СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ.ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ.

УДК 728.1:[699.86+628.8](470.3)

DOI:10.22227/2305-5502.2021.3.4

Обоснование возможности строительства пассивных многоэтажных жилых зданий в климатических условиях Центральной России

А.И. Цыганов

Главное управление МЧС России по Московской области; Московская область, г. Химки, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Без решения энергетического вопроса невозможно решить глобальные экологические проблемы. Необходимо расширять энергетический сектор и переходить на энергосберегающие технологии. Производство энергии является одним из источников негативного воздействия на окружающую среду и человека. Выброс углекислого газа в атмосферу, сброс загрязненных жидких отходов в реки, создание огромных водохранилищ, потепление водоемов, истощение топливных ресурсов, вырубка лесов, выброс токсичных веществ в атмосферу и воду, захоронение радиоактивных отходов — вот далеко не полный перечень негативного воздействия энергетического сектора на окружающую среду. В конце XX в. человечество, наконец, осознало, насколько серьезна проблема увеличения количества углекислого газа в атмосфере. Слияние этих двух вопросов — защиты окружающей среды и сохранения природных ресурсов — привело к повышению требований к строительству зданий в части их теплоизоляции, и как следствие, к снижению потребления энергии на отопление и внедрению замкнутого энергетического цикла на заводах. В статье рассмотрены особенности строительства пассивных многоэтажных домов в различных климатических условиях Российской Федерации. Описана проблема энергосбережения и тепловой защиты зданий в строительстве. Приведен расчет энергопотребления пассивных зданий в климатических условиях Центральной России.

Материалы и методы. В настоящее время расчет удельного расхода тепла на отопление всех типов зданий в отопительный сезон в России осуществляется в соответствии с приложением Г СНиП 23-02-2003 (СП 50.13330.2010). Кроме того, используется национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 55656–2013 «Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений», который был разработан, утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1211-ст от 25.10.2013. В настоящий стандарт внесены изменения в связи с международным стандартом ISO 13790:2008. Настоящий российский стандарт представляет собой нормативный документ по расчету годовых затрат тепловой и электрической энергии на поддержание микроклимата в помещениях при их отоплении или охлаждении.

Результаты. В связи с развитием технологий строительный рынок сейчас предлагает дома с бесшовными фасадами и улучшенной звуко- и теплоизоляцией. К ним относятся монолитно-каркасные дома с хорошей теплоизоляцией, поскольку монолитный бетон, который заливается прямо в опалубку на строительной площадке, облицовывается теплоизоляцией на основе стекловаты и обшивается фасадными панелями, что снижает тепловые потери здания.

Выводы. Анализ метода расчета энергопотребления зданий свидетельствует о том, что этот метод достаточно эффективен для определения потребности в тепле систем отопления. Расчет позволяет определить тепловые потери, связанные с передачей тепла через внешнюю оболочку здания, и потребность в тепловой энергии. Другими словами, используя для расчета данные для каждой климатической зоны, подбирая материалы и их толщину для ограждающих конструкций, учитывая солнечную энергию и правильно используя современные приточно-вытяжные системы, строительство зданий с повышенной энергоэффективностью в климатических условиях Центральной России возможно и реально.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергосбережение, пассивный дом, здание, тепловые потери, тепло, температура, энергоресурсы, утепление

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Цыганов А.И. Обоснование возможности строительства пассивных многоэтажных жилых зданий в климатических условиях Центральной России // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 3. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.4

Justification of the possibility of constructing passive multi-story residential buildings in the climatic conditions of Central Russia

Alexander I. Tsyganov

Main Department of the Russian Ministry of Emergency Situations for the Moscow Region;
Moscow Region, Khimki, Russia Federation

ABSTRACT

Introduction. We won't be able to solve global ecological problems without solving the energy issue. It is necessary to expand the energy sector and switch to energy saving technologies. Power generation is among sources of negative impacts on the environment and man. The emission of carbon dioxide into the atmosphere, discharge of polluted liquid waste into rivers, creation of huge water reservoirs, warming of water bodies, depletion of fuel resources, deforestation, emission of toxic substances into the atmosphere and water, burial of radioactive waste — this list of negative impacts, produced by the energy sector on the environment, is not exhaustive. At the end of the 20th century, humanity finally realized how serious the problem of carbon dioxide in the atmosphere was. The consolidation of these two issues, namely, environmental protection and conservation of natural resources, tightened the requirements for the construction of buildings in terms of thermal insulation, reduction of energy consumption for heating, and introduction of a closed power cycle at production facilities. The article deals with construction of passive multi-storey houses in different climatic conditions of the Russian Federation. The problem of energy saving and thermal insulation of buildings in construction is addressed. The analysis of energy consumption by passive buildings in the climatic conditions of Central Russia is made..

Materials and methods. Currently, heating consumption by all types of buildings during the heating season in Russia is analyzed in accordance with Annex G of SNiP 23-02-2003. In addition, a national standard of the Russian Federation was developed, approved and put into effect by Decree of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 1211-st dated October 25, 2013. This standard is amended in relation to ISO 13790:2008. This Russian standard is a regulatory document on annual heat and electricity costs of maintaining the microclimate on heated or cooled premises.

Results. The technology has advanced, and now the construction market offers houses with seamless facades and improved sound and heat insulation. These are monolithic frame houses with good thermal insulation, since monolithic concrete is poured directly into the formwork on the construction site, lined with glass wool thermal insulation and clad with facade panels, which reduces heat loss from a building.

Conclusions. The analysis of the energy consumption calculation method has proven an efficient tool to determine the heat demand of heating systems. The calculation allows to determine heat losses associated with the transfer of heat through an external envelope and the need for thermal energy. In other words, given that the data for each climatic zone is correct, including selected construction materials, thickness of enclosure structures with account for solar energy, and the proper use of modern intake-exhaust systems, the construction of buildings, featuring higher energy efficiency in the climatic conditions of Central Russia, is possible and absolutely realistic.

KEYWORDS: energy saving, passive house, building, heat loss, heat, temperature, energy resources, insulation

FOR CITATION: Tsyganov A.I. Justification of the possibility of constructing passive multi-story residential buildings in the climatic conditions of Central Russia. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2021; 11(3):4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.4 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

КПД электростанций составляет всего около 30 %, при этом 70 % топлива сжигается, а 10 % выбрасывается в виде горячего газа. Атомные электростанции гораздо более эффективны, что объясняет широкое распространение этого сектора энергетики в европейских странах; однако в последние десятилетия эта форма энергии оказалась под серьезным давлением из-за повышенных требований к безопасности и проблем с утилизацией отходов. Кроме того, стоимость электроэнергии для потребителей очень высока, что вынуждает экономить практически на всех видах энергии [1].

Развитие гидроэнергетики достигло той точки, когда практически не осталось пойм, пригодных для строительства плотин с необходимым геологическим рельефом. Прогнозы экспертов мрачны: запасы природного топлива будут исчерпаны в течение ближайших пятидесяти лет. В 1970-х годах в Европе разразился серьезный энергетический

кризис, и начался поиск альтернативных источников энергии — солнечной, ветровой, океанских приливов и геотермальной [2]. Россия обладает огромными запасами нефти, угля и газа, они позволяют производить самую дешевую электроэнергию в мире. Многие европейские страны вынуждены экспортировать природный газ, что многократно увеличивает стоимость энергии для конечного потребителя — фактор, который, вероятно, заставит европейцев быть экономными.

На этом фоне энергосберегающие технологии США, Европы, Канады, Японии, Китая и других промышленно развитых стран находятся далеко впереди, но и у России есть огромный потенциал, чтобы догнать и даже превзойти их, благодаря мощной поддержке науки. Основная задача — строительство новых объектов в соответствии с новыми утвержденными стандартами, согласно СП 50.13330.2010 (актуализированная редакция

СНиП 23-02-2003)¹, и реконструкция старого жилого фонда с применением современных систем теплоизоляции.

Основные проблемы в энергосбережении и теплоизоляции зданий кроются в типе и материалах, используемых в России для строительства зданий в прошлом веке.

В послевоенный период необходимо было как можно быстрее восстановить страну, чтобы у людей была крыша над головой. Решением в то время стали железобетонные плиты, и были возведены пятиэтажные здания — «хрущевки». Более поздние 9-этажные здания были построены с перекрытиями, которые почти не сохраняют тепло и плохо герметизированы за счет щелей между перекрытиями [3]. Затем появились бревенчатые дома, которые первыми начали утеплять. Только в середине 1970-х годов в России начали строить улучшенные серии домов с использованием более качественных плит, которые постепенно вытеснялись новыми модификациями высотных зданий — домами из монолитных плит [4]. Они состояли из монолитного каркаса, обшитого легкими панелями, которые не только изменили внешний вид города, придав ему различные стили и цвета, но и улучшили его теплоизоляционные свойства.

Большая часть энергоресурсов страны используется для отопления и электроснабжения жилых и офисных зданий — от 40 до 60 % по предварительным данным. Эти цифры показывают, где энер-

госберегающие технологии должны внедряться в первую очередь [5].

По оценкам, за счет снижения затрат на отопление общее энергопотребление здания может быть снижено на 50–60 %. Россия — огромная страна с несколькими часовыми поясами и климатическими зонами. За исключением южных регионов, где климат довольно мягкий, в большинстве регионов России довольно холодный климат с сильными сезонными колебаниями, и отопление помещений является одной из самых актуальных проблем в России.

Без отопления, которое в северных районах страны доступно круглый год, невозможно жить, работать, учиться или отдыхать.

