

УДК 697.13+697.92

ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В СОВРЕМЕННОМ МНОГОКВАРТИРНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ С ТЁПЛЫМ ЧЕРДАКОМ

Ю. В. Потапович

Старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail: yulya.kapereyko@mail.ru

Реферат

В статье представлены результаты экспериментального исследования вентиляционных тепловых потерь в многоквартирном жилом доме с теплым чердаком. Актуальность работы обусловлена приоритетами Государственной программы «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026–2030 годы в Республике Беларусь, где одним из ключевых направлений остаётся повышение энергоэффективности жилищно-коммунального хозяйства. Многоквартирные дома периода массовой индустриальной застройки характеризуются повышенными теплопотерями, в том числе через систему естественной вентиляции, доля которых в общем расходе тепловой энергии на отопление может быть существенной. Особое внимание уделяется зданиям с тёплым чердаком, позволяющим объединять вытяжные каналы и снижать потери через кровлю, однако проектные расчёты часто опираются на нормативные значения кратности воздухообмена и расчетные температуры, что не всегда отражает реальные условия эксплуатации, особенно в переходные периоды отопительного сезона. Цель исследования – получение объективных экспериментальных данных о величине вентиляционных теплопотерь и оценка их доли в общем энергобалансе здания. В работе проведены натурные измерения на реальном 9-этажном кирпичном жилом доме в г. Бресте (отапливаемая площадь 2762,1 м²) с естественной вентиляцией, где индивидуальные вытяжные каналы из квартир объединяются в сборные шахты, выходящие в объём тёплого чердака. Исследование охватывало период с 10 по 20 марта 2026 года (11 суток переходного периода). Измерялись температура уходящего воздуха в вентиляционных шахтах и общей вытяжной шахте тёплого чердака с помощью логгеров Thermochron iButton, расход тепловой энергии по коммерческому теплосчётчику, температура наружного воздуха. Выполнены расчёты нормативного воздухообмена по квартирам, определение бытовых тепловыделений на основе потребления горячей воды и оценка удельных показателей энергопотребления с использованием нормативных методик и формул теплового баланса.

Установлено, что средняя температура удаляемого воздуха из сборных шахт составляет около 23,2 °С, что значительно выше проектной – 18 °С. Экспериментально подтверждена значительная доля вентиляционных теплопотерь в энергобалансе здания. Показано существенное превышение фактического удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию по сравнению с проектными значениями. Выявлены особенности работы системы с тёплым чердаком, включая эпизодическое опрокидывание тяги. Работа подчёркивает перспективность совершенствования систем вентиляции, в том числе с применением рекуперации теплоты уходящего воздуха, для повышения энергоэффективности жилищного фонда.

Ключевые слова: тёплый чердак, естественная система вентиляции, современное строительство, тепловые потери.

EVALUATION OF THERMAL LOSSES IN A CONTEMPORARY MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING WITH A WARM ATTIC

Y. V. Potapovich

Abstract

The article presents the results of an experimental study of ventilation heat losses in a multi-apartment residential building with a warm attic. The relevance of the work is determined by the priorities of the State Program “Sustainable Energy and Energy Efficiency” for 2026–2030 in the Republic of Belarus, where one of the key areas remains the improvement of energy efficiency in the housing and utilities sector. Multi-apartment buildings from the period of mass industrial construction are characterized by increased heat losses, including through the natural ventilation system, the share of which in the total heat energy consumption for heating can be significant. Particular attention is paid to buildings with a warm attic, which allows combining exhaust ducts and reducing heat losses through the roof. However, design calculations often rely on normative values of air exchange rate and design temperatures, which do not always reflect real operating conditions, especially during transitional periods of the heating season.

The purpose of the study is to obtain objective experimental data on the magnitude of ventilation heat losses and to assess their share in the overall energy balance of the building. The work involved full-scale measurements on a real 9-storey brick residential building in Brest (heated area 2762,1 m²) with natural ventilation, where individual exhaust ducts from apartments are combined into common shafts leading into the volume of the warm attic. The study covered the period from March 10 to March 20, 2026 (11 days of the transitional period). The temperature of the exhaust air in the ventilation shafts and the common exhaust shaft of the warm attic was measured using Thermochron iButton loggers, along with heat energy consumption according to the commercial heat meter and outdoor air temperature. Calculations of the normative air exchange for apartments were performed, domestic heat gains were determined based on hot water consumption, and specific energy consumption indicators were assessed using normative methods and thermal balance formulas.

