. Vol. 38. Pp. 281-309.
- [12]. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003).
- [13]. Gorshkov, A.S., Ivanova, E.S. Reduced Thermal Resistance of a Two-layer Wall Construction // Applied Mechanics and Materials. 2014. Pp. 49-56
- [14]. РМД 23-16-2012 Санкт-Петербург. Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий (утверждены Распоряжением Комитета по строительству Правительства Санкт-Петербурга от 13.09.2012 г. №114)
- [15]. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
- [16]. Yuriy A. Matrosov, Mark Chao, Cliff Majersik Increasing Thermal Performance and Energy Efficiency of Buildings in Russia: Problems and Solutions. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.cenef.ru/file/St-267e.pdf> (дата обращения 05.12.2015).
- [17]. Graubohm M., Brameshuber W. Investigations on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive // 8th International Masonry Conference 2010. Dresden. 2010.
- [18]. Nemova D.V., Spiridonova T.I., Kurazhova V.G. «Unknown properties of the well-known material» // Construction of Unique Buildings and Structures. 2012. Vol. 1. Pp. 36-46.
- [19]. Гетц А.П., Громоковский А.В., Ватин Н.И. Сравнение эффективности применения различных видов ограждающих конструкций // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Ч.1. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2009. С.197-198.
- [20]. Горшков А.С., Ватин Н.И. Нормирование потребления зданиями энергии. Расчет потребления зданиями тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период: учеб.пособие. СПб: Изд-во СПбПУ, 2011. 212 с.
- [21]. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий // "АВОК". 1998. № 1. С. 5-13
- [22]. Табунщиков Ю.А., Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1986. 380 с.
- [23]. Бадьин, Г.М. Строительство и реконструкция малоэтажного энергоэффективного дома: учеб.пособие. СПб: БХВ-Петербург, 2011. 422 с.

- [24]. Горшков А.С. Критерии энергоэффективности в строительстве и меры ее повышения // Светопрозрачные конструкции. 2010. № 3. С. 19-24
- [25]. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8. С. 4-14
- [26]. Игнатенко А.А. Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций (стен): дис. магистр строительства: защищена: 2005 / Игнатенко А.А. М., 2005. 85 с.
- [27]. Гетц А.П., Громоковский А.В., Ватин Н.И. Сравнение эффективности применения различных видов ограждающих конструкций // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ: материалы международной научно-практической конференции. Ч.1. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2009. С.197-198.
- [28]. Гаас, И.А. Технология восстановления теплотехнических характеристик ограждающих конструкций панельных зданий: дис. магистр техники и технологии строительства: защищена: 2014 / Гаас Иван Андреевич. СПб, 2014. 51 с.

Calculation of energy consumption of the building with the minimum requirements for thermal protection

E.S. Ivanova^{1*}, A.S. Gorshkov²

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

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Article history

Received 22 February 2016

Keywords

Energy efficiency;
Energy consumption;
heat losses;
thermal protection of buildings;
reduced thermal resistance;
energy efficiency class;
heating and ventilation;
specific heat consumption;

ABSTRACT

The article explores the object that has 2 stages of construction. Projected houses are identical in heat engineering characteristics and design features. The building is the first phase of construction was built on the minimum requirements for thermal protection. When the first house was built, it was decided to correct the project of the second stage. Project change was due to the increase in the requirements for the thermal protection of the building. The second building is built on the highest standards of insulation and energy saving. The research is to calculate the annual heat energy consumption for heating buildings in the cold and transitional periods of the year before the adjustment of the project and comparing these values with the regulations. It is also in the process of calculating the defined thermal performance building envelopes. The purpose of research is to justify the need to adjust the project to improve energy efficiency.

Corresponding author:

1*. +7(981)7347155, kat9304@yandex.ru (Ekaterina Semenovna Ivanova, Student)

2. +7(921)3884315, alsgor@yandex.ru (Aleksander Sergeevich Gorshkov, PhD, Associate Professor)