Энергоэффективным домом можно назвать такой, где потери тепла возможно уменьшить минимум на 30 %. В зданиях любой конструкции, как показано на рис. 1, основные теплопотери происходят через ограждающие конструкции (стены, крышу, перекрытия, фундамент), окна, вентиляцию.

Как видно из рис. 1, большая часть тепла теряется через окна. Поэтому важно ориентировать дом на юг и отводить как можно больше оконных проемов для солнечных лучей. Таким образом, солнечная радиация становится дополнительным источником тепла. Крыша и свесы крыши должны быть спроектированы таким образом, чтобы они не отбрасывали тени при дневном свете, но защищали окна и стены от дождя и перегрева и позволяли воде и снегу естественным образом стекать с крыши [6]. Сами окна должны быть изготовлены из высококачественного стекла с низким содержанием вредных веществ, заполненного инертным газом. Оконные

Рис. 1. Теплопотери здания

и дверные проемы должны быть дополнены тепло-изоляционными вставками².

Теплоизоляция стен предусматривает использование всех вариантов композитных стен, т.е. стен, состоящих из нескольких слоев. Многие современные, относительно новые материалы для изоляционных конструкций наружных стен еще даже не стандартизированы. Существует два основных метода изоляции.

Первый — это так называемый «мокрый», или «гипсовый», метод с использованием гипсовых растворов. Второй метод — это «сухой», или «вентилируемый», фасад, в котором используются навесные конструктивные элементы, создающие воздушное пространство между наружной стеной и изоляцией. В вентилируемом фасаде внешняя облицовочная панель защищает стену от внешних воздействий, осадков и механических нагрузок. Влага, которая накапливается в массе здания и внутри него, выводится в вентилируемую зону [7].

Этот пароизоляционный эффект надежно защищает здание от конденсата, пара и влаги и создает приятный микроклимат в помещении. Изоляция, установленная под фасадом, снижает потери тепла в 2–3 раза, а срок службы здания увеличивается за счет сокращения циклов замерзания. Второй штукатурный метод утепления несущих конструкций является наиболее популярным для малоэтажного строительства и реконструкции старых зданий, так как позволяет восстановить первоначальный вид с помощью слоя штукатурки и защитить фундамент от дополнительных нагрузок, связанных с реконструкцией.

Кроме того, этот метод является наиболее экономичным, поскольку, в отличие от вентилируемого фасада, не нужно устанавливать металлический каркас [8]. Как и каркасный фасад, этот тип изоляции также позволяет влаге беспрепятственно уходить внутрь, чтобы дом мог «дышать».

Крыши, полы и фундаменты также должны быть изолированы ветро- и пароизоляционными пленками, которые защищают изоляцию от поступления влаги снаружи. Кроме того, для утепления дома можно использовать не только базальтовые минеральные плиты, но и керамзит, пенку, пенополистирол, теплоизоляционную штукатурку и краску. Комплекс мер по повышению энергоэффективности дома позволяет обеспечить энергетический баланс между потерями тепла при вентиляции и выработкой тепла за счет солнечной энергии, отопления и внутренних источников тепла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Когда речь идет об энергоэффективных домах, то часто их называют «нулевыми», «активными» или

«пассивными домами», так как затраты на содержание и эксплуатацию стремятся привести к нулю³. Но возможно ли полностью обеспечить себя электроэнергией, не зависящей от внешних энергосетей, или отказаться от отопления, используя только гелиоколлекторы и солнечное тепло? Также существует мнение, что пассивный дом — это дом с экстраутеплением⁴. Мнений много, и отчасти они правильны в том, что это — добровольный строительный стандарт, на который следует ориентироваться при возведении зданий со сверхнизким энергопотреблением.

В Германии в 1996 г. был основан Институт пассивного дома, и создателем концепции стал доктор Вольфганг Файнст, который сформулировал свою идею так: «Пассивный дом — это здание, в котором тепловой комфорт может быть достигнут путем дополнительного нагрева или охлаждения небольшого количества приточного воздуха, который требуется для достижения нормируемых характеристик качества воздуха — без необходимости дополнительной рециркуляции воздуха» [9].

Чем отличается пассивный дом от «активных» энергоэффективных домов? Согласно разрабатываемой классификации Вольфганга Файнста, по затратам на энергопотребление можно выделить несколько групп зданий, показанных на рис. 2.

Чаще всего энергосберегающие технологии используются в частных домах, но принцип построения применим и для многоэтажных домов⁵. Примеров уже немало. Самый высокий пассивный жилой дом находится в портовой части Гамбурга в Германии, в районе морского порта Hafencity (рис. 3). Разрез данного пассивного дома показан на рис. 4.

Здание включает в себя 45 квартир, шесть жилых и два подземных этажа для автостоянки. Высота потолков от 2,25 м до 2,5 м. Ориентация всех жилых помещений преимущественно южная, и окна выходят на живописную гавань.

Теплоснабжение дома в отопительный период с ноября по март осуществляется от котельной, расположенной на чердаке дома, в качестве топлива используется газ. Фотоэлектрические панели смонтированы в фасадные солнцезащитные ставни⁶.

³ Дачник А. Пассивный дом: здание без традиционных систем отопления. URL : <http://dom.dacha-dom.ru/passivny-dom.shtml>

⁴ Бродач М.М. Энергетически пассивный многоэтажный жилой дом. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5432

⁵ Энергосберегающий дом: соблюдение энергобаланса, проектирование, принципы возведения. URL: https://m-strana.ru/articles/energoberegayushchiy-dom/?utm_source=copy&utm_medium=direct&utm_campaign=copy_from_site

⁶ Бутцев Б. Энергосберегающий дом — что это такое. URL: <https://www.houzz.ru/statyi/energoberegayushchiy-dom-sovremennye-trebovaniya-stsetivw-vs-97682420>

² Записки из пассивного дома. URL: https://www.icsgroup.ru/library/publications/passive_house/

Рис. 2. Классификация зданий по затратам на энергопотребление

Рис. 3. Пассивный дом в Гамбурге архитектора J. Reinig

Удельное теплотребление дома на отопление и вентиляцию за отопительный период составляет $15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$, дом позволяет снизить связанное с энергопотреблением отрицательное воздействие на окружающую среду в 10 раз [10].

Архитектор дома Joachim Reinig в настоящее время является членом палаты архитекторов Гамбурга и разрабатывает много проектов по сохране-

нию памятников архитектуры, жилых домов эпохи Вильгельма и неоготических храмов [11].

Еще одним примером дома с положительным балансом, или «активным» домом, является многоквартирный дом, построенный во Франкфурте-на-Майне (рис. 5).

Площадь 8-этажного здания — 8500 м^2 . Здание демонстрирует идеальную комбинацию энер-

Рис. 4. Разрез пассивного дома в Гамбурге архитектора J. Reinig

гоэффективности по принципу пассивного дома и активной генерации энергии из возобновляемых источников энергии по принципу активного дома.

На кровле здания площадью 1500 м² установлено около 1 тыс. солнечных батарей, и еще 330 батарей установлено на фасаде, что позволяет полностью обеспечивать жильцов энергией на отопление, бы-

товые нужды, горячее водоснабжение, лифт и даже электротранспорт.

Фасады представляют собой стены толщиной 47 см на северном фасаде с отделкой этернитом и толщиной 55 см на южном фасаде со стеклянными PV-модулями и вентилируемой прослойкой [12].

Особенностью этого проекта является наличие в каждой квартире модуля контроля энергии, что позволяет спланировать свои затраты на электроэнергию, уменьшить затраты на электричество, а также самостоятельно поддерживать комфортный микроклимат в помещениях [13].

Проекты зданий должны отличаться друг от друга в зависимости от того, в какой климатической зоне они выстроены: в центральном регионе страны, в южных широтах или в северных районах.

Типовые универсальные серии, способные хорошо функционировать в любых условиях, не выгодны с экономической точки зрения, и по этой причине проект всегда необходимо разрабатывать с учетом особенностей климата конкретного региона.

На территории России находятся четыре климатические зоны и особая зона (рис. 6):

- 1-я зона — области и районы южной территории РФ;
- 2-я зона — области и республики, расположенные на западе и северо-западе РФ, а также Приморский край;
- 3-я зона — западная часть страны, Сибирь и Дальний Восток, за исключением нескольких северных районов, которые входят в 4-ю зону;
- 4-я зона — северные районы Сибири, Дальнего Востока и Урала, а также Якутия, т.е. районы, которые территориально расположены ниже полярного круга;
- особая зона — районы, которые расположены за полярным кругом, а также севернее северной широты 60°, сюда же относится Чукотка.

Рис. 5. Жилой дом с положительным балансом во Франкфурте-на-Майне Aktiv-Stadthaus

На рис. 6 представлены климатические зоны и пояса России⁷.

В табл. представлены среднегодовые температуры воздуха зимой и летом по каждому климатическому поясу и области России.

Из рис. 6 видно, что климат в целом в России достаточно холодный, и практически во всех зонах преобладают низкие отрицательные температуры в зимний период, а значит, без отопления жить там невозможно [14]. Другими словами, энергоэффективность актуальна на всей территории России, а умеренный пояс в трех областях континентального климата и муссонного климата наиболее густо населен и занимает большую территорию России. Поэтому строительство пассивных домов будет актуально во 2-й, 3-й и 4-й климатических зонах России, а также в особой зоне, расположенной за полярным кругом, которая очень мало населена из-за сурового климата и оторванности от энергоресурсов. Просто необходимо разработать новую концепцию строительства, при котором здание должно быть «активным» с позитивным энергетическим балансом, чтобы обеспечивать себя элек-

троэнергией самостоятельно от возобновляемых источников [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение затрат на отопление здания при помощи расчета потерь тепла при передаче тепла через внешнюю оболочку и потребность в тепле.