It was established that the average temperature of the exhaust air from the common shafts is about 23,2 °C, which is significantly higher than the design value of 18 °C. A significant share of ventilation heat losses in the building's energy balance has been experimentally confirmed. A substantial excess of the actual specific heat energy consumption for heating and ventilation compared to the design values has been shown. Features of the warm attic system operation were identified, including occasional stack effect reversal. The work emphasizes the prospects of improving ventilation systems, including the use of heat recovery from exhaust air, to increase the energy efficiency of the housing stock.

Keywords: warm attic, natural ventilation system, modern construction, heat losses.

Введение

В условиях реализации Государственной программы «Устойчивая энергетика и энергоэффективность» на 2026–2030 годы в Республике Беларусь одним из ключевых приоритетов остаётся повышение энергоэффективности жилищно-коммунального хозяйства.

Жилищный фонд, значительную часть которого составляют многоквартирные дома, построенные в период массовой индустриальной застройки, характеризуется относительно высоким уровнем удельного энергопотребления на отопление и вентиляцию. Согласно экспертным оценкам, теплопотери через систему естественной

вентиляции в таких зданиях могут составлять от 20 до 40 % от общего расхода тепловой энергии на нужды отопления [1], что делает данное направление одним из наиболее перспективных для реализации энергосберегающих мероприятий.

Современное строительство предполагает применение наиболее энергетически и экономически обоснованных систем и конструкций, позволяющих эффективно использовать тепловые ресурсы.

Особое место в жилых домах повышенной этажности занимают системы с тёплым чердаком. Данное конструктивное решение позволяет объединить вытяжные вентиляционные каналы из квартир в сборную шахту и снизить теплопотери через кровлю.

Актуальность настоящей работы обусловлена необходимостью получения объективных экспериментальных данных о величине вентиляционных теплопотерь в современных жилых зданиях. Большинство существующих расчётов основано на нормативных значениях кратности воздухообмена и усреднённых температурах, что часто не отражает реальной картины, особенно в переходные периоды отопительного сезона.

Методологическая основа исследования

Методологическая основа исследования состояла из сбора данных и комплексного анализа полученных результатов. Исследование проводилось посредством измерений и расчетов на реальном здании. Объектом исследования является многоквартирный жилой дом с тёплым чердаком, расположенный в г. Бресте Республики Беларусь.

Измерение тепловых потерь многоквартирного жилого здания

Исследуемое здание – кирпичное, 9 этажей. Общая отапливаемая площадь здания составляет 2762,1 м². Система вентиляции дома – естественная, с индивидуальными вытяжными каналами из кухонь, санузлов и ванных комнат квартир, которые объединяются в сборные вентиляционные шахты. На чердаке каналы выходят в общий объём тёплого чердака, откуда воздух удаляется через две общие вытяжные шахты. Тёплый чердак выполнен с утеплением перекрытия и кровли, что позволяет поддерживать повышенную температуру воздуха в его объёме и усиливать гравитационное давление. Теплоснабжение здания осуществляется централизованно.

Учёт тепловой энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения производится коммерческим теплосчётчиком ТЭМ-104М.

Исследование носит экспериментальный характер и основано на анализе натурных измерений параметров за период с 10 по 20 марта 2026 года (11 суток, переходный период отопительного сезона). Измеряемые параметры:

- температура уходящего воздуха в сборных вентиляционных шахтах;
- температура воздуха в общей вытяжной шахте тёплого чердака;
- расход и количество потреблённой тепловой энергии на отопление и ГВС по показаниям теплосчётчика;
- температура наружного воздуха.

Все температурные измерения выполнялись с часовым интервалом. Для измерения температуры воздуха использовались логгеры температуры Thermochron iButton DS1921G-F5, предел допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры ± 1 °C в диапазоне от -10 °C до $+40$ °C. Измерения температуры удаляемого воздуха выполнялись установкой логгера в устье шахты на глубину не менее 0,5 м.

