

УДК: 699.86
DOI: 10.52409/20731523_2022_4_40
EDN: LKMZCC



К вопросу о повышении класса энергосбережения жилых зданий за счет архитектурно-конструктивных и других параметров

А.И. Иванцов¹, А.С. Петров¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация.

Аннотация. *Постановка задачи.* Согласно Постановления Правительства Российской Федерации от 01.09.2016 № 1853-р доля жилых зданий с высокой энергоэффективностью должна непрерывно повышаться вплоть до 30 % к 2025 г. по отношению к уровню 2015 года. Требования к энергосбережению зданий непрерывно ужесточаются, а значит, достичь высокой энергоэффективности зданий становится затруднительней. Вместе с тем, ресурс по повышению энергосбережения жилых зданий также в достаточной мере ограничен. В этой связи актуальной задачей является оценка возможности достижения высоких классов энергосбережения жилого дома в условиях климата России архитектурно-конструктивными и инженерными мероприятиями, что является целью излагаемого исследования. Для достижения поставленной цели в работе решены задачи по оценке влияния на класс энергосбережения жилого здания основных архитектурно-конструктивных параметров здания, а также по оценке потенциала увеличения класса энергосбережения за счет применения механической приточно-вытяжной системы вентиляции в жилом здании.

Результаты. Расчет и анализ параметров энергосбережения проведен для односекционного жилого здания с различной этажностью, коэффициентом остекленности фасадов и сопротивлением теплопередаче ограждающих конструкций, а также применением рекуперации тепла в системе вентиляции. Исследование проводилось на примере модели здания для 36 городов Российской Федерации в различных климатических условиях.

Показано, что для односекционного жилого здания, запроектированного без применения дополнительных (сверх нормативных) энергосберегающих мероприятий, класс энергосбережения не поднимается выше «В» независимо от этажности здания. Доказано, что дополнительная теплоизоляция ограждающих конструкций не приводит к эффективному увеличению энергосбережения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что показана необходимость включения в проекты многоквартирных жилых зданий дополнительных мероприятий по энергосбережению с целью достижения высоких классов энергосбережения.

Ключевые слова: энергоэффективность, класс энергосбережения, жилые здания, сопротивление теплопередаче, коэффициент остекленности фасада.

Для цитирования: Иванцов А.И., Петров А.С. К вопросу о повышении класса энергосбережения жилых зданий за счет архитектурно-конструктивных и других параметров // Известия КГАСУ 2022 №4(62) с.40-50 ,DOI: 10.52409/20731523_2022_4_40, EDN: LKMZCC

Increasing the energy saving class of residential buildings due to architectural, structural and other parameters

A.I. Ivantsov¹, A.S. Petrov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* According to the Decree of the Government of the Russian Federation No. 1853-r dated September 1, 2016, the share of residential buildings with high energy efficiency should continuously increase up to 30 % by 2025 in relation to the level of 2015. The requirements for energy saving in buildings are constantly tightening, which means that it becomes more difficult to achieve high energy efficiency in buildings. At the same time, the resource for improving the energy efficiency of residential buildings is also quite limited. In this regard, an urgent task is to assess the possibility of achieving high energy saving classes in a residential building in the Russian climate by architectural, structural and engineering measures, which is the goal of the present study. To achieve this goal, the work solved the tasks of assessing the impact on the energy saving class of a residential building of the main architectural and structural parameters of the building, as well as assessing the potential for increasing the energy saving class through the use of a mechanical supply and exhaust ventilation system in a residential building.

Results. Calculation and analysis of energy saving parameters was carried out for a single-section residential building with different number of storeys, facade glazing coefficient and resistance to heat transfer of enclosing structures, as well as the use of heat recovery in the ventilation system. The study was conducted on the example of a building model for 36 cities of the Russian Federation in various climatic conditions.

It is shown that for a one-section residential building designed without the use of additional (in excess of the normative) energy-saving measures, the energy saving class does not rise above "B", regardless of the number of storeys of the building. It has been proven that additional insulation of enclosing structures does not lead to an effective increase in energy savings.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry lies in the fact that it shows the necessity to include additional (above the normative) energy saving measures in the projects of multi-apartment residential buildings in order to achieve high energy saving classes.

Keywords: energy efficiency, energy saving class, residential buildings, heat transfer resistance, glazing-to-wall ratio

For citation: Ivantsov A.I., Petrov A.S. Increasing the energy saving class of residential buildings due to architectural, structural and other parameters // News KSUAE, 2022. №4(62), p.40-50, DOI: 10.52409/20731523_2022_4_40, EDN: LKMZCC

1. Введение

Здания являются крупнейшими потребителями энергоресурсов, на долю которых приходится более одной трети конечного энергопотребления во всем мире. В России доля энергопотребления в зданиях достигает 40 % [1]. Поэтому при проектировании и строительстве зданий в России большое внимание уделяется энергоэффективности.