Согласно российскому стандарту, средняя температура для отопления площади здания, °С, рассчитывается по формуле (1):

$$t_{в,от} = \frac{\sum_i A_{общ,i} t_{в,от,i}}{\sum_i A_{общ,i}}, \quad (1)$$

где $t_{в,от,i}$ — заданная температура для отопления помещения, °С; $A_{общ,i}$ — общая площадь отапливаемого помещения, м².

Среднюю температуру для охлаждения зоны здания, °С, вычисляют по формуле (2):

$$t_{в,охл} = \frac{\sum_i A_{общ,i} t_{в,охл,i}}{\sum_i A_{общ,i}}, \quad (2)$$

где $t_{в,охл,i}$ — заданная температура для охлаждения помещения, °С; $A_{общ,i}$ — общая площадь охлаждаемого помещения, м².

В многозональной системе отопления и/или охлаждения потребность в энергии равна сумме

⁷ Климат России: типы, влияющие факторы, климатические пояса, температурная карта, характеристики и особенности распределения. URL: <https://bezpalatki.ru/klimat-rossii-%ef%b8%8f-tipy-vliyayushhie-factory-klimaticheskie-poyasa-temperaturnaya-karta-karakteristiki-i-osobennosti-raspredeleniya/>

Рис. 6. Климатические пояса и области России

Характеристика климатических поясов и областей России

Пояс	Область	Географическое положение	Условия формирования	Температура, °С	Осадки, мм/г	$K_{увл}$
Арктический		Острова Северного Ледовитого океана и его сибирское побережье	Господствует арктический воздух (АВ), длинная полярная ночь, антициклоны	–24...–30 2–5	200–300	>1
Субарктический		Русская и Западно-Сибирская равнина за полярным кругом, до 60° в Восточной Сибири	Малое испарение	4–12	200–400	>1
Умеренный	Континентальный климат	Западная Сибирь	Континентальный умеренный воздух (кУВ) в широтном направлении, АВ и континентальный тропический воздух (кТВ) в меридианальном направлении	–15...–25 15–26	600 (на С), 200 (на Ю)	>1 на С, <1 на Ю
	Резко континентальный климат	Восточная Сибирь	кУВ, малая облачность, малоснежность	–25...–45 16–20	>500	1
	Умеренно-континентальный климат	Европейская часть России	Западный перенос (морского умеренного воздуха (мУВ))	–4...–20 12–24	500–800	>1 на С, <1 на ЮВ
	Муссонный климат	Юг Дальнего Востока	Летний и зимний муссоны	–15...–3 10–20	600–800	>1

потребностей в энергии, рассчитанных для отдельных зон [16]. Потребность здания равна сумме энергопотребления, рассчитанного для отдельных зон.

Тепловые потоки извне в здание, или наоборот, и из зоны в зону за счет теплопередачи рассчитываются с учетом уменьшенного термического сопротивления комплекта наружной оболочки (3):

$$K_{тр} = \frac{\frac{\sum A_{нс}}{R_{нс}} + \frac{\sum A_{пк}}{R_{пк}} + \frac{\sum n_{чп} A_{чп}}{R_{чп}} + \frac{\sum A_{хп}}{R_{хп}} + \frac{\sum A_{пк}}{R_{пк}} + \frac{\sum n_{пк} A_{пк}}{R_{пк}} + \frac{\sum A_{ок}}{R_{ок}} + \frac{\sum A_{ф}}{R_{ф}} + \frac{\sum A_{дв}}{R_{дв}}}{A_{орг}}, \quad (3)$$

где $A_{нс}$, $A_{пк}$, $A_{чп}$, $A_{хп}$, $A_{пк}$, $A_{ок}$, $A_{ф}$, $A_{дв}$ — площади наружных стен; покрытий; чердачных перекрытий, полов над арками; под эркерами и других видов холодных полов (с температурой ниже, чем в рассматриваемой зоне на 6 °С и более); перекрытий над неотапливаемыми подвалами; окон и витражей в наружных стенах, световых фонарей, входных дверей в здание и других наружных дверей, м²; $R_{нс}$, $R_{пк}$, $R_{чп}$, $R_{хп}$, $R_{пк}$, $R_{ок}$, $R_{ф}$, $R_{дв}$ — сопротивление теплопередаче наружных стен; покрытий; чердачных перекрытий, полов над арками, под эркерами и других видов холодных полов (с температурой ниже, чем в рассматриваемой зоне на 6 °С и более), перекрытий над неотапливаемыми подвалами, окон и витражей в наружных стенах, световых фонарей, входных дверей в здание и других наружных дверей, м²·°С/Вт; $n_{чп}$, $n_{пк}$ — коэффициенты положения относительно наружного воздуха чердачных перекрытий и полов над неотапливаемыми подвалами;

$A_{орг}$ — общая площадь наружных поверхностей всех наружных ограждающих конструкций, принятых для суммирования в формуле (3), м².

Общие трансмиссионные теплопотери здания или его зоны за отопительный период $Q_{\Sigma тр}$, МДж, вычисляются по формуле (4):

$$Q_{\Sigma тр} = 0,0864 K_{тр} A_{орг} (t_{о,п} - t_{в,о,п}) z_{о,п}, \quad (4)$$

где $K_{тр}$ — приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С); $A_{орг}$ — общая площадь наружных поверхностей всех наружных ограждающих конструкций, принятых для суммирования в формуле (3), м²; $t_{о,п}$ — средняя температура отопительного периода, °С; $t_{в,о,п}$ — расчетная температура внутреннего воздуха для отопления зоны, °С, определяется по формуле (1).

Расход теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха при отоплении здания или его зоны $Q_{\Sigma инф}$, МДж, производят по формуле (5):

$$Q_{\Sigma \text{тр}} = 0,024 G_{\text{инф}} c A (t_{\text{в,оп}} - t_{\text{оп}}) k z_{\text{оп}}, \quad (5)$$

где $G_{\text{инф}}$ — расход инфильтрационного воздуха, кг/(ч · м), через воздухопроницаемый элемент здания (окно, витраж, дверь); c — теплоемкость воздуха, $c = 1,006$ кДж/(кг·°C); $t_{\text{в,оп}}$ — расчетная температура внутреннего воздуха для отопления зоны, °C, определяется по формуле (1); $t_{\text{оп}}$ — средняя температура отопительного периода, °C; $z_{\text{оп}}$ — продолжительность отопительного периода, сут; k — коэффициент учета влияния встречного теплового потока в воздухопроницаемых конструкциях, равный:

0,7 — для окон, балконных дверей с тройными разделительными переплетами;

0,8 — для окон, балконных дверей с двойными разделительными переплетами;

0,9 — для окон, балконных дверей со спаренными переплетами;

1 — для окон, балконных дверей с одинарными переплетами.

Потребность в тепле для воздушного отопления для часто открываемых дверей и ворот (при расчете теплопотерь, через которые в проекте предполагается наддув холодного воздуха) увеличивается в 1,5–2 раза в зависимости от предполагаемой продолжительности открывания дверных проемов.

Расход инфильтрационного воздуха $G_{\text{инф}}$, кг/(ч·м), через воздухопроницаемый элемент здания (окно, витраж, дверь в закрытом состоянии) составляет:

- через окна, витражи, витрины, зенитные фонари, балконные двери;

$$G_{\text{инф}} = (1 / R_{\text{инф,ок}}) \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{2/3}, \quad (6)$$

- через входные двери и ворота

$$G = (1 / R_{\text{инф,дв}}) \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{1/2}, \quad (7)$$

где $R_{\text{инф,ок}}$ — приведенное сопротивление воздухопроницанию окна, м·ч/кг, при $\Delta P = 10$ Па, принимается по проекту. При отсутствии данных можно принимать величину, соответствующую требуемой по СП 50.13330.2010 (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003). Для балконных дверей лестничных клеток и лифтовых холлов в переходах через наружную воздушную зону принимают для одинарной двери — $R_{\text{инф,ок}} = 0,47$ м·ч/кг, для двойной двери с тамбуром — $R_{\text{инф,дв}} = 0,94$ м·ч/кг при $\Delta P = 10$ Па; $R_{\text{инф,дв}}$ — приведенное сопротивление воздухопроницанию входных дверей или ворот, м·ч/кг, при $\Delta P = 10$ Па; для дверей индивидуальных входов в квартиры первых этажей многоэтажных зданий — $R_{\text{инф,дв}} = 0,5$ м·ч/кг, для редко открываемых дверей — $R_{\text{инф,дв}} = 0,3$ м·ч/кг, для дверей входов в общественные жилые здания, магазины и в другие объекты с массовым проходом людей — $R_{\text{инф}} = 0,14$ м·ч/кг; ΔP — разность давлений, Па, по обе стороны воздухопроницаемого элемента; ΔP_0 — разность давлений,

принятая для определения требуемого сопротивления воздухопроницанию $\Delta P_0 = 10$ Па.