Согласно проведенным измерениям, средняя температура удаляемого воздуха из сборных вытяжных шахт составляет 23,2 °C, что значительно выше проектной – 18 °C; из общих вытяжных шахт тёплого чердака – 22,6 °C. Разница данных температур образована преимущественно тепловыми потерями через чердачное покрытие и стены, а также наличием вывода на тёплый чердак индивидуальных вентиляционных каналов верхних этажей, средняя температура вытяжного воздуха которых составляет 24,5 °C. Следует учесть, что по данным, приведенным в [9], температура воздуха внутри здания меньше температуры воздуха на выходах вентиляционных шахт на 1–2 °C. С учетом указанной особенности были рассчитаны значения средней температуры воздуха в зданиях, равной 22,2 °C.

На рисунке 1 приведен график изменения температуры уходящего воздуха из сборных вентиляционных шахт, выходящих на тёплый чердак (ВШ1-ВШ11), а также изменения температуры удаляемого воздуха из двух общих вытяжных шахт тёплого чердака (Ш1-Ш2).

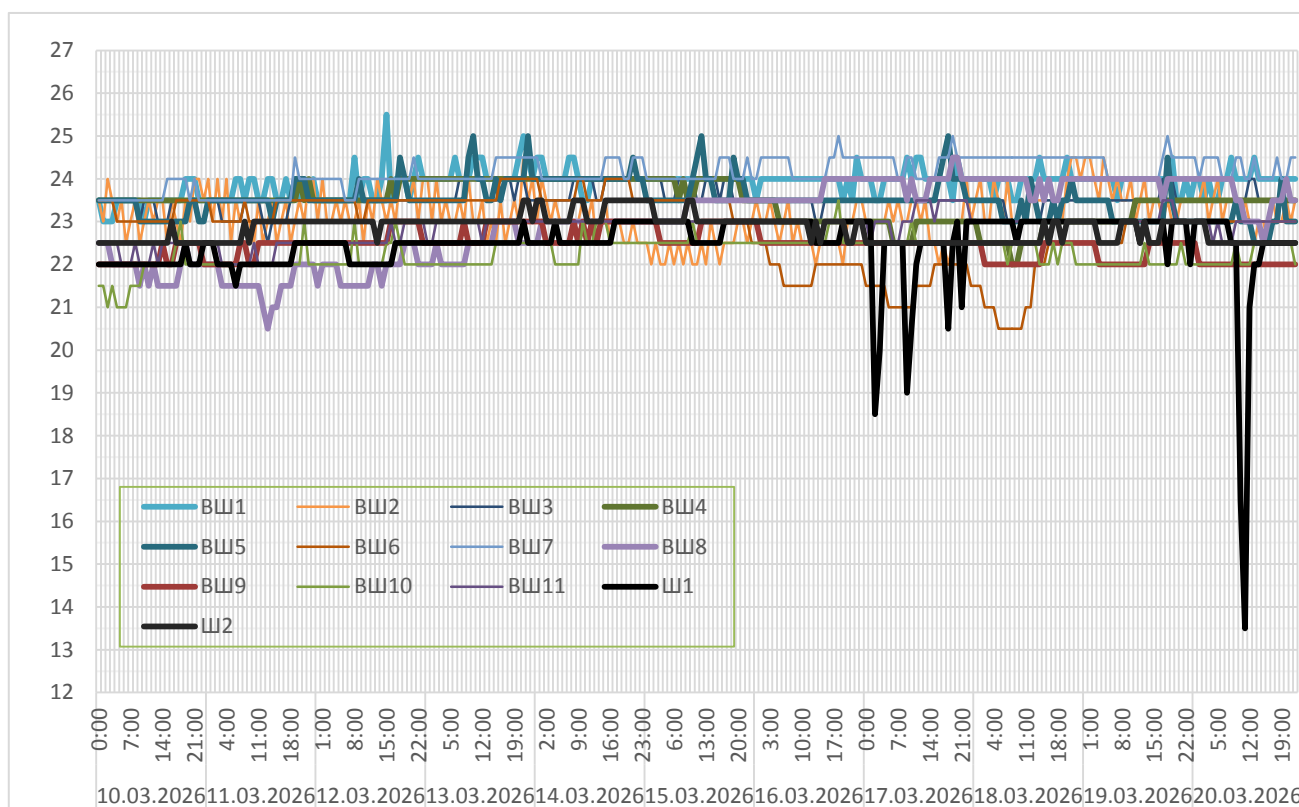


Рисунок 1 – График изменения температуры уходящего воздуха из сборных вентиляционных шахт, выходящих на тёплый чердак (ВШ1-ВШ11), а также изменения температуры удаляемого воздуха из двух общих вытяжных шахт тёплого чердака (Ш1-Ш2)

На графике отчетливо виден момент резкого понижения температуры удаляемого воздуха из двух общих вытяжных шахт теплого чердака, что, вероятно, является «опрокидыванием тяги», характерным явлением для зданий с теплым чердаком. Однако, поскольку данное явление обнаружилось единожды на протяжении довольно продолжительного периода, это не является значительным недостатком системы естественной вентиляции.