В России в сфере энергоэффективности в строительстве правовая база регулируется Постановлением Правительства РФ от 01.09.2016 № 1853-р «План («Дорожная карта») по энергоэффективности зданий и сооружений». План направлен на устранение технических, нормативных, информационных и иных барьеров на пути повышения энергоэффективности и установление соответствующих показателей энергоэффективности при проектировании, строительстве, эксплуатации и капитальном ремонте зданий и сооружений.

Задачами «дорожной карты» являются:

- рациональное использование энергоресурсов с учетом требований по энергоэффективности зданий, сооружений и конструкций;

- снижение платежей населения;
- повышение энергоэффективности зданий, сооружений, сооружений при проектировании и строительстве;
- совершенствование системы контроля за соблюдением требований и параметров энергоэффективности зданий.

Согласно Плану, доля жилых домов с наивысшей энергоэффективностью в общем количестве жилых домов должна увеличиться: до 10 % в 2018 г., 20 % в 2020 г. и 30 % в 2025 г. по отношению к уровню 2015 г.

В Российской Федерации для качественной оценки эффективности использования энергетических ресурсов жилым зданием используются два параметра: класс энергосбережения и класс энергоэффективности. Класс энергосбережения определяется на основе сопоставления затрат тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период, приведенных к отапливаемому объему здания, с нормируемой величиной по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Градация класса энергосбережения многоквартирного дома формируется по шкале от E (низкий – более +50 %) до A++ (очень высокий – ниже -60 %).

Класс энергоэффективности принимает во внимание помимо энергетических затрат на отопление и вентиляцию энергетические затраты на горячее водоснабжение, а также на электроснабжение в части расхода электрической энергии на общедомовые нужды. При этом данные затраты приводятся к полезной площади многоквартирного жилого дома (без учета общедомовых помещений) по Приказу Минстроя РФ № 399/пр от 6 июня 2016 г. Градация класса энергоэффективности многоквартирного дома формируется по шкале от G (очень низкий - более +50 %) до A++ (высочайший - ниже -60 %).

Принципы энергоэффективного проектирования описаны в большом количестве работ [2-6]. Влияние архитектурно-конструктивных параметров на энергоэффективность рассматривается, как правило, в части снижения теплопотерь через оболочку здания [7]. В достаточном количестве работ находит отражение влияние теплопоступлений через светопрозрачные конструкции на энергоэффективность зданий [8, 9]. Например, в [10, 11] показано, что благоприятная ориентация здания за счет теплопоступления от солнечной радиации позволяет снизить затраты на отопление до 30 % в южных регионах.

Применение системы рекуперации тепла в вентиляции и его влияние на повышение энергоэффективности в общественных зданиях известны [12, 13], для многоквартирных жилых зданий использование таких технологий на сегодня не находит широкого применения, в то время как эффективность их установлена [14].

Актуальность исследования заключается в том, что несмотря на одиночные примеры проектирования жилых зданий с высоким классом энергосбережения [15], достижение высокой энергоэффективности в климатических условиях РФ традиционными методами проектирования и строительства жилых многоквартирных зданий без использования дополнительных зачастую дорогостоящих энергосберегающих мероприятий является в достаточной мере сложной задачей. С одной стороны, практически исчерпан эффект от повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания как самого очевидного способа уменьшения теплопотерь [16, 17]. С другой стороны, согласно постановлению Правительства РФ от 25.01.2011 № 18 (ред. от 20.05.2017), требования энергетической эффективности должны ужесточаться не реже, чем 1 раз в 5 лет:

- а) для вновь создаваемых зданий, сооружений с 1 июля 2018 года - не менее 20 процентов к базовой величине, с 1 января 2023 года - не менее 40 % к базовой величине, с 1 января 2028 года - не менее 50 % в отношении к базовой величине;
- б) для реконструируемых или капитально ремонтируемых зданий (за исключением жилых помещений) с 1 июля 2018 года - не менее 20 % к базовому уровню.

В соответствии с вышеизложенным целью работы является оценка возможности достижения высокого класса энергосбережения жилого дома в условиях климата России архитектурно-конструктивными и другими инженерными мероприятиями.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить влияние на класс энергосбережения жилого здания основных архитектурно-конструктивных параметров здания (сопротивление теплопередаче ограждающих

- конструкций, коэффициент остекленности здания, этажность, ориентация здания по сторонам света);
- оценить потенциал увеличения класса энергосбережения за счет применения механической приточно-вытяжной системы вентиляции в жилом здании.