Расчетная разность давлений ΔP_0 , Па, по разные стороны воздухопроницаемого элемента здания складывается из гравитационного и ветрового давления за вычетом внутреннего давления в помещении и определяется по формуле (13) при расчетных температурах наружного t_n и внутреннего t_v воздуха и скорости ветра v_n , м/с.

$$\Delta P = (H - h)(Y_n - Y_v) + \rho_n v_n^2 / 2 k_{\text{дин}} (c_n - c_z) - P_v, \quad (8)$$

где H — высота здания от нижней отметки входа в здание до верха вытяжной шахты, м; h — расстояние от нижней отметки входа в здание до центра рассматриваемого воздухопроницаемого элемента здания (окна, балконной двери, входной двери в здание, ворот, витража, витрины), м; Y_n и Y_v — удельный вес наружного и внутреннего воздуха, Н/м, определяемый по формулам (9) и (10) соответственно:

$$Y_n = \frac{3463}{273 + t_{\text{оп}}}, \quad (9)$$

$$Y_v = \frac{3463}{273 + \rho_n}, \quad (10)$$

где ρ_n — плотность, кг/м, наружного воздуха, определяемая по формуле (11);

$$\rho_n = \frac{353}{273 + t_{\text{оп}}}, \quad (11)$$

где $k_{\text{дин}}$ — коэффициент изменения динамических свойств ветра в застройке в зависимости от высоты h и типа местности, принимается по СНиП, где значения $k_{\text{дин}}$ приведены в зависимости от типа местности: A — открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра; B — городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м; C — городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м. Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с ветренной стороны сооружения на расстоянии $30h$ м при высоте сооружения H до 60 м и 2 км — при большей высоте⁸; c_n , c_z — аэродинамические коэффициенты на наветренном и подветренном фасадах, для большинства зданий на наветренной стороне $c_n = 0,8$, а на подветренной стороне $c_z = 0,6$; P_v — внутреннее давление в расчетном помещении, Па, определяется расчетом системы уравнений баланса воздуха в каждом помещении здания. Упрощенно, при расчете теплопотерь принимается по формулам (12) и (13):

- для зданий со сбалансированной вентиляцией и равномерно распределенными по фасадам воздухопроницаемыми элементами — внутреннее

⁸Экологические проблемы энергосбережения. URL: <https://helpiks.org/4-72264.html>

давление равно половине полного гравитационного давления в здании и половине ветрового давления:

$$P_B = 0,5(Y_H - Y_B) + 0,25(P_H v_H^2) k_{\text{дин}} (c_H - c_B); \quad (12)$$

• для зданий со сбалансированной приточно-вытяжной вентиляцией и неравномерно распределенными по фасадам воздухопроницаемыми элементами — внутреннее давление равно половине полного гравитационного давления здания и усредненной величине ветровых давлений по площадям наветренного, подветренного и боковых фасадов;

$$P_B = 0,5 H (Y_H - Y_B) + 0,5 p_H v_H^2 \frac{k_{\text{дин}} x [(c_H - c_3) A_H + (c_6 - c_3) A_6]}{A_H + A_6 + A_3}, \quad (13)$$

где A_H, A_6, A_3 — площади остекления наветренного, бокового и подветренного фасадов, м²; c_6 — аэродинамический коэффициент на боковом фасаде, принимаемый равным $c_6 = -0,4$;

Для зон, имеющих только вытяжную систему, аэродинамическое сопротивление, которое преодолевает давление вытяжного воздуха из зоны, может быть рассчитано приблизительно равным располагаемому давлению систем естественной вентиляции в соответствии с формулой (14):

$$P_B = (H - h)(Y_H - Y_B), \quad (14)$$

где Y_5 — удельный вес воздуха, Н/м, при температуре 5 °С, $Y_5 = 12,5$ кг/м.

Суммарные теплотери здания или его зоны $Q_{\Sigma \text{от}}$, МДж, вычисляют по формуле (15):

$$Q_{\text{от}} = Q_{\Sigma \text{тр}} + Q_{\Sigma \text{инф}}, \quad (15)$$

где $Q_{\Sigma \text{тр}}$ — трансмиссионные теплотери здания или его зоны, МДж, определяемые по формуле (4); $Q_{\Sigma \text{инф}}$ — расход теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха, МДж, при отоплении здания или его зоны, определяемый по формуле (5).

Удельные бытовые тепловыделения в здании — q_B , Вт/м.

Величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений или расчетной площади общественного здания принимается для [17]:

• жилых зданий, заселенных по социальной норме (20 м² общей площади и менее на человека) — $q_B = 15$ Вт/м;

• жилых зданий без ограничения площади (с расчетной заселенностью квартиры 45 м² общей площади и более на человека) — $q_B = 5$ Вт/м;

• других жилых зданий — в зависимости от расчетной заселенности квартиры по интерполяции величины q_B от 15 до 5 Вт/м;

• для общественных зданий бытовые тепловыделения определяются по расчетному числу людей, находящихся в здании, $Q_{\text{осв}}$, Вт, (по установочной мощности согласно проекту) и оргтехники ($q_{\text{орг}} = 10$ Вт/м) с учетом рабочих часов в неделю, по формуле (16):

$$q_B = \frac{q_{\text{чел}} n_{\text{чел}} m_{\text{раб}} P_{\text{чел}} + Q_{\text{осв}} m_{\text{осв}} + q_{\text{орг}} A_p m_{\text{орг}} p_{\text{орг}}}{168 A_p}, \quad (16)$$

где A_p — расчетная площадь помещений зоны здания, м²; $q_{\text{чел}}$ — тепловыделения от одного человека, принимаемые 90 Вт/чел; $n_{\text{чел}}$ — расчетное число людей, находящихся или максимальное число посетителей, чел.; $m_{\text{раб}}$ — число рабочих часов нахождения людей в помещении за неделю, ч.; $p_{\text{чел}}$ — заполняемость помещений людьми; $Q_{\text{осв}}$ — проектная мощность освещения, Вт; предварительно можно принимать $q_{\text{осв}} = q_{\text{осв}} A_p$; $p_{\text{осв}}$ — максимально допустимая удельная установленная мощность освещения, Вт/м, в зависимости от назначения помещения; $m_{\text{осв}}$ — среднее за отопительный сезон число часов работы освещения в помещениях зоны, ч; $q_{\text{орг}}$ — средняя по расчетной площади зоны удельная установленная мощность (тепловой поток), Вт/м, от оргтехники и других внутренних источников тепла. При неизвестной величине принимается 10 Вт/м; $m_{\text{орг}}$ — число часов работы оргтехники или других внутренних источников тепла за неделю, ч; $p_{\text{орг}}$ — доля одновременно работающих источников теплоты; 168 — число часов в неделе;

Бытовые тепlopоступления в здание за отопительный период — $Q_{\Sigma \text{в,от}}$, МДж, вычисляют по формуле (17):

$$Q_{\Sigma \text{в,от}} = 0,0864 q_B z_{\text{от}} A_p, \quad (17)$$

где q_B — удельные бытовые тепловыделения в здании, Вт/м, определяемые по формуле (16); $z_{\text{от}}$ — продолжительность отопительного периода, сут; A_p — расчетная площадь (общественных зданий), м².

Тепlopоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период $Q_{\Sigma \text{с,от}}$, МДж, — через окна, витражи и фонари от солнечной радиации в течение отопительного сезона для всех фасадов зданий, ориентированных по разным направлениям [18].

Суммарные тепlopоступления за отопительный период в здание или его зону $Q_{\Sigma \text{пост}}$, МДж, определяют сложением бытовых (внутренних) тепlopоступлений и тепlopоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные ограждающие конструкции:

$$Q_{\Sigma \text{пост}} = Q_{\Sigma \text{в,от}} + Q_{\Sigma \text{с,от}}. \quad (18)$$

Расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период $Q_{\Sigma \text{от,оп}}$, МДж, с учетом ассимиляции внутренних тепловыделений и тепlopоступлений от солнечной радиации вычисляется по формуле (19):

$$Q_{\Sigma \text{от,оп}} = [Q_{\Sigma \text{от}} - Q_{\Sigma \text{пост}} v \zeta] \beta_{\text{от}}, \quad (19)$$

где $Q_{\Sigma \text{от}}$ — общие тепlopотери здания через ограждающую оболочку здания за отопительный период, МДж, определенные по формуле (15); $Q_{\Sigma \text{пост}}$ — суммарные тепlopоступления в помещение или его зоны за отопительный период, кВт·ч, определенные по формуле (18); v — коэффициент, учитывающий

снижение использования теплоступлений в период повышения их над теплопотерями, принимается равным 0,8; ζ — коэффициент эффективности систем автоматического регулирования подачи теплоты на отопление; $\beta_{от}$ — коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления.

Расчет годовых затрат теплоты на механические системы вентиляции и кондиционирования воздуха $Q_{\Sigma \text{ вент (к.в.)}}$, МВт·ч/г, вычисляются в зависимости от удельной теплоемкости воздуха, числа систем с определенной воздухопроизводительностью, м/ч, температуры приточного воздуха, продолжительностью работы вентиляционной системы за неделю, температуры удаляемого воздуха из помещения, коэффициента температурной эффективности устройств [19]. После расчета годовых затрат теплоты на системы отопления $Q_{\Sigma \text{ от}}$ и определения теплоступлений в здание за отопительный период $Q_{\Sigma \text{ пост}}$, МВт·ч/г, по формулам (15) и (18) вычисляют параметры отопительного периода для расчета потребления энергии системами механической вентиляции, относящиеся к рабочему времени или календарному периоду. Данные параметры могут отличаться от стандартных, содержащихся в имеющихся климатических данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Целью ГОСТ Р 55656–2013 является:

- для оценки соответствия отдельных элементов системы требуемым климатическим и тепловым стандартам здания [19] — сравнить энергетические показатели различных альтернативных вариантов планируемого здания;
- для определения энергетических характеристик существующих зданий — оценить меры по энергосбережению, которые необходимо предпринять в существующих зданиях, путем расчета энергопотребления с учетом и без учета мер по энергосбережению;

- для составления региональных или национальных прогнозов спроса на энергию — рассчитать энергопотребление типичных зданий.