Согласно нормативной документации [2] минимальный воздухообмен, необходимый для обеспечения допустимых санитарно-

технических условий в помещениях жилых зданий с газовой 4-х конфорочной плитой, должен быть не менее большей из соответствующих цифр:

- суммарному удалению воздуха из кухни (90 м³/ч) и санузлов (50 м³/ч);
- или 3 м³/ч/м² жилой площади квартиры.

Поскольку на каждом этаже жилого здания расположены одна трехкомнатная, две двухкомнатные квартиры и две однокомнатные, то расчет воздухообмена для них определен согласно таблице 1.

Таблица 1 – Расчет воздухообмена квартир жилого здания

Номер квартиры	Площадь жилых комнат, м²	Нормативный воздухообмен по площади жилых комнат, м³/ч	Нормативный воздухообмен по кухням и с/у, м³/ч
1	12,1+47,5+11,7= 71,3	213,9	140
2	11,9+40,3= 52,2	156,6	140
3	19,8+15,4= 35,2	105,6	140
4	30	90	140
5	28,5	85,5	140

Следовательно, нормативный уровень воздухообмена в трехкомнатной квартире должен быть не менее 213,9 м³/ч, в двухкомнатной – не менее 156,6 м³/ч, в двухкомнатной – не менее 140 м³/ч, в однокомнатной – не менее 140 м³/ч. Суммарно по этажу – 790,5 м³/ч.

Таким образом, можем вычислить усредненный показатель тепловых потерь на вентиляцию [3, п. 1.3.2]. Средние температуры наружного и внутреннего воздуха принимаются согласно результатам измерений. Проведя расчеты, согласно формуле 1.6 [3, п. 1.3.2], суммарный расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха для всего здания $Q_{инф}$ составляет 8612 кВтч, или **7,406 Гкал** за 11 дней срока проведения исследования.

Согласно данным по потреблению тепловой энергии, на нагрев горячей воды для ГВС в период с 10 по 20 марта 2026 года фактически было затрачено $Q_{ГВС}^0 = 0,405$ Гкал. Всего потребленная тепловая энергия за данный период составила $Q^0 = 10,625$ Гкал. Следовательно, на отопление жилого здания было затрачено $Q_{от}^0 = 10,22$ Гкал за 11 дней срока проведения исследования.

Поскольку в тепловом балансе здания учитываются не только тепловые потери, но и теплопритоки, для определения общих теплотерь здания необходимо вычислить бытовые теплопритоки.

Возможность определения значений бытовых теплопритоков следует из результатов исследований, приведенных в [1, 5, 6]. Исследования показали, что бытовые тепловыделения в жилых зданиях связаны, прежде всего, с деятельностью человека и их мощность можно рассчитать исходя из значения: $q_{быт}^{чел} = 0,147$ кВт/чел.

Тогда энергию бытовых тепловыделений в конкретном периоде можно рассчитать по формуле

$$Q_{быт}^{чел} = q_{быт}^{чел} \cdot n \cdot N \cdot 24, \quad (1.1)$$

где $q_{быт}^{чел}$ – мощность бытовых тепловыделений, приходящаяся на одного человека, кВт/чел;

N – количество дней конкретного периода;

n – количество людей в здании.

Количество людей, проживающих в здании, можно определить по потреблению горячей воды по формуле

$$n = \frac{V_{ГВС}}{0,07}, \quad (1.2)$$

где $V_{ГВС}$, [1] – средний объем горячей воды, потребляемой в здании за сутки, м³/сут, из расчета 70 л/(чел·сут).

Согласно измерениям водомерного узла, объем горячей воды за период составил 13,117 т, или 1,21 м³/сут. Таким образом, количество жителей в жилом здании составляет 17 человек, что ориентировочно соответствует фактической заселенности здания.