2. Материалы и методы

В качестве основной методики расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию для определения классов энергосбережения и энергоэффективности является утвержденная методика по приложению Г СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Так как в этом же стандарте описана методика определения класса энергосбережения, дальнейший сравнительный анализ ведется по этому показателю.

Класс энергосбережения здания определяется по величине отклонения удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового (нормируемого) значения.

$$\Delta q = \frac{q_{om}^p - q_{om}^{mp}}{q_{om}^{mp}} \cdot 100\% \quad (1)$$

q_{om}^p – расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°C);

q_{om}^{mp} – нормируемая (базовая) удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/(м³·°C).

Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию определяется с учетом климатических условий района строительства, выбранных объемно-планировочных решений, ориентации здания, теплозащитных свойств ограждающих конструкций, принятой системы вентиляции здания, а также применения энергосберегающих технологий.

$$q_{om}^p = k_{об} + k_{вент} - \beta_{КПИ} (k_{быт} + k_{рад}) \quad (2)$$

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м³·°C);

$k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³·°C);

$k_{быт}$ – удельная характеристика внутренних теплопоступлений здания, Вт/(м³·°C);

$k_{рад}$ – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м³·°C);

$\beta_{КПИ}$ – коэффициент полезного использования теплопоступлений.

Следует отметить, что $k_{об}$ и $k_{вент}$ определяют теплопотери здания и, соответственно, для увеличения энергосбережения данные величины необходимо минимизировать. Величины $k_{быт}$ и $k_{рад}$ определяют теплопоступления, их необходимо максимизировать.

Так как класс энергосбережения характеризует архитектурно-инженерное решение здания, каждый из членов формулы прямо или опосредованно связан с архитектурно-конструктивным или инженерным решением многоквартирного жилого здания.

Показатель $k_{об}$ характеризует трансмиссионные теплопотери через оболочку здания. Для уменьшения величины $k_{об}$ необходимо гармонизировать тепловую оболочку так, чтобы ограждающие конструкции, занимающие наибольшую площадь в здании, обладали максимальным сопротивлением теплопередаче. Ограничения данного пункта касаются архитектурного решения здания в части коэффициента остекленности фасадов и компактности здания, а также достижения предела в конструктивном исполнении повышенных значений сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций. Стоит отметить, что зависимость уменьшения теплопотерь от увеличения сопротивления теплопередаче не линейная. Увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций выше оптимальных значений дает минимальное снижение теплопотерь [16, 17].

Показатель $k_{вент}$ характеризует теплопотери через систему вентиляции и зависит от объема приточного воздуха в здание через систему вентиляции и воздуха, инфильтрующегося через ограждающие конструкции. Для жилых зданий количество

приточного воздуха определяется в зависимости от жилой площади здания и количества жителей. При увеличении жилой площади здания и количества людей увеличивается количество приточного воздуха, соответственно, увеличивается величина $k_{вент}$. Для уменьшения данной величины возможно использовать механизм рекуперации тепла в системе вентиляции здания, однако она может быть эффективно применена только в системе механической приточно-вытяжной вентиляции.

Показатель $k_{быт}$ характеризует бытовые теплопоступления от людей и оборудования и определяется жилой площадью здания и заселенностью квартир. Чем меньше кв.м общей площади приходится на одного жителя, тем выше бытовые теплопоступления и выше величина $k_{быт}$.

Показатель $k_{рад}$ характеризует теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные проемы за отопительный период. Зависит от площади и ориентации светопроемов по сторонам света. Чем больше площадь светопроемов, ориентированных по направлению наибольших теплопоступлений от солнечной радиаций, тем выше величина $k_{рад}$.

Коэффициент $\beta_{КПД}$ зависит от средней кратности воздухообмена и эффективности регулирования подачи теплоты в системе отопления в соответствии с условиями наружной среды.

Анализ компонентов формулы 2 показывает, что основными архитектурно-строительными элементами жилого здания, которые определяют его класс энергосбережения являются:

- сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций;
- компактность здания;
- коэффициент остекленности фасада здания как параметр, определяющий соотношение между площадью остекления фасада и площадью фасада здания;
- жилая площадь здания.

Стоит отметить, что изменение каждого из выше названных параметров может как увеличивать, так и уменьшать теплопотери.

Например, увеличение жилой площади здания, с одной стороны, увеличивает бытовые теплопоступления, с другой стороны, увеличивает вентиляционные теплопотери за счет увеличения объема воздуха в помещении. Энергетический баланс данного решения определяется климатическими условиями в зависимости от температуры приточного воздуха в помещении в течение отопительного периода.