Выводы:

- 1) большая часть энергоресурсов страны расходуется на отопление и электроэнергию в жилых и офисных зданиях, предварительно этот показатель составляет от 40 до 60 %⁹;
- 2) энергоэффективный дом может быть определен как дом, в котором потери тепла могут быть снижены, по крайней мере, на 30 % [20];
- 3) пассивный дом — это здание, в котором тепловой комфорт может быть достигнут путем нагрева или охлаждения небольшого количества приточного воздуха, необходимого для достижения приемлемого качества воздуха, без необходимости дополнительной рециркуляции воздуха;
- 4) строительство пассивных домов будет актуально во второй климатической зоне (Запад, Северо-Запад России, Приморский край), в третьей климатической зоне (Западная Россия, Сибирь, Дальний Восток) и четвертой климатической зоне (Северная Сибирь, Дальний Восток, Урал, Якутия), а также в особой зоне за полярным кругом (включая Чукотку);

5) расход тепла для систем отопления определяется путем расчета тепловых потерь, связанных с передачей тепла через ограждающие конструкции здания и потребностью в тепле;

6) в климатических условиях Центральной России возможно и абсолютно реально строительство зданий с более высокой энергоэффективностью [21].

⁹ Энергосберегающие технологии в России и за рубежом. Единый контактный центр Комплекса градостроительной политики и строительства города Москвы. URL: https://stroimsk.ru/builder_science/energoberegauschie-tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom

ЛИТЕРАТУРА

1. Гашио Е.Г., Коваль А.В., Постельник М.И. Комплексный подход и логистика регионального энергохозяйства: единство технических, организационно-экономических и информационных решений. М.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, 2004. 23 с.
2. Ливчак В.И. Базовый уровень потребления энергетических ресурсов при установлении требований энергоэффективности зданий // Энергосовет. 2013. № 6 (31). С. 34–42.
3. Закиров Д.Г. Состояние и перспективы использования низкопотенциальной теплоты с помо-

щью тепловых насосов // Промышленная энергетика. 2004. № 6. С. 2–9.

4. Клименко А.В., Гашио Е.Г. Проблемы повышения эффективности коммунальной энергетики на примере объектов ЖКХ ЦАО г. Москвы // Теплоэнергетика. 2004. № 6. С. 54–59.

5. Табуничиков Ю.А. Пассивные многоэтажные здания // Весна. Здания высоких технологий. 2013. 10 с.

6. Елохов А.Е. Энергопассивное домостроение в России // СтройПРОФИль. 2013. № 2 (105).

7. Елохов А.Е. Пассивный дом: комфорт, энергосбережение, экономия // Коммунальный комплекс России. 2013. № 2 (104). С. 1–5.
8. Ресин В.И. Эффективные методы управления энергосбережением в строительстве // Архитектура и строительство Москвы. 2003. № 2, 3. С. 7–13.
9. Матросов Ю.А. Регионы России переходят на энергетический принцип проектирования и строительства зданий // Энергосбережение. 2002. № 2. С. 44–47.
10. Табуничиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М. : АВОК-ПРЕСС, 2015. 169 с.
11. Береговой А.М. Здания с энергосберегающими конструкциями: дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2005. 344 с.
12. Подольн Л.А. Энергоэффективность жилых зданий нового поколения: дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 156 с.
13. Файст В. Основные положения проектирования пассивных домов. М. : Изд-во АСВ, 2011.
14. Рогатин В.А. Методы рационального проектирования односемейных загородных домов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 187 с.
15. Чуркин Д.Н. Метод оценки эффективности теплозащитных характеристик конструкций зданий: дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 152 с.
16. Черешнев И.В. Принцип формирования экологичного жилища // Жилищное строительство. 2007. № 6. С. 13–15.
17. Колесникова Т.Н. Тепличный производственно-жилой комплекс // Жилищное строительство. 2006. № 2. С. 20–21.
18. Корженева Т.Г., Ушаков В.Я., Овчаров А.Т. Учет ресурса естественного света при оптимизации энергозатрат помещения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 3 (40). С. 156–164.
19. Заводчиков Н.Д., Воронкова Е.А. Управление эффективностью использования энергоресурсов в растениеводстве: монография. Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2012. 172 с.
20. Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности в российской промышленности // Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ). М., 2013. 35 с.
21. Климова Г.Н., Литвак В.В. Семь проблем и семь ключей энергосбережения: монография. Томск : Красное знамя, 2013. 148 с.

Поступила в редакцию 3 августа 2021 г.

Принята в доработанном виде 24 сентября 2021 г.

Одобрена для публикации 24 сентября 2021 г.

ОБ АВТОРЕ: **Александр Иванович Цыганов** — полковник внутренней службы, начальник отдела надзора за особо важными пожароопасными объектами управления надзорной деятельности и профилактической работы, государственный инспектор Московской области по пожарному надзору; **Главное управление МЧС России по Московской области**; 141501, Московская область, г. Химки, Новокуркинское шоссе, влад. 34; tsyganov-70@yandex.ru.

INTRODUCTION

The efficiency of electric power stations reaches mere 30 %, while 70 % of fuel is combusted, and 10 % is emitted as hot gas. Nuclear power plants (NPPs) are much more efficient, and their efficiency explains the popularity of this energy sector in the European countries; however, over the last decades, this form of energy was under substantial pressure due to tighter safety requirements and waste reclamation problems. Moreover, electricity rates for users are very high; they force consumers to save on nearly all kinds of energy [1].

The development of hydraulic power engineering has reached the point when there are almost no flood plains left whose terrain is suitable for dam construction. Experts' projections are pessimistic: natural fuel reserves will be depleted in the coming fifty years. In the 1970ies, a grave energy crisis arose and triggered a search for alternative sources of energy, such as the energy of the sun, wind, ocean tides, and geothermal sources [2]. Russia has enormous reserves of crude

oil, coal and gas; they allow to produce the world's cheapest electric power. Many European countries have to export natural gas, hence, gas rates payable by gas consumers, are boosted, and this fact is likely to make Europeans economical.

Against this background, power saving technologies developed in the USA, Europe, Canada, Japan, China and other industrially developed countries, are far ahead, although Russia has great potential that allows it to catch up with these countries and outperform them thanks to the strong support for its research undertakings. The main objective is to build new facilities in compliance with new approved standards pursuant to Construction Regulations 50.13330.2010 (revised Construction Norms and Regulations 23-02-2003)¹,

¹ Thermal insulation of buildings : (Construction regulations 50.13330.2010) approved by the RF Ministry of regional development on June 30, 2012 No. 265, put into effect as of July 1, 2013. *tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom*

and reconstruct obsolete housing space using advanced thermal insulation systems.

Principal energy saving and thermal insulation problems of buildings consist in their types and materials used to construct buildings in Russia in the past century.

After WWII, the objective was to restore the country as quickly as possible, so that people had roofs over their heads. Reinforced concrete slabs were the solution back then, and four-storey residential buildings, or Khrushchev-era blocks, that had poor insulation due to an enormous number of holes in floor slabs, were constructed [3]. Later 8-storey houses had holes in floor slabs. Then log houses emerged; this was the first type of insulated houses. As late as in mid 70ies, better standard houses appeared, they were made of higher quality slabs gradually ousted by new types of high-rise buildings, made of monolithic slabs [4]. They had monolithic frames and lightweight panels that not only changed the look of the city by adding versatile styles and colours, but also improved thermal insulation properties.

The major share of the country's power resources are used to heat and supply energy to residential and office buildings, and this share equals to 40–60 %, according to preliminary estimates. These numbers pinpoint the areas that need energy saving technologies to be introduced as soon as possible [5].

It's estimated that lower heating expenses may cut overall building energy consumption by 50–60 %. Russia is a huge country that has several time and climate zones. Except for its southern regions, whose climate is rather mild, the climate in the major part of the Russian territory is quite cold, and it features substantial seasonal fluctuations. Therefore, indoor heating is one of the most relevant problems in Russia.

It is impossible to live, work, study or have a vacation without heating, which is available twelve months a year in the northern regions of the country. An energy efficient home is the one whose heat losses can be reduced by, at least, 30 %. Major heat losses from buildings, designed as the one shown in Fig. 1, occur through enclosure structures (walls, the roof, floors, the foundation), windows and the ventilation system.

As shown in Fig. 1, a major portion of heat is lost through the windows. Therefore, it is important to have the building overlook the south so that the maximal number of its window openings absorb sun rays. Hence, solar radiations becomes a supplementary source of heat. The roof and its eaves must be designed in a way that prevents shadowing in the daytime, protects windows and walls from rain and overheating, and allows water and snow to move down the roof [6]. Windows must be made of high-quality glass that has few hazardous substances, and it should be filled with inert gas. Window and door openings must have supplementary heat insulation inserts².

Thermal insulation means all types of composite walls, or those walls that have several layers. Many modern and relatively new materials, used to insulate external walls, have not yet been standardized. There are two principal methods of insulating a house.

The first one is the so-called “wet” or “gypsum” method that entails the use of gypsum solutions. The second method represents a “dry” or “ventilated” façade, that has overhanging elements that form a gap between an external wall and insulation. A ventilated façade has external finishing panels that protect walls from any outdoor exposure, precipitation and mechanical loads. Any

²Notes from a passive house. URL: https://www.icsgroup.ru/library/publications/passive_house/

Fig. 1. Heat losses from a building

moisture accumulated within the building and inside it moves to the ventilated zone [7].