Из вышеперечисленного следует, что энергия бытовых тепловыделений $Q_{быт}^{чел}$ составила 679 кВт или **0,584 Гкал** за период измерений.

Суммарное количество энергии, затраченное на отопление и вентиляцию, составляет: $10,22+0,584 = 10,804$ Гкал.

Удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию определяют по формуле [1, 5, 6]

$$q_{уд} = \frac{Q}{A}, \quad (1.3)$$

где A – отапливаемая площадь здания,

Удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию составляет

$$10,804/2762,1 = 0,003912 \text{ Гкал/м}^2 \text{ или } 4,55 \text{ кВт}^{\circ}\text{ч/м}^2$$

Согласно проектным значениям, в отопительный период многоквартирный жилой дом потребляет 312,33 Гкал, из которых на отопление приходится 113,58 Гкал, а на ГВС 198,75 Гкал при температуре наружного воздуха –21 (что соответствует расчетной температуре г. Бреста).

По всем полученным в измеряемый период данным можно определить удельное потребление тепловой энергии для расчетных условий по формуле [1, 5, 6]

$$q_0 = \frac{Q_{проект} \cdot D_d}{A \cdot D_e} \quad (1.4)$$

где $D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot Z_{ht}$, – градусосутки отопительного периода D_d для расчетных условий К-сут,

где t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

t_{ht} , Z_{ht} – средняя температура наружного воздуха за период, °C, и продолжительность периода, сут;

D_e – градусосутки периода для конкретного отопительного сезона К-сут (принимаем для г. Бреста).

Используя коэффициенты для пересчета на среднюю температуру наружного воздуха периода проведения исследования, которая составила 8,7 °C, было получено значение удельного проектного теплопотребления многоквартирного жилого здания для текущих условий эксплуатации – **0,000837 Гкал/м²** или 0,973 кВтч/м².

$$q_0 = \frac{113,58 \cdot (22,2 - 8,7) \cdot 11}{2762,1 \cdot (18 + 21) \cdot 187} = 0,000837 \text{ Гкал/м}^2$$

Результаты

Удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию за период измерений составило 0,003912 Гкал/м², при этом значение удельного проектного теплопотребления здания составило 0,000837 Гкал/м². В здании наблюдается значительное превышение проектных характеристик по потреблению тепловой энергии практически в четыре раза.

Доля вентиляционных тепловых потерь в многоэтажном жилом здании при обеспечении нормативного воздухообмена составляет **7,406 Гкал** из **10,22 Гкал**, затрачиваемых на отопление и вентиляцию здания. Это более 70 % тепловой энергии в общем энергобалансе многоэтажного жилого дома.

Таким образом, экспериментально подтверждена значительная доля вентиляционных теплопотерь в общем энергобалансе здания с тёплым чердаком, что подтверждает актуальность дальнейшего совершенствования систем вентиляции многоэтажных жилых зданий, а также использования тепловой энергии уходящего воздуха для обеспечения нужд здания.

В современных энергоэффективных домах используются различные способы экономии тепловой энергии. К ним относятся: солнечные коллекторы, тепловые насосы, системы возврата тепловой энергии сточных вод, системы вентиляции с рекуперацией тепловой энергии уходящего воздуха.

В зданиях РБ наиболее удобным для создания комфортного микроклимата в помещениях жилых зданий является использование поквартирных систем приточно-вытяжной вентиляции с использованием рекуператоров тепловой энергии [10–12]. Это является стандартным решением для энергоэффективных зданий.

Системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией позволяют возвращать 70–85 % тепловой энергии вытяжного воздуха. Солнечная энергетика так же является высокопотенциальным источником энергии, несмотря на невысокое количество солнечных дней в РБ [13–16]. Наша страна обладает достаточным теоретическим потенциалом солнечной энергии, в 741 раз превышающим текущее энергопотребление. Было рассчитано, что в белорусских населенных пунктах доступно примерно 260 млн м² кровли, на которых можно разместить от 13 до 18 ГВт мощностей. Средний коэффициент использования установленной мощности таких электростанций не превысит 11 %.

Наиболее значимыми для Республики Беларусь объектами жилищного строительства с применением в системах обеспечения солнечной энергии являются экспериментальные многоквартирные здания в г. Могилеве и Гродно [17–20].