Увеличение площади светопроемов, с одной стороны, увеличивает теплопотери за счет меньших значений сопротивления теплопередаче этих конструкций по отношению к наружным стенам, с другой стороны, увеличивает теплопоступления от солнечной радиации. Энергетический баланс данного решения определяется физическими характеристиками светопрозрачной конструкции (сопротивления теплопередаче и коэффициента пропускания солнечной радиации) и климатическими условиями места строительства.

Для оценки влияния выше названных параметров на энергоэффективность здания проведен расчет класса энергосбережения модельного жилого здания для различных климатических зон РФ (36 городов), которые характеризуются различными величинами градусо-суток отопительного периода (ГСОП) (от 1260 °С·сут для г. Сочи до 10600 °С·сут для г. Якутск).

В качестве типового здания был рассмотрен односекционный жилой дом с различным количеством этажей: 5, 10 и 20 этажей, неотапливаемым чердаком и подвалом (табл. 1). Для сравнения показателей принимался различный коэффициент остекленности фасада: 20, 40 и 60 %. Ограждающие конструкции подобраны таким образом, чтобы выполнялось комплексное и поэлементное требование СП 50.13330.2012 в зависимости от величины ГСОП. Вентиляция здания принята естественная через вентиляционные вытяжные шахты с притоком воздуха через аэрационные клапаны.

Таблица 1

Технико-экономические показатели модельных зданий

Показатель	Количество этажей		
	5	10	20
Отапливаемый объем, м ³	6485	12 970	25940
Отапливаемая (общая) площадь, м ²	2162	4323	8646
Жилая площадь, м ²	862	1723	3446
Общая площадь ограждающих конструкций, м ² , в том числе:	2268	3672	6480
- цокольное перекрытие, м ²	433	433	433
- чердачное перекрытие, м ²	433	433	433
- стены (80%), м ²	1119	2243	4089
- окна (20 %), м ²	280	562	1123

В качестве базового уровня для определения класса энергосбережения зданий приняты значения базовой удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий по СП50.13330, уменьшенные на 20 % для 2022 года согласно постановлению Правительства РФ от 25.01.2011 № 18 (ред. от 20.05.2017) (табл. 2).

Таблица 2

Нормируемая базовая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, Вт/м³·°С

	Этажность здания		
	5	10	20
Жилые многоквартирные здания	0,359·0,8 = 0,287	0,301·0,8 = 0,241	0,290·0,8 = 0,232

3. Результаты и обсуждение

Основные результаты расчета класса энергосбережения модельных зданий представлены в виде графиков на рис. 1 – 3. Точками на графиках обозначены 36 городов РФ, распределённые по различным значениям ГСОП (по оси абсцисс). По оси ординат отложены отклонения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, определенной по формуле (1) с учетом базовых величин табл. 2.

На рис. 1 представлены величины класса энергосбережения для жилых домов различной этажности (согласно табл. 1) с различными величинами коэффициента остекленности фасадов. Можно видеть, что коэффициент остекленности 60 % достижим только для зданий в 5 и 10 этажей при величине ГСОП 5500 и 1500 °С·сут, соответственно. Данное ограничение связано с невыполнением условия теплозащиты по комплексному требованию при базовых величинах сопротивления теплопередаче согласно СП 50.13330.

На рис. 2 приведен анализ изменения класса энергосбережения при увеличении сопротивления теплопередаче всех ограждающих конструкций на 50 % относительно базовой величины.

На рис. 3 приведены значения класса энергосбережения 5-ти этажного жилого дома при применении в системе вентиляции рекуперации тепла с коэффициентом рекуператора равным 0,5.

Анализ результатов показывает, что без применения дополнительных энергосберегающих мероприятий класс энергосбережения рассмотренных модельных жилых зданий не поднимается выше В (ниже -30 % отклонения от базовой величины). А к высоким классам относят от В+ и выше (ниже - 30 %).