This vapour-proofing effect is a reliable method of building protection from condensed water, vapour and moisture used to create a good indoor microclimate. The insulation, installed below the façade, reduces heat losses by two to three times, while the life of a building goes up due to the reduced number of freezing cycles. The second “plaster” method of insulating bearing structures is most widely used in low-rise construction and the restructuring of old buildings, as it allows to restore the original look of a building with the help of a plaster layer and protect the foundation from any excessive loads, caused by restructuring.

Besides, this method is the most economical one, as, unlike the ventilated facade method, it doesn’t need a metal framework [8]. Same as the framework method, this type of insulation allows moisture to travel into the building for it to be able to “breathe”.

Roofs, floors, and foundations must be insulated by wind- and vapour-insulating films, that protect insulation from any moisture penetrating from the outside. Besides, building insulation may entail the use of basalt wool and expanded clay aggregate, hemp, expanded polystyrene, heat insulating plaster and paint. Actions focused on building energy efficiency improvement ensure the energy balance between heat losses, caused by ventilation, and heat generation by solar energy and indoor sources of heat.

MATERIALS AND METHODS

Whenever energy efficient houses are addressed, they are often called “zero”, “active” or “passive” houses, since their maintenance and operation costs are reduced

in a way that makes them close to zero³. Is it possible for a house to generate enough energy, become independent from external grids, give up heating and use solar energy collectors and solar heat? There is an opinion that a passive house is a house that has an extreme insulation system⁴. There are numerous opinions, and they are partly correct, that a voluntary construction standard guides the construction of a low energy consumption building.

The passive house institute was founded in Germany in 1996; the concept was authored by Dr. Wolfgang Feist, who formulated the idea as follows: “A passive house is a building in which thermal comfort can be attained by the supplementary heating or cooling of a small amount of incoming air to ensure adjustable air quality characteristics without any need for supplementary air recycling” [9].

What is the difference between a passive house and “active” energy efficient houses? Pursuant to the classification, developed by Dr. Feist, energy consumption costs break buildings into several groups shown in Fig. 2.

Most frequently, energy-saving technologies are applied in single-family houses, although their design concept is also applicable to multi-storey buildings⁵.

³ Dachnik A. A passive house: a building that has no traditional heating systems. URL: <http://dom.dacha-dom.ru/passivny-dom.shtml>

⁴ Brodach M.M. An energetically passive multi-storey residential house. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5432

⁵ An energy saving house: energy balance preservation, design, construction principles. URL: https://m-strana.ru/articles/energoberegayushchiy-dom/?utm_source=copy&utm_medium=direct&utm_campaign=copy_from_site

Fig. 2. Classification of buildings by power costs

Numerous examples can be offered. The tallest residential passive house is located in the area of the Ham-

burg port in Germany, close to Hafencity port (Fig. 3). The section of this passive house is shown in Fig. 4.

Fig. 3. Passive house in Hamburg designed by architect J. Reinig

Fig. 4. The section of the passive house in Hamburg designed by architect J. Reinig

The building has 45 apartments, six residential and two subterranean floors that accommodate parking lots. The room height varies from 2.25 m to 2.5 m. All residential premises are primarily oriented towards the south; they overlook a picturesque harbour.

In the winter season that lasts from November to March, the house premises are heated by the gas-fueled boiler house, located in the attic. Photovoltaic panels are installed in façade sun shades⁶.

The specific amount of thermal power consumed by heating and ventilation reaches 15 kilowatt hour/m² during the heating season, the house allows to reduce the adverse environmental impact ten-fold [10].

Joachim Reinig, the architect who designed this house, is a member of the Chamber of Hamburg architects, and he is now engaged in the development of numerous projects on preservation of architectural monuments, residential houses built in the days of Wilhelm and Neo-Gothic churches [11].

A positive energy balance house, or an “active” home, is an apartment house, built in Frankfurt am Main (Fig. 5).

The floor area of this seven-storey building is 8,500 m². The building is an ideal combination of energy efficiency, based on the principle of a passive house,

⁶ B. Butsev. An energy saving house: what's that? URL: <https://www.houzz.ru/statyi/energoberegayushchiy-dom-sovremennye-trebovaniya-stsetivw-vs-97682420>

Fig. 5. Aktiv-Stadthaus, a positive balance residential house in Frankfurt am Mein

and active energy generation from renewable sources, based on the principle of an active house.

The building roof, having the area of 1,500 m², has about one thousand solar batteries, more 330 batteries are attached to the façade to cover the residents' needs for electricity required to heat their apartments, meet their daily living needs, get hot water, have the elevator and even electric transport in operation.

The north-facing facade represents a wall that is 47 cm thick; it is covered with Eternit; the south-facing façade represents a wall that is 55 cm thick, it has glass PV modules and a ventilated layer [12].

The feature of this project is the availability of an energy control module in every apartment that allows to project future electric power costs and maintain a comfortable microclimate on the premises [13].

Building designs must differ depending on the climate zone of their location, whether it is the central region of the country, its southern areas or northern regions.

Universal standard designs, usable in any conditions, are inefficient from the viewpoint of economy, and hence, any project must be developed with regard for the climatic features of a specific region.

Russia has four climate areas and a special zone (Fig. 6):

- Area 1: areas and regions of the southern territory of Russia;
- Area 2: areas and republics, located in the west and north-west of the Russian Federation, as well as in the Maritime Territory;
- Area 3: the western part of the country, Siberia and the Far East, except for several northern regions, included into the fourth area;
- Area 4: northern regions of Siberia, the Far East and the Urals, as well as Yakutia, or the regions that are located below the polar circle;

- Special zone: regions located within the polar circle, and to the north of northern latitude 60°, including Chukotka.

Fig. 6 features Russia's climatic belts and zones⁷.

The table has average annual winter and summer air temperatures in each climatic belt and zone of Russia.

The figure shows that, on the whole, the climate in Russia is rather cold, negative temperatures prevail almost in every zone during winter seasons; therefore, it is impossible to live there without heating [14]. In other words, energy efficiency is relevant all over Russia, while the mild climate belt in the three areas of continental and monsoon climates is most densely populated, and it occupies the largest territory in Russia. Therefore, the construction of passive houses will be relevant in the 2nd, 3rd, and 4th climatic zones of Russia, as well as in the special zone, located within the polar circle, which is barely populated due to its severe climate and remoteness from energy resources. There is a need to develop a new construction concept that will make a building "active" to ensure its positive energy balance so that it can independently generate enough electric energy from renewable sources to cover its needs [15].

RESEARCH RESULTS

Building heating costs are calculated with account for the heat lost in the course of the heat transfer through the external enclosure, as well as the heating needs.

Pursuant to the Russian standard, average building heating temperature, °C, is calculated as follows (1):

$$t_{v,heat} = \frac{\sum_i A_{tot,i} t_{v,heat,i}}{\sum_i A_{tot,i}}, \quad (1)$$

⁷ Climate of Russia, types, factors of influence, climatic belts, temperature map, characteristics and distribution features. URL: bez palatki.ru > Turizm i putesthestviya

where $t_{v,heat,i}$ is the pre-set temperature required to heat building premises, °C; $A_{tot,i}$ is the total floor area of the heated premises, m².

The average temperature needed to cool the building area, °C, is calculated according to the following formula (2):

$$t_{v,cool} = \frac{\sum_i A_{tot,i} t_{v,cool,i}}{\sum_i A_{tot,i}}, \quad (2)$$

$$K_{tr} = \frac{\frac{\sum A_{e,w}}{R_{e,w}} + \frac{\sum A_c}{R_c} + \frac{\sum n_{at} A_{at}}{R_{at}} + \frac{\sum A_{c,f}}{R_{c,f}} + \frac{\sum A_c}{R_c} + \frac{\sum n_{u,b} A_{u,b}}{R_{u,b}} + \frac{\sum A_w}{R_w} + \frac{\sum A_l}{R_l} + \frac{\sum A_{e,d}}{R_{e,d}}}{A_{enc}}, \quad (3)$$

where $A_{e,w}$, A_c , A_{at} , $A_{c,f}$, $A_{u,b}$, A_w , A_l , $A_{e,d}$ are the areas of external walls; coverings; attic; floors over arches, floors below window bays and other types of cold floors (whose temperature is +6 °C in the zone under consideration); floors over unheated basements, windows and window panes in external walls; roof lanterns; and other entrance doors, m²; $R_{e,w}$, R_c , R_{at} , $R_{c,f}$, $R_{u,b}$, R_w , R_l , $R_{e,d}$ are resistances to heat transfer through external walls; attic floors, floors over arches, below window bays and other types of cold floors (whose temperature is +6 °C in the zone under consideration); floors over unheated basements, windows and window panes in external walls, roof lanterns, and other entrance doors, m²/°C; n_{at} , $n_{u,b}$ are the coefficients of position in relation to the external air of attic floors and floors above unheated basements; A_{enc} is the total area of outer surfaces of all external enclosure structures, used as the aggregate in formula (3), m².

Total heat transmission losses of a building or its zone for heating period $Q_{\Sigma tr}$ in MJ, are calculated according to formula (4):

$$Q_{\Sigma tr} = 0,0864 K_{tr} A_{enc} (t_{h,p} - t_{v,h,p}) z_{h,p}, \quad (4)$$

where K_{tr} is the reduced heat transfer coefficient, W/(m²·°C); A_{enc} is the total area of outer surfaces of all external enclosure structures used as the aggregate in formula (3), m²; $t_{h,p}$ is the average temperature of the heating period, °C; $t_{v,h,p}$ is the calculated temperature of indoor air needed to heat a zone, °C, identified according to formula (1).