Так же перспективным направлением развития в области энергосбережения является использование теплоты сточных вод. Потенциал энергосбережения сточных вод в Республике Беларусь составляет 6,2 млрд кВтч в год [21–22]. Это сопоставимо с годовым потреблением тепловой энергии значительной части жилищного фонда страны и показывает существенный потенциал энергосбережения за счёт рекуперации низкопотенциального тепла сточных вод.

Заключение

В ходе экспериментального исследования многоквартирного жилого дома с тёплым чердаком экспериментально подтверждена значительная доля вентиляционных теплопотерь в общем энергобалансе здания. Удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию за период измерений (11 суток) составило 0,003912 Гкал/м² (4,55 кВт·ч/м²), что практически в четыре раза превышает значение удельного проектного теплопотребления для текущих условий эксплуатации (0,000837 Гкал/м² или 0,973 кВт·ч/м²). Суммарный расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха достиг 7,406 Гкал, что составляет более 70 % от тепловой энергии, затраченной на отопление и вентиляцию (10,22 Гкал).

Определено, что средняя температура удаляемого воздуха из сборных вентиляционных шахт равна 23,2 °С, что значительно выше проектной – 18 °С; из общих вытяжных шахт тёплого чердака – 22,6 °С. Расчёт нормативного воздухообмена по квартирам и учёт бытовых тепловыделений (0,584 Гкал за период) позволили сформировать полный тепловой баланс. Выявлено эпизодическое опрокидывание тяги в системе, однако оно не является систематическим недостатком.

Таким образом, результаты подтверждают высокую актуальность дальнейшего совершенствования систем естественной вентиляции в многоэтажных жилых зданиях и внедрения энергоэффективных решений, таких как поквартирные приточно-вытяжные системы с рекуператорами (возврат 70–85 % теплоты), солнечные коллекторы, тепловые насосы и рекуперация тепла сточных вод. Полученные данные могут служить основой для оптимизации проектных решений и повышения энергоэффективности жилищного фонда Республики Беларусь в рамках государственной программы.

Список цитированных источников

1. Данилевский, Л. Н. Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий / Л. Н. Данилевский // Бизнесосфсет. – Минск, 2011. – 375 с.
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : строительные нормы Республики Беларусь : СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.2019. – Минск, 2025. – 52 с.
3. Хрусталёв, Б. М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пособие / Б. М. Хрусталёв, Ю. Я. Кувшинов, В. М. Копко ; под общ. ред. Б. М. Хрусталёва. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : АСВ, 2008. – 784 с.
4. Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели : СП 2.04.02-2020. – Введ. 01.02.2021. – Минск, 2020. – 33 с.
5. Данилевский, Л. Н. Фактические энергетические характеристики жилых зданий / Л. Н. Данилевский, А. Н. Жило, Б. Ф. Москалик // Строительная наука и техника. – 2008. – № 5. – С. 22–29.
6. Данилевский, Л. Н. Экспериментальное определение составляющих теплового баланса жилых зданий / Л. Н. Данилевский // Архитектура и строительство. – 2008. – № 8. – С. 90–95.
7. Метод определения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию эксплуатируемых жилых зданий : СТБ 2409-2015. – Введ. 01.01.2016. – Минск : Госстандарт, 2015. – 28 с.
8. Строительная климатология : Изменение № 1 СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 01.07.2007. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2007. – 35 с.
9. Ливчак, В. И. Фактическое теплопотребление зданий как показатель качества и надежности проектирования / В. И. Ливчак // АВОК. – 2009. – № 2. – С. 4–10.
10. Energy efficient residential buildings in Belarus : analysis and recommendation / M. Grätz, H. Fammler, M. Krekeler [et al.]. – Hamburg : Baltic Environmental Forum, 2016. – 140 p. – URL: https://www.bef-de.org/wp-content/uploads/2019/06/2016-02_ENERGY_EnergyEfficientResidentialBuildings.pdf (date of access: 15.07.2026).
11. Наумовец, А. Повышение энергоэффективности жилых зданий. Применение солнечных батарей в системах энергоснабжения жилых зданий в Республике Беларусь и за рубежом : отчет / А. Наумовец. – URL: <https://energoeffekt.gov.by/effbuild/download/237.pdf> (дата обращения: 15.07.2026).
12. О возобновляемых источниках энергии : Закон Респ. Беларусь от 27 дек. 2010 г. № 204-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2011. – № 5. – 2/1756. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11000204> (дата обращения: 15.07.2026).
13. Climate resource potential to develop solar power in Belarus / A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 212. – Art. 01012. – DOI: 10.1051/e3sconf/202021201012.
14. Global Solar Atlas. Solar resource and PV power potential maps and GIS data : Belarus. – Solargis for The World Bank, 2023. – URL: <https://globalsolaratlas.info/download/belarus> (date of access: 15.07.2026).
15. Энергия будущего. Крупнейшая солнечная электростанция Беларуси построена в Чериковском районе // Чериковские новости. – 2022. – URL: <https://www.cherikovnews.by/jenergija-budushhego-krupnejshaja-solnechnaja-jelektrostantsija-belarusi-postroena-v-cherikovskom-rajone.html> (дата обращения: 15.07.2026).
16. В Мядельском районе запустили солнечную электростанцию мощностью 5,7 МВт // ЭнергоБеларусь. – 2016. – URL: https://energobelarus.by/news/Tema_dnya/solnechnaya_elektrostant_siya (дата обращения: 15.07.2026).
17. Мировой рекорд в солнечной энергетике: что известно о новой панели // TCH. – 2025. – URL: https://tsn.ua/ru/nauka_it/novyy-mirovoy-rekord-v-solnechnoy-energetike-cto-izvestno-o-novoy-paneli-2923583.html (дата обращения: 04.06.2026).
18. Bemann, U. Kann die Sonne den Weltenergiebedarf decken? / U. Bemann. – 2021. – URL: <https://www.solarenergie.de/hintergrundwissen/solarenergie-nutzen/weltenergiebedarf> (date of access: 04.06.2026).