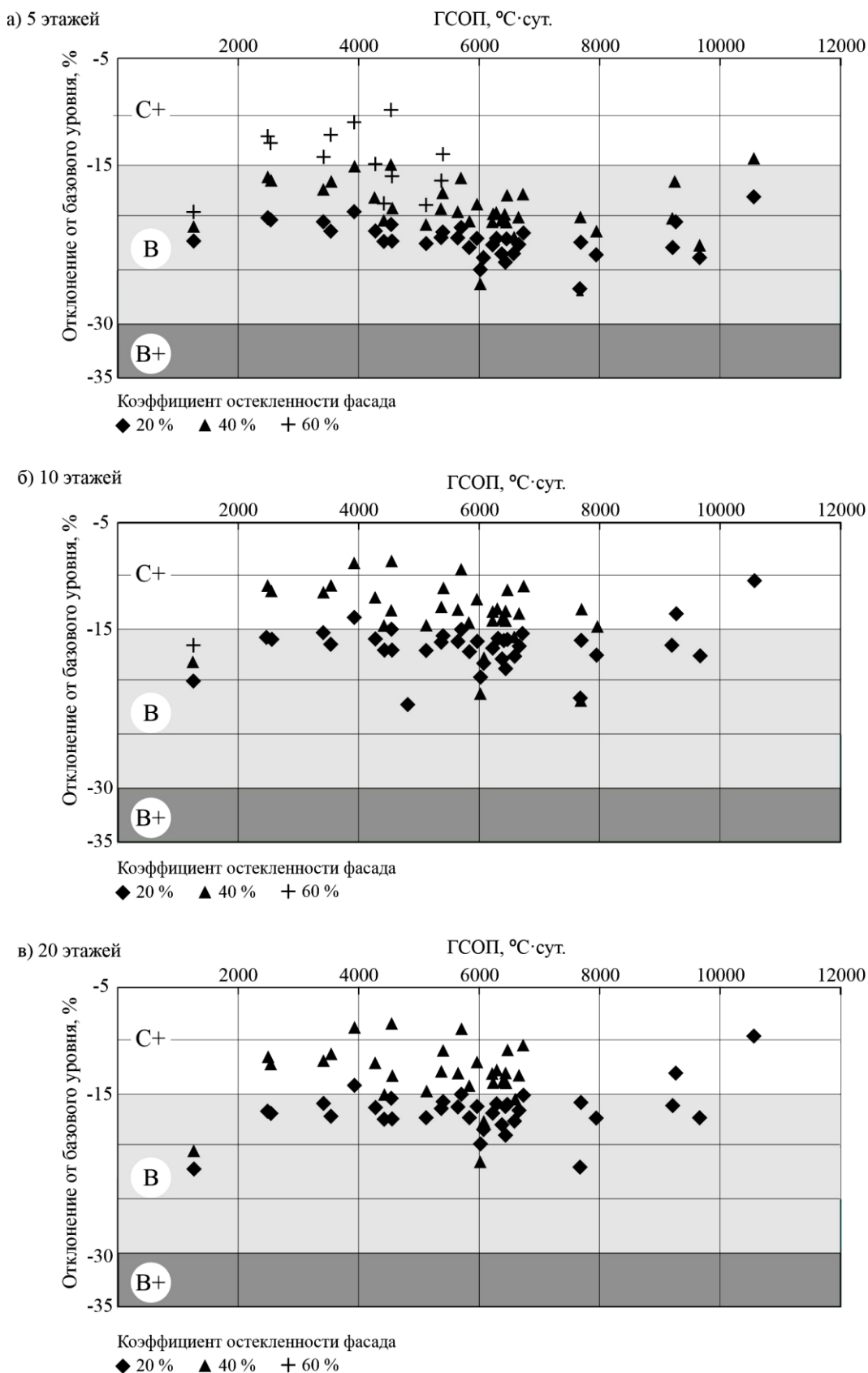


Рис. 1. Зависимость класса энергосбережения жилого многоквартирного здания от климатических условий при изменении этажности и коэффициента остекленности фасада (иллюстрация авторов)
 Fig.1. Dependence of the energy saving class of a residential multi-apartment building on climatic conditions with a change in the number of storeys and the coefficient of facade glazing (illustration by the authors)