References

- [1]. Tursunuly B. T. Energoeffektivnyye svoystva ograzhdayushchikh konstruktsiy iz teploeffektivnykh blokov dis. magistr tekhniki i tekhnologii stroitelstva: zashchishchena: 2014 / Tursunuly Bakytzhan Tursunovich. SPb, 2014. 59 p.
- [2]. Gaas I.A. Tekhnologiya vosstanovleniya teplotekhnicheskikh kharakteristik ograzhdayushchikh konstruktsiy panelnykh zdaniy: dis. magistr tekhniki i tekhnologii stroitelstva: zashchishchena: 2013 / Gaas Ivan Andreyevich. SPb, 2013. 51 p.
- [3]. Zadvinskaya T.O. Kompleksnaya metodika povysheniya energoeffektivnosti tipovogo mnogokvartirnogo doma: dis. magistr tekhniki i tekhnologii stroitelstva: zashchishchena: 2014 / Zadvinskaya Taisiya Olegovna. SPb, 2014. 83 p.
- [4]. Vilinskaya A.O., Nemova D.V., Davydova Ye.I., Gnam P.A. Povysheniye klassa energoeffektivnosti obshchestvennogo zdaniya // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. Vol. 9. Pp. 8-17
- [5]. Sormunen P. Energoeffektivnost zdaniy. Situatsiya v Finlyandii // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2010. Vol. 1. Pp. 7-8.
- [6]. Jormalainen J., Käkelä P. Sustainability of Polyurethane Thermal Insulation // 9-th Nordic Symposium on Building Physics. Tampere, Finland. 2011.
- [7]. Samuel Faye Gamtessa. An explanation of residential energy-efficiency retrofit behavior in Canada // Energy and Buildings. 2013. Vol. 57. Pp 155-164
- [8]. Natasa Nord, Stine FjærliSjøthun. Success factors of energy efficiency measures in buildings in Norway // Energy and Buildings, In Press, Accepted Manuscript, Available online 2014
- [9]. National Building Code of Finland, Part D3
- [10]. Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply. Federal Ministry of Economics and Technology. Berlin, (BMWi) Public relations. 2010. 32 p.
- [11]. Danny L.D. Harvey Recent Advances in Sustainable Buildings: Review of the Energy and Cost Performance of the State-of-the-Art Best Practices from Around the World // Annual Review of Environment and Resources. 2013. Vol. 38. Pp. 281-309.
- [12]. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy (aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003).
- [13]. Gorshkov, A.S., Ivanova, E.S. Reduced Thermal Resistance of a Two-layer Wall Construction // Applied Mechanics and Materials. 2014. Pp. 49-56
- [14]. RMD 23-16-2012 Sankt-Peterburg. Rekomendatsii po obespecheniyu energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy (utverzhdeny Rasporyazheniyem Komiteta po stroitelstvu Pravitelstva Sankt-Peterburga ot 13.09.2012 g. №114)
- [15]. SP 23-101-2004. Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy.
- [16]. Yuriy A. Matrosov, Mark Chao, Cliff Majersik. Increasing Thermal Performance and Energy Efficiency of Buildings in Russia: Problems and Solutions. [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.cenef.ru/file/St-267e.pdf> (data obrashcheniya 05.12.2015).
- [17]. Graubohm M., Brameshuber W. Investigations on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive // 8th International Masonry Conference 2010. Dresden. 2010.
- [18]. Nemova D.V., Spiridonova T.I., Kurazhova V.G. «Unknown properties of the well-known material» // Construction of Unique Buildings and Structures. 2012. Vol. 1. Pp. 36-46.
- [19]. Getts A.P., Gromokovskiy A.V., Vatin N.I. Sravneniye effektivnosti primeneniya razlichnykh vidov ograzhdayushchikh konstruktsiy // XXXVIII Nedelya nauki SPbGPU: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ch.I. SPb.: Izd-vo SPbPU, 2009. Pp.197-198.
- [20]. Gorshkov A.S., Vatin N.I. Normirovaniye potrebleniya zdaniyami energii. Raschet potrebleniya zdaniyami teplovoy energii na otopleniye i ventilyatsiyu za otopitelnyy period: ucheb.posobiye. SPb: Izd-vo SPbPU, 2011. 212 p.
- [21]. Tabunshchikov Yu. A., Brodach M. M. Nauchnyye osnovy proyektirovaniya energoeffektivnykh zdaniy // "AVOK". 1998. Vol. 1. Pp. 5-13
- [22]. Tabunshchikov Yu.A., Khromets D.Yu., Matrosov Yu.A. Teplovaya zashchita ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy. M.: Stroyizdat, 1986. 380 p.
- [23]. Badin, G.M. Stroitelstvo i rekonstruktsiya maloetazhnogo energoeffektivnogo doma: ucheb.posobiye. SPb: BKhV-Peterburg, 2011. 422 p.

- [24]. Gorshkov A.S. Kriterii energoeffektivnosti v stroitelstve i mery yeye povysheniya // Svetoprozrachnyye konstruksii. 2010. Vol. 3. Pp. 19-24
- [25]. Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Vliyaniye urovnya teplovoy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy na velichinu poter teplovoy energii v zdanii // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2012. Vol. 8. Pp. 4-14
- [26]. Ignatenko A.A. Teplotekhnicheskiye kharakteristiki ograzhdayushchikh konstruksiy (sten): dis. magistr stroitelstva: zashchishchena: 2005 / Ignatenko A.A. M., 2005. 85 p.
- [27]. Getts A.P., Gromokovskiy A.V., Vatin N.I. Sravneniye effektivnosti primeneniya razlichnykh vidov ograzhdayushchikh konstruksiy // XXXVIII Nedelya nauki SPbGPU: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. P.I. SPb.: Izd-vo SPbPU, 2009. Pp.197-198.
- [28]. Gaas, I.A. Tekhnologiya vosstanovleniya teplotekhnicheskikh kharakteristik ograzhdayushchikh konstruksiy panelnykh zdaniy: dis. magistr tekhniki i tekhnologii stroitelstva: zashchishchena: 2014 / Gaas Ivan Andreyevich. SPb, 2014. 51 p.

Иванова Е.С., Горшков А.С. Расчет энергопотребления здания, построенного по минимальным требованиям к тепловой защите // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №4 (43). С. 58-72

Ivanova E.S., Gorshkov A.S. Calculation of energy consumption of the building with the minimum requirements for thermal protection. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 4 (43), Pp. 58-72. (rus)