19. New report: EU hits 2025 solar target but market contraction puts 2030 goal at risk : Press release / SolarPower Europe. – 2025. – URL: <https://www.solarpowereurope.org/press-releases/new-report-eu-hits-2025-solar-target-but-market-contraction-puts-2030-goal-at-risk> (date of access: 30.06.2026).
20. Выработка электроэнергии в странах ЕС фотоэлектрическими станциями: обзор. – URL: <https://www.google.com/search?q=выработка+электроэнергии+в+странах+ЕС+фотоэлектрическими+станциями> (дата обращения: 15.07.2026).
21. Охрана и использование водных ресурсов // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/vodnres-ru/> (дата обращения: 15.07.2026).
22. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации // Белстат. – URL: <https://dataportal.belstat.gov.by/osids/indicator-info/10301000009> (дата обращения: 15.07.2026).
11. Naumovec, A. Povyshenie energoeffektivnosti zhilyh zdaniy. Primenenie solnechnykh baterij v sistemah energosnabzheniya zhilyh zdaniy v Respublike Belarus' i za rubezhom : otchet / A. Naumovec. – URL: <https://energoeffect.gov.by/effbuild/download/237.pdf> (data obrashcheniya: 15.07.2026).
12. O vozobnovlyаемых istochnikah energii : Zakon Resp. Belarus' ot 27 dek. 2010 g. № 204-Z // Nac. reestr pravovyh aktov Resp. Belarus'. – 2011. – № 5. – 2/1756. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11000204> (data obrashcheniya: 15.07.2026).
13. Climate resource potential to develop solar power in Belarus / A. Meshyk, M. Barushka, V. Marozava [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 212. – Art. 01012. – DOI: 10.1051/e3sconf/202021201012.
14. Global Solar Atlas. Solar resource and PV power potential maps and GIS data : Belarus. – Solargis for The World Bank, 2023. – URL: <https://globalsolaratlas.info/download/belarus> (date of access: 15.07.2026).
15. Energiya budushchego. Krupnejshaya solnechnaya elektrostanciya Belarusi postroena v Cherkovskom rajone // Cherkovskie novosti. – 2022. – URL: <https://www.cherkovnews.by/jenergiya-budushhego-krupnejshaya-solnechnaya-jelektrostanciya-belarusi-postroena-v-cherkovskom-rajone.html> (data obrashcheniya: 15.07.2026).
16. V Myadel'skom rajone zapustili solnechnuyu elektrostanciyu moshchnost'yu 5,7 MVt // EnergoBelarus'. – 2016. – URL: https://energobelarus.by/news/Tema_dnya/solnechnaya_elektrostant_siya (data obrashcheniya: 15.07.2026).
17. Mirovoj rekord v solnechnoj energetike: chto izvestno o novoy paneli // TSN. – 2025. – URL: https://tsn.ua/ru/nauka_it/novyy-mirovoy-rekord-v-solnechnoj-energetike-chto-izvestno-o-novoy-paneli-2923583.html (data obrashcheniya: 04.06.2026).
18. Bemann, U. Kann die Sonne den Weltenergiebedarf decken? / U. Bemann. – 2021. – URL: <https://www.solarenergie.de/hintergrundwissen/solarenergie-nutzen/weltenergiebedarf> (date of access: 04.06.2026).
19. New report: EU hits 2025 solar target but market contraction puts 2030 goal at risk : Press release / SolarPower Europe. – 2025. – URL: <https://www.solarpowereurope.org/press-releases/new-report-eu-hits-2025-solar-target-but-market-contraction-puts-2030-goal-at-risk> (date of access: 30.06.2026).
20. Vyrabotka elektroenergii v stranah ES fotoelektricheskimi stanciyami: obzor. – URL: <https://www.google.com/search?q=vyrabotka+elektroenergii+v+stranah+ES+fotoelektricheskimi+stanciyami> (data obrashcheniya: 15.07.2026).
21. Ohrana i ispol'zovanie vodnyh resursov // Ministerstvo prirodnih resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus'. – URL: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/vodnres-ru/> (data obrashcheniya: 15.07.2026).
22. Interaktivnaya informacionno-analiticheskaya sistema rasprostraneniya oficial'noj statisticheskoy informacii // Belstat. – URL: <https://dataportal.belstat.gov.by/osids/indicator-info/10301000009> (data obrashcheniya: 15.07.2026).