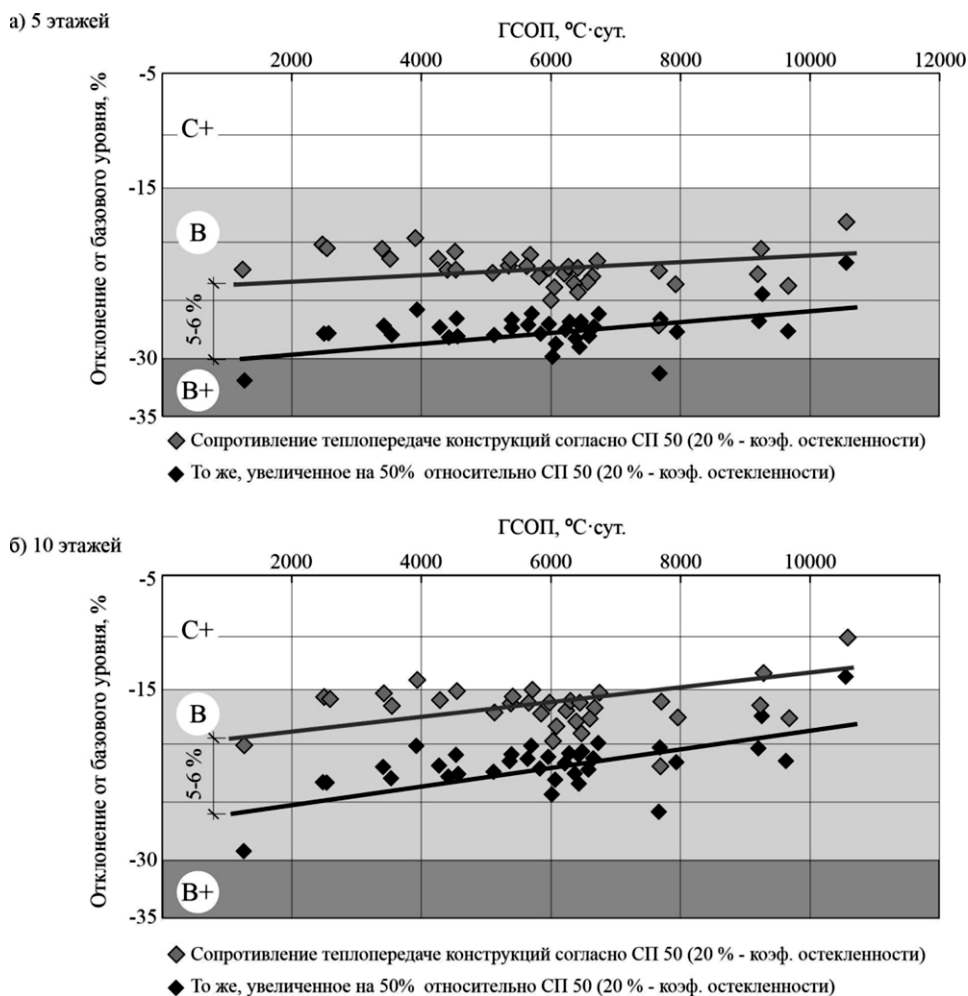


Рис. 2 . Зависимость класса энергосбережения жилого многоквартирного здания от климатических условий при изменении сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (иллюстрация авторов)
 Fig.2.Dependence of the energy saving class of a residential multi-apartment building on climatic conditions with a change in the resistance to heat transfer of enclosing structures (illustration by the authors)

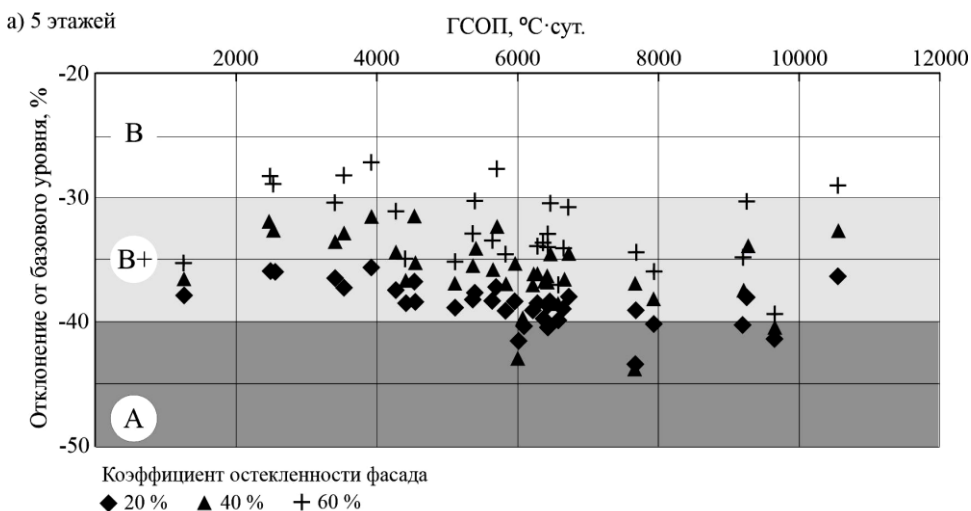


Рис. 3 . Зависимость класса энергосбережения жилого многоквартирного здания от климатических условий при изменении коэффициента остекленности фасада и применения механической приточно-вытяжной системы вентиляции с рекуперацией (иллюстрация авторов)
 Fig.3.Dependence of the energy saving class of a residential multi-apartment building on climatic conditions when the facade glazing coefficient changes and the use of a mechanical supply and exhaust ventilation system with recuperation (illustration by the authors)

Для 5-ти этажного здания в регионах с ГСОП до $10000^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ для коэффициента остекленности 40 % класс энергосбережения находится на уровне В. При увеличении коэффициента остекления до 60 % класс снижается до С+. Стоит отметить, что процент остекленности 60 % возможен только в регионах с ГСОП до $6000^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$. Для более высоких значений ГСОП при таком коэффициенте остекленности не выполняется комплексное требование теплозащиты здания.

Для 10, 20-ти этажных зданий достижение класса В возможно преимущественно при 20 % остекления, 40 % остекления дает класс С+. 60 % остекления не достижимо по комплексному требованию при сопротивлении теплопередаче всех ограждающих конструкций на уровне требуемой величины по СП 50.13330.