The consumption of heat, needed to heat infiltration air in order to heat a building or its zone, is calculated according to formula (5):

$$Q_{\Sigma tr} = 0,024 G_{inf} c A (t_{v,h,p} - t_{h,p}) k z_{h,p} \quad (5)$$

where G_{inf} is the consumption rate of infiltration air, kg/(h·m), passing through the air permeable building element (window, bay window, door); c is the heat storage capacity of air, $c = 1.006$ kJ/(kg·°C); $t_{v,h,p}$ is the calculated temperature of indoor air needed to heat the zone, °C, identified according to formula (1); $t_{h,p}$ is the average temperature during the heating period, °C; $z_{h,p}$ is the duration of the heating period, days; k is the coefficient of regard for the influence of the counterflow of heat inside air permeable structures, equal to:

where $t_{v,cool,i}$ is the pre-set temperature needed to cool the premises, °C; $A_{tot,i}$ is the total floor area of the premises to be cooled, m²;

In a multizonal system of heating and/or cooling, energy needs are calculated for separate zones [16]. The needs of a buildings are equal to the total energy consumption, calculated for separate zones.

Heat flows travel from the outside into a building and vice versa, due to the heat transfer; they are calculated with regard for the reduced thermal resistance of an external enclosure (3):

0.7 — for windows and balcony doors that have triple sashes;

0.8 — for windows and balcony doors that have double sashes;

0.9 — for windows and balcony doors that have twin sashes;

1 — for windows and balcony doors that have single sashes.

The need for heat in case of air heating against the background of frequently opened doors and gates (in case of the analysis of heat losses, used to pump cold air in a project) goes up 1.5–2 fold depending on the time while doors remain opened.

Consumption of infiltration air G_{inf} , kg/(h·m), through an air permeable element of a building (window, bay window, closed door) reaches:

- through widows, bay windows, shop windows, lanterns, balcony doors;

$$G_{inf} = \left(1 / R_{inf,w}\right) \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_o}\right)^{2/3}, \quad (6)$$

- through entrance doors and gates

$$G = \left(1 / R_{inf,d}\right) \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_o}\right)^{1/2}, \quad (7)$$

where $R_{inf,w}$ is reduced window resistance to air permeability, m²·h/kg, if $\Delta P = 10$ Pa, it is acceptable for a project. If no data is available, the value, specified in Construction Regulations 50.13330.2010 (revised Construction Norms and Regulations 23-02-2003), can be used. $R_{inf,w}$ is equal to 0.47 m²·h/kg in passageways of outer air zones for single balcony doors, staircases, and lift halls; for a double door with a wind porch $R_{inf,d} = 0.94$ m²·h/kg if $\Delta P = 10$ Pa; $R_{inf,d}$ is the reduced entrance door or gate resistance to air permeability, m²·h/kg, if $\Delta P = 10$ Pa; for doors of individual entrances to apartments on ground floors of multi-storey buildings $R_{inf,d} = 0.5$ m²·h/kg; for seldom opened windows $R_{inf,d} = 0.3$ m²·h/kg; for entrance doors to public residential buildings, stores and other facilities featuring intensive pedestrian traffic $R_{inf} = 0.14$ m²·h/kg; ΔP is the pressure difference, Pa, between the sides of an air permeable

Fig. 6. Russia's climatic belts and zones.

Characteristics of climatic belts and zones of Russia

Belt	Zone	Geographic position	Conditions of formation	Temperature, °C	Precipitation, mm/g	K_m
Arctic		Islands of the Arctic Ocean and its Siberian coast	Arctic air predominates, long polar night, anticyclones	–24...–30 2–5	200–300	>1
Subarctic		The Russian and West-Siberian Plain within the polar circle, up to 60° in East Siberia	Low evaporation	4–12	200–400	>1
Temperate	Continental climate	West Siberia	Continental mild air in the latitudinal direction, Arctic air and continental tropical air in the direction of the meridian	–15...–25 15–26	600 (towards the North), 200 (towards the South)	>1 towards the North, <1 towards the South
	Severely continental	East Siberia	Continental mild air, little cloudiness, little snow cover	–25...–45 16–20	>500	1
	Temperate continental climate	European Russia	Western disturbance (of mild maritime air)	–4...–20 12–24	500–800	>1 towards the North, <1 towards the South-East
	Monsoon climate	South of the Far East	Summer and winter monsoons	–15...–3 10–20	600–800	>1

element; ΔP_o is the pressure difference used to identify the resistance to air permeability $\Delta P_o = 10$ Pa.

The calculated pressure difference ΔP_o , Pa, between different sides of an air permeable building element represents gravitational and wind pressure net of the inner pressure on the premises and calculated according to formula (13), if the calculated temperature of the outer air is t_{out} , indoor air temperature is t_{ind} and wind velocity is equal to v_{out} , m/s.

$$\Delta P = (H - h)(Y_{out} - Y_{ind}) + \rho_{out} v_{out}^2 / 2 k_{dyn} (c_{out} - c_{leew}) - P_{ind}, \quad (8)$$

where H is the building height from the lowest plan level of the building entrance to the top of the exhaust shaft, m; h is the distance from the lowest plan level of the building entrance to the centre of the air permeable building element (window, balcony door, building entrance door, gates, bay window, shop window), m; Y_{out} , Y_{ind} are the values of specific weight of outer and inner air, N/m, calculated according to formulas (9) and (10):

$$Y_{out} = \frac{3463}{273 + t_{h,p}}, \quad (9)$$

$$Y_{ind} = \frac{3463}{273 + \rho_{out}}, \quad (10)$$

where ρ_{out} is outer air density, kg/m, calculated according to formula (11);

$$\rho_{out} = \frac{353}{273 + t_{h,p}}, \quad (11)$$

where k_{dyn} is the coefficient of change in dynamic properties of wind in a built-up area depending on height h and the terrain, it is specified in Construction Norms and Regulations, where values of k_{dyn} depend on the type of terrain: A for shorelines of seas, lakes and water basins, deserts, steppes, wooded steppes, marshy plains; B for urban areas, forests, and other types of terrain evenly covered with obstacles whose height exceeds 10 m; C for urban districts whose buildings are more than 25 m high. A structure is deemed located in a specific type of terrain, if this terrain remains the same from the windy side of a structure at the distance of 30 h m, if the structure height is equal to H which is up to 60 m, and 2 km, if the height exceeds 60 m⁸; c_{out} , c_z are the aerodynamic coefficients used for windward and leeward facades, the majority of windward sides of buildings have $c_{out} = 0.8$, while leeward sides have $c_{leew} = 0.6$; P_{ind} is the indoor pressure, Pa, determined using a system of air balance equations for each indoor premise. In the simplified form, formulas (12) and (13) are used to calculate heat losses:

- for buildings having well-balanced ventilation and air permeable elements, evenly distributed over the facades, indoor pressure is equal to half of full gravi-

tational pressure inside the building and half of the wind pressure:

$$P_{ind} = 0,5(Y_{out} - Y_{ind}) + 0,25(P_{out} v_{out}^2) k_{dyn} (c_{out} - c_{leew}); \quad (12)$$

- for buildings having a well-balanced supply-and-exhaust ventilation air permeable elements, unevenly distributed over the facades, indoor pressure is equal to half of full gravitational pressure inside the building and an averaged value of wind pressures over the areas of windward, leeward, and lateral facades;

$$P_{ind} = 0,5 H (Y_{out} - Y_{ind}) + 0,5 \rho_{out} v_{out}^2 \frac{k_{dyn} x [(c_{out} - c_z) A_{wind} + (c_{lat} - c_{leew}) A_{lat}]}{A_{wind} + A_{lat} + A_{leew}}, \quad (13)$$

where A_{out} , A_{lat} , A_{leew} are the fenestration areas of windward, leeward and lateral facades, m²; c_{lat} is the aerodynamic coefficient for the lateral façade, equal to $c_{lat} = -0.4$;

For the zones that have exhaust systems, the aerodynamic resistance that surmounts the pressure of exhaust air, can be calculated as being approximately equal to the available pressure in natural ventilation systems according to (14):

$$P_{ind} = (H - h)(Y_{out} - Y_{ind}), \quad (14)$$

where Y_s is specific air weight, N/m, at temperature 5 °C $Y_s = 12.5$ kg/m.

The total heat lost by a building or its zone $Q_{\Sigma heat}$, MJ, is calculated according to (15):

$$Q_{heat} = Q_{\Sigma tr} + Q_{\Sigma inf}, \quad (15)$$

where $Q_{\Sigma tr}$ is transmissive heat losses of a building or its zone, MJ, identified according to (4); $Q_{\Sigma inf}$ is the heat consumed by the infiltration air heating, MJ, in the course of heating a building or its zone (5).

Specific heat emitted by a building is equal to q_{ind} , watt/m.