References

1. Danilevskij, L. N. Principy proektirovaniya i inzhenernoe oborudovanie energoeffektivnyh zhilyh zdaniy / L. N. Danilevskij // Biznesofset. – Minsk, 2011. – 375 s.
2. Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie vozduha : stroitel'nye normy Respubliki Belarus' : SN 4.02.03-2019. – Vved. 16.12.2019. – Minsk, 2025. – 52 s.
3. Hrustal'ov, B. M. Teplosnabzhenie i ventilyaciya. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie : ucheb. posobie / B. M. Hrustal'ov, YU. YA. Kuvshinov, V. M. Kopko ; pod obshch. red. B. M. Hrustal'ova. – 3-e izd., ispr. i dop. – M. : ASV, 2008. – 784 s.
4. Teplovaya zashchita zhilyh i obshchestvennyh zdaniy. Energeticheskie pokazateli : SP 2.04.02-2020. – Vved. 01.02.2021. – Minsk, 2020. – 33 s.
5. Danilevskij, L. N. Fakticheskie energeticheskie harakteristiki zhilyh zdaniy / L. N. Danilevskij, A. N. ZHilo, B. F. Moskalik // Stroitel'naya nauka i tekhnika. – 2008. – № 5. – S. 22–29.
6. Danilevskij, L. N. Eksperimental'noe opredelenie sostavlyayushchih teplovogo balansa zhilyh zdaniy / L. N. Danilevskij // Arhitektura i stroitel'stvo. – 2008. – № 8. – S. 90–95.
7. Metod opredeleniya udel'nogo raskhoda teplovoj energii na otoplenie i ventilyaciyu ekspluatiruemyh zhilyh zdaniy : STB 2409-2015. – Vved. 01.01.2016. – Minsk : Gosstandart, 2015. – 28 s.
8. Stroitel'naya klimatologiya : Izmenenie № 1 SNB 2.04.02-2000. – Vved. 01.07.2007. – Minsk : M-vo arhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus', 2007. – 35 s.
9. Livchak, V. I. Fakticheskoe teplopotreblenie zdaniy kak pokazatel' kachestva i nadezhnosti proektirovaniya / V. I. Livchak // AVOK. – 2009. – № 2. – S. 4–10.
10. Energy efficient residential buildings in Belarus : analysis and recommendation / M. Grätz, H. Fammler, M. Krekeler [et al.]. – Hamburg : Baltic Environmental Forum, 2016. – 140 p. – URL: https://www.bef.de.org/wp-content/uploads/2019/06/2016-02_ENERGY_EnergyEfficientResidentialBuildings.pdf (date of access: 15.07.2026).

Материал поступил 15.07.2026, одобрен 16.07.2026, принят к публикации 16.07.2026