Для значений ГСОП меньше $2000^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ вне зависимости от коэффициента остекленности фасада класс энергосбережения модельного жилого здания остаётся на уровне В.

Без принятия дополнительных мероприятий по энергосбережению к 2023 году из-за уменьшения базы расчета класса энергосбережения еще на 20 % от действующих норм класс энергосбережения жилого здания не поднимется выше С.

В соответствии с действующими методиками расчета класса энергосбережения здания потенциал снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий лежит в увеличении сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и использовании механической приточно-вытяжной системы вентиляции в жилых зданиях при обязательном использовании рекуперации утилизированного тепла.

На рис. 2 показано изменение класса энергосбережения здания при увеличении сопротивления теплопередаче всех ограждающих конструкций на 50 % (до 150 % базового по СП 50.13330.2012). Видно, что изменение данного показателя на 50 % дает увеличение общего энергосбережения на 5 % и, соответственно, оставляет класс на прежнем уровне. Учитывая, что значительное увеличение сопротивления теплопередаче ограждений влечет за собой значительные конструктивные затраты, данная мера не может быть признанной эффективной.

На рис. 3 показано изменение класса энергосбережения жилого дома при использовании механической приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла. Коэффициент полезного действия рекуператора принят равным 0,5. При сопоставлении значений графика с данными, представленными на рис. 1а, становится очевидно, что использование рекуперации тепла дает снижение общего энергопотребления здания до 20 % с соответствующим повышением класса энергосбережения не менее чем на одну ступень по сравнению с естественной вентиляцией. Применение механической вентиляции в жилых многоквартирных домах дорогостоящее мероприятие, но сегодня практически отсутствуют другие возможности повышения энергоэффективности жилых зданий без использования альтернативных источников энергии.

Влияние ориентации зданий в климате России практически не играет существенной роли в повышении энергоэффективности здания. Это связано с тем, что для значительной части территории Российской Федерации в отопительный период величина поступления тепла от солнечной радиации незначительна и составляет от 10 до 20 % теплопотерь от вентиляции и теплопередачи через ограждающие конструкции.

4. Заключение

Выполненное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Изменение архитектурно-конструктивных параметров жилого многоквартирного здания в условиях климата Российской Федерации следующим образом влияет на класс энергосбережения здания:

- увеличение сопротивления теплопередаче всех ограждающих конструкций выше требуемых величин на 50 % приводит к увеличению общего энергосбережения на 5 %, т.е. практически не влияет на изменение класса энергосбережения;
- увеличение коэффициента остекленности фасада здания с 20 до 40 % практически для всех климатических зон РФ приводит к понижению класса энергосбережения здания;
- остекленность фасада 60 % достижима в регионах с величиной ГСОП ниже $6000^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ и зданий высотой до 5 этажей;

– влияние ориентации зданий в климате России практически не играет существенной роли в повышении класса энергосбережения здания.

2. Использование рекуперации тепла в системе механической приточно-вытяжной вентиляции дает снижение общего энергопотребления здания до 20 % с соответствующим повышением класса энергосбережения не менее чем на одну ступень по сравнению с естественной вентиляцией.