The following amount of heat is emitted per m² of the area of residential premises or the calculated area of a public building for the purpose of calculations performed according to [17]:

in residential buildings, occupied in compliance with the social norms of living space (up to 20 m² of the total floor area per person), $q_{ind} = 15$ Watt/m;

residential buildings having no restrictions (having the occupancy rate of 45 m² and more per person), $q_{ind} = 5$ Watt/m;

in other residential buildings, depending on the apartment occupancy rate q_{ind} varying from 15 to 5 Watt/m;

thermal emissions in public buildings depend on the number of people inside a building Q_{lig} , Watt, (with reference to the pre-set project capacity) and the office equipment ($q_{of,eq} = 10$ Watt/m) with regard for weekly working hours (16):

$$q_{out} = \frac{q_p n_p m_r P_p + Q_{lig} m_{lig} + q_{of,eq} A_p m_{of,eq} P_{of,eq}}{168 A_p}, \quad (16)$$

⁸ Environmental problems of energy efficiency. URL: <https://helpiks.org/4-72264.html>

where A_p is the area of premises in a building zone, m^2 ; q_p is the heat emitted by one person, which is equal to 90 Watt/person; n_p is the estimated number of people or the maximal number of visitors, persons; m_r is the number of working hours on the premises during the week, hours; p_{occ} is the occupancy rate; Q_{lig} is the design lighting capacity, Watt; tentatively, $q_{\text{lig}} = q_{\text{lig}} A_p$; p_{lig} is the maximal acceptable specific pre-set lighting capacity, Watt/m, depending on the premises purpose; m_{lig} is the average number of hours when lighting is on during the heating season on the premises of the zone, hours; $q_{\text{of,eq}}$ is the average specific pre-set capacity based on the estimated area of a zone (heat flow), Watt/m, emitted by office equipment and other indoor sources of heat. If the value is unknown, it is assumed to be equal to 10 Watt/m; $m_{\text{of,eq}}$ is the number of hours when office equipment and other indoor sources of heat are in operation, hours; $p_{\text{of,eq}}$ is the share of sources of heat that in simultaneous operation; 168 is the number of hours in a week;

Heat supplied to the building during heating season $Q_{\Sigma v, \text{heat}}$ MJ, is calculated according to (17):

$$Q_{\Sigma v, \text{heat}} = 0,0864 q_{\text{out}} z_{\text{heat}} A_p, \quad (17)$$

where q_{out} is specific heat emission in a building, Watt/m, identified pursuant to (16); z_{heat} is the heating season duration, days; A_p is the estimated area (of public buildings), m^2 .

The heat gain, obtained by the building due to solar radiation within heating period $Q_{\Sigma \text{sol, heat}}$ MJ, through the windows, bay windows, lamps on all facades of buildings oriented in different directions, is equal to [18].

The total heat gain, obtained by a building or its zone during heating season $Q_{\Sigma h, g}$ MJ, is identified as the sum of indoor heat gains and solar radiation heat gains through translucent enclosure structures:

$$Q_{\Sigma h, g} = Q_{\Sigma v, \text{heat}} + Q_{\Sigma \text{sol, heat}}. \quad (18)$$

Thermal energy consumption during heating period $Q_{\Sigma \text{heat, op}}$ MJ, with regard for the assimilation of indoor heat emissions and heat gains from solar radiation is calculated according to formula (19):

$$Q_{\Sigma \text{heat, op}} = [Q_{\Sigma \text{heat}} - Q_{\Sigma h, g} v \zeta] \beta_{\text{heat}}, \quad (19)$$

where $Q_{\Sigma \text{heat}}$ is the total heat loss by a building through its enclosure during the heating period, MJ, identified according to formula (15); $Q_{\Sigma h, g}$ is the total heat gain on the premises or their zone during the heating period, kWatt·h, identified according to formula (18); v is the coefficient that takes account of the reduced use of the heat gain when it exceeds the heat loss, and it is equal to 0.8; ζ is the coefficient of efficiency of systems of automatic heat supply for heating purposes; β_{heat} is the coefficient that takes account of supplementary heat consumption by a heating system.

The calculation of the annual cost of heat consumed by mechanical systems of ventilation and air conditioning $Q_{\Sigma \text{heat} (a.c.)}$ MWatt·h/year, is performed depending on the specific thermal capacity of the air, the number

of systems featuring particular air capacity values, m/h, inflow air temperature, weekly ventilation operation hours, the temperature of the air removed from the premises, and the temperature efficiency coefficient of appliances [19]. Having calculated the annual heat costs of the heating system $Q_{\Sigma \text{heat}}$ and identified the heat gain of the building for heating period $Q_{\Sigma h, g}$ MWatt·hour/year, using formulas (15) and (18), parameters of the heating period are identified to calculate the energy consumption by systems of mechanical ventilation in terms of working hours or a calendar period. These parameters may differ from the standard ones.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The purpose of Russian National Standard 55656–2013 is:

- to compare the energy values of various alternative options for a future building, given the focus is placed on the evaluation of compliance between individual elements of a system and climate and thermal standards of a building [19];
- to evaluate energy saving measures to be taken in existing buildings by calculating their energy consumption with and without energy saving measures, given the focus is placed on the identification of energy characteristics of existing buildings;
- to calculate energy consumption in standard buildings, given the focus is placed on making region- and nation-wide projections of energy demand.

Conclusions:

- 1) a major portion of national energy resources is spent on the heating of and electric energy supply to residential and office buildings, the preliminary value of this indicator reaches 40 to 60 %;
- 2) an energy efficient house can be defined as a house, whose heat losses can be reduced, by, at least, 30 % [20];
- 3) a passive house is a building, the thermal comfort inside which can be attained by heating or cooling a small amount of supply air, needed to assure the acceptable air quality, without any supplementary air recycling needed;
- 4) the construction of passive houses will be relevant in the second climatic zone (West, North-West of Russia, Maritime Territory), the third climatic zone (western Russia, Siberia, Far East), and the fourth climatic zone (North Siberia, Far East, Urals, Yakutia), and also in the special zone within the polar circle (including Chukotka);
- 5) the heat consumption rate of heating systems is determined by calculating heat losses due to the transmission of heat through enclosure structures of a building and the need for heat;
- 6) the construction of buildings featuring higher energy efficiency is feasible and realistic in the climate of Central Russia [21].

⁹ Energy-saving technologies in Russia and abroad. Consolidated contact center of the Moscow Complex of Urban Planning Policy and Construction. URL: https://stroim.mos.ru/builder_science/energoberegaushie-tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom

REFERENCES

1. Gasho E.G., Koval A.V., Postelnik M.I. *Complex approach and logistics of regional energy economy: unity of technical, organizational, economic and informational solutions*. Moscow, Institute of National Economy Forecasting of RAS, 2004; 23. (rus.).
2. Livchak V.I. The basic level of consumption of energy resources in setting requirements for energy efficiency of buildings. *Energosovet*. 2013; 6(31):34-42. (rus.).
3. Zakirov D.G. State and prospects for the use of low-potential heat using heat pumps. *Industrial Energy*. 2004; 6:2-9. (rus.).
4. Klimenko A.V., Gasho E.G. Problems of increasing efficiency of communal power engineering on the example of housing and communal services objects of Central Administrative District of Moscow. *Teploenergetika*. 2004; 6:54-59. (rus.).
5. Tabunshchikov Y.A. Passive multi-storey buildings. *Vesna. Buildings of High Technology*. 2013; 10. (rus.).
6. Elokhov A.E. Energy-passive house-building in Russia. *StroyPROfil*. 2013; 2(105). (rus.).
7. Elokhov A.E. Passive House: Comfort, Energy Saving, Economy. *Russian Utility Complex*. 2013; 2(104):1-5. (rus.).
8. Resin V.I. Effective methods of energy saving management in construction. *Architecture and Construction of Moscow*. 2003; 2-3:7-13. (rus.).
9. Matrosov A.Y. Regions of Russia are passing to the energy principle of building design and construction. *Energoberezheniye*. 2002; 2:44-47. (rus.).
10. Tabunshchikov Y.A., Brodach M.M. *Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings*. Moscow, 2015; 169. (rus.).
11. Beregovoy A.M. *Buildings with energy-saving structures : Ph. D. in Technical Sciences*. Penza, 2005; 344. (rus.).
12. Podolyan J.A. *The Energy Efficiency of New Generation Residential Buildings: Cand. Candidate of Technical Sciences*. Moscow, 2005; 156. (rus.).
13. Faist V. *Basic provisions of the design of passive houses*. Moscow, Publishing house ASV, 2011. (rus.).
14. Rogatin V.A. *Methods for the rational design of single-family country houses : Cand. Cand. of Technical Sciences*. Moscow, 2004; 187. (rus.).
15. Churkin D.N. *Method of the effectiveness estimation of the buildings thermal protection characteristics : Cand. D. in Technical Sciences*. Moscow, 2006; 152. (rus.).
16. Chereshev I.V. Principle of an ecological dwelling formation. *Housing Construction*. 2007; 6:13-15. (rus.).
17. Kolesnikova T.N. Greenhouse industrial and residential complex. *Housing Construction*. 2006; 2:20-21 (rus.).
18. Korzhneva T.G., Ushakov V.Y., Ovcharov A.T. Taking into account the resource of natural light in the optimization of energy consumption facilities. *Bulletin of TGAUU*. 2013; 3(40):156-164. (rus.).
19. Zavodchikov N.D., Voronkova E.A. *Management of energy efficiency in crop production: monograph*. Orenburg, OGAU Publishing Center, 2012; 172. (rus.).
20. Bashmakov I.A. Improvement of Energy Efficiency in Russian Industry. *Center for the Efficient Use of Energy (CENEF)*. Moscow, 2013; 35. (rus.).
21. Klimova G.N., Litvak V.V. *Seven problems and seven keys of energy saving : monograph*. Tomsk, Krasnoye Znamya, 2013; 148. (rus.).

Received August 3, 2021.

Adopted in revised form on September 24, 2021.

Approved for publication on September 24, 2021.

BIONOTES : Alexander I. Tsyganov — Colonel of the Internal Service, Head of the Department for Supervision of Particularly Important Fire Hazardous Objects of the Department of Supervision and Preventive Work, State Inspector of the Moscow Region for Fire Supervision; **Main Department of the Ministry of Emergency Situations of Russia in Moscow Region**; 34 Novokurkinskoe highway, Moscow region, Khimki, 141501, Russian Federation; tsyganov-70@yandex.ru.