Список литературы / References

1. Bashmakov I. Improving the Energy Efficiency of Russian Buildings // *Problems of Economic Transition*, 2016. Vol. 58. P. 1096-1128. DOI: 10.1080/10611991.2016.1316099.
2. Haider A., Dharmappa H. and Swapan S. 2019 Energy conservation in residential buildings by incorporating Passive Solar and Energy Efficiency Design Strategies and higher thermal mass // *Energy and Buildings*, 2019. Vol. 182. P. 205-213. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.09.036
3. Ionescu C., Baracu T., Vlad G-E., Necula H. and Badea A. The historical evolution of the energy efficient buildings // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. Vol. 49 . P. 243-253. DOI: 10.1016/j.rser.2015.04.062
4. Bataineh K. Improving the Energy Efficiency of the Residential Buildings in Jordan // *Buildings*, 2018. Vol. 8. P. 85. DOI: 10.3390/buildings8070085
5. Горшков А. С., Ракова К. М., Мусорина Т. А. и др. Проект здания с низким потреблением тепловой энергии на отопление // *Строительство уникальных зданий и сооружений*, 2015. № 4(31). С. 232-247. [Gorshkov A. S., Rakova K. M., Musorina T. A. et al. Project of a building with low consumption of thermal energy for heating // *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*, 2015. № 4(31). P. 232-247].
6. Corrado V. 2018 Energy efficiency in buildings research perspectives and trends // *Thermal Science*, 2018. Vol. 22. P. 971-976.
7. Гагарин В. Г., Козлов В. В., Лушин К. И., Плющенко Н. Ю. Учет теплопроводных включений и вентилируемой прослойки при расчетах сопротивления теплопередаче стены с навесной фасадной системой (НФС) // *Строительные материалы*, 2016. № 6. С. 32-35. [Gagarin V. G., Kozlov V. V., Lushin K. I., Plushenko N. Yu. Accounting for heat-conducting inclusions and a ventilated layer when calculating the heat transfer resistance of a wall with a hinged facade system (HFS) // *Stroitelnyye materialy*, 2016. № 6. P. 32-35].
8. Самарин, О. Д. Оценка удельных теплопоступлений от солнечной радиации для расчета класса энергосбережения здания // *Жилищное строительство*, 2020. № 4-5. С. 3-6. DOI 10.31659/0044-4472-2020-4-5-3-6. [Samarin, O. D. Evaluation of specific heat inputs from solar radiation for calculating the energy saving class of a building // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2020. № 4-5. P. 3-6. DOI 10.31659/0044-4472-2020-4-5-3-6].
9. Ivantsov A., Sirazitdinov V. Analysis of light comfort and thermal protection of a building taking into account changes in the geometry of the window slope // *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2021. Vol. 169. P. 80-89. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_9
10. Дворецкий А. Т., Клевец К. Н. Пассивный солнечный нагрев здания // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*, 2015. № 3(11). С. 85-91. [Dvoretzky, A. T. Passive solar heating of a building // *Biosfernaya sovmetimost: chelovek, region, tekhnologii*, 2015. № 3(11). P. 85-91].
11. Friess W. A., Rakhshan K. 2017 A review of passive envelope measures for improved building energy efficiency in the UAE // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. Vol. 72. P. 485-496.
12. Самарин О. Д., Бызов Н. И. Возможности повышения класса энергосбережения общественных зданий за счёт теплоутилизации в системах вентиляции // *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*, 2017. № 3(183). С. 72-75. [Samarin O. D., Byzov N. I. Possibilities of increasing the energy saving class of public buildings due to heat recovery in ventilation systems // *Santekhnika, Otopleniye, Konditsionirovaniye*, 2017. № 3(183). P. 72-75].
13. Суринов Д. Ю. Повышение энергоэффективности зданий за счет рекуперации вентилируемого воздуха // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Посвящена 165-летию В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический*

- университет им. В.Г. Шухова, 2018. С. 4454-4458. [Surinov D.Yu. Increasing the energy efficiency of buildings due to the recuperation of ventilated air // Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova : Posvyashchena 165-letiyu V.G. Shukhova, Belgorod, 01–20 maya 2018 goda. – Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2018. P. 4454-4458].
14. Сиразетдинов Р. М., Мавлютова А. Р., Асадуллина Р. Р. Применение инновационных энергоэффективных технологий как эффективный способ снижения эксплуатационных затрат объектов недвижимости (на примере внедрения системы рекуперации воздуха) // Российское предпринимательство, 2016. Т. 17. № 21. С. 2963-2970. DOI 10.18334/rp.17.21.36924. [R. M. Sirazetdinov, A. R. Mavlyutova, R. R. Asadullina The use of innovative energy-efficient technologies as an effective way to reduce the operating costs of real estate objects (on the example of introducing an air recuperation system) // Rossiyskoye predprinimatelstvo, 2016. V. 17. № 21. P. 2963-2970. DOI 10.18334/rp.17.21.36924].
15. Пастушков П. П., Павленко Н. В., Гринфельд Г. И. Реализованный проект дома с однослойной ограждающей конструкцией из автоклавного газобетона класса энергосбережения "А" // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2020. № 3-4(254-255). С. 20-21. [Pastushkov P. P., Pavlenko N. V., Grinfeld G. I. Implemented project of a house with a single-layer enclosing structure made of autoclaved aerated concrete of energy saving class "A" // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka, 2020. № 3-4 (254-255). P. 20-21].
16. Гагарин В. Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы, 2008. № 8. С. 41-47. [Gagarin V. G. Economic analysis of increasing the level of thermal protection of enclosing structures of buildings // Stroitelnye materialy, 2008. № 8. P. 41-47].
17. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // Энергия: экономика, техника, экология, 2012. № 5. С. 25-32. [Gagarin V. G., Kozlov V. V. Prospects for improving the energy efficiency of residential buildings in Russia // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya, 2012. № 5. P. 25-32].

Информация об авторах

Иванцов Алексей Игоревич, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: ivantsov.arch@mail.ru

Петров Артем Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Российская Федерация

Email: ruarty@mail.ru

Information about the authors

Aleksey I. Ivantsov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia.

Email: ivantsov.arch@mail.ru

Artem S. Petrov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia.

Email: ruarty@mail